



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DISTINTOS REGÍMENES DE RIEGO
COMO ESTRATEGIA DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN
TABACO (*Nicotiana tabacum* L.)**

Autor

FERNANDO MARTÍN LEDESMA

Director

Ing. Hidr. MSc. Marano Robert Paulo

Co- Director

Ing. Agr. MSc. José Morabito

Tesis para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

Mayo de 2012

COMITÉ ASESOR

Ing. Agr. MSc. Yáñez Carlos Ernesto

Ing. Agr. Paoli Héctor Pacífico

Gloria Payo (Estadística)

DEDICATORIA

A mis padres, ejemplos de responsabilidad, superación y trabajo, en virtud de sus esfuerzos y esperanzas.

A mi esposa en agradecimiento a su incondicional apoyo y compañía.

A mis hijos.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria, Salta (EEA-Salta) por brindarme la oportunidad de realizar la maestría en riego y drenaje como así también desarrollar los trabajos que la misma requiere, en el marco del régimen de becarios de postgrado de dicha Institución.

A mis colegas becarios de la EEA-Salta por su apoyo y acompañamiento desinteresado durante el desarrollo de este trabajo.

Al Grupo de Trabajo de Recursos Naturales de la EEA-Salta por el apoyo logístico prestado en la realización de las tareas de campo y gabinete.

Al grupo de trabajo de tabaco y diversificación de la EEA-Salta por el apoyo logístico prestado en la realización de las tareas de campo y gabinete.

RESUMEN

Con el fin de investigar el efecto de diferentes métodos y estrategias de riego deficitario sobre el crecimiento y producción del tabaco tipo Virginia (*Nicotiana tabacum* L.), se llevó a cabo una investigación a campo durante la campaña agrícola 2009/2010 en la Estación Experimental Agropecuaria Cerrillos, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El ensayo se estableció en un suelo franco limoso degradado Ustortente típico. El diseño estadístico fue completamente aleatorizado involucrando un arreglo de tratamiento factorial con cuatro repeticiones. Se probaron dos factores con dos niveles; A: sistema de riego (goteo y surco) y B: nivel de reposición de las necesidades netas de riego (NNR): (100 % y 60 %). Los tratamientos resultaron: **RS100**: riego por surco con reposición de 100 % de NNR; **RS60**: riego por surco con reposición de 60 % de NNR; **RG60**: riego por goteo con reposición de 60 % de NNR; y **RG100**: riego por goteo con reposición de 100 % de NNR. Todas las parcelas fueron regadas hasta capacidad de campo durante el trasplante y refalle. Posteriormente no se regó hasta el inicio de la fase de altura de rodilla (AR) y, desde este período hasta el inicio de la fase de formación de cosecha (FC), se procuraron los tratamientos. El número de riegos para goteo fue doce, mientras que para surco fue nueve, incluidos los dos de plantación. Las láminas totales entregadas sumando riego, entre paréntesis, y precipitación efectiva fueron: 457mm (226) en RS₁₀₀; 378mm (147) en RS₆₀; 383mm (152) en RG₆₀ y 464mm (233) en RG₁₀₀. La reposición diferencial de agua generó tres condiciones de estrés: i) sin estrés hídrico (RG₁₀₀); ii) estrés continuo (RS₆₀); iii) periodos entre riegos de estrés/sin estrés de distintas magnitudes según fuese RG₆₀ o RG₁₀₀. Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento se realizó el ANAVA del área foliar (**AF**) y de la materia seca de raíz, (**MS_r**), tallo (**MS_t**) y hoja (**MS_h**) en tres fases del periodo vegetativo: adaptación (AD), altura de rodilla (AR) y rápido crecimiento (RC), mientras que para evaluar el efecto sobre la producción se analizó la materia seca de cada cosecha (**MS_Cn**) desde el enfoque de medidas repetidas en el tiempo y un ANAVA de la materia seca total cosechada (**MS_CT**), resultante de la suma de las MS_Cn.

El ANAVA no encontró diferencias significativas para la interacción ($p < 0,05$) para AF y MS por partes de la planta en AR y RC, mientras que si encontró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los métodos de riego y los niveles de reposición a favor de goteo y el máximo nivel de reposición respectivamente. Iguales resultados se encontraron para la MS_CT.

Estos resultados permiten afirmar que el desarrollo vegetativo y la producción consecuente en el cultivo de tabaco, responde de manera diferencial a los niveles de reposición de las necesidades de riego alcanzados durante las fases del cultivo con posibilidad de imponer estrategias de riego deficitario y afirmar que aplicando estrategias de riego deficitario en el cultivo de tabaco, el desarrollo vegetativo y la producción se verán más favorecidos en aquellos métodos de aplicación que asegure una alta frecuencia de reposición.

ABSTRACT

To investigate the effect of different methods and strategies of deficit irrigation on growth and production of snuff Virginia type (*Nicotiana tabacum* L.) was carried out field research during the crop year 2009/2010 at the Experimental Station Agricultural Cerrillos, National Institute of Agricultural Technology (INTA). The trial was conducted in a silt loam soil typical Ustortente degraded. The completely randomized design was used involving a factorial treatment arrangement with four replications. Two factors were tested with two levels, A: irrigation system (drip and furrow) and B: replacement level net irrigation requirements (NNR): (100% and 60%). The treatments were: RS100: furrow irrigation with 100% replacement of NNR; RS60: furrow irrigation with 60% replacement of NNR; RG60: drip irrigation with 60% replacement of NNR, and RG100: drip irrigation 100% replacement of NNR. All plots were irrigated to field capacity during the transplant and refalle. Then not watered until the beginning of the phase of KH (AR) and from this period until the start of the training stage of harvest (FC) is sought treatment. The drip irrigation number was twelve, while for suco was nine, including two of planting. Total Slides delivered by adding irrigation, in parentheses, and effective rainfall were 457mm (226) in RS100, 378mm (147) in RS60, 383mm (152) in RG60 and 464mm (233) in RG100. The differential water replenishment generated three stress conditions: i) no water stress (RG100), ii) continuous stress (RS60), iii) periods between waterings stress / no stress of different magnitudes as RG60 or RG100 was. To evaluate the effect of treatments on growth ANOVA was performed leaf area (AF) and root dry matter (MS_r), stem (MS_t) and leaf (MS_h) in three phases of the growing season: adaptation (AD), knee height (AR) and rapid growth (RC), while evaluating the effect on production of dry matter was analyzed for each harvest (MS_Cn) from the focus of repeated measures ANOVA and a measured time of total dry matter harvested (MS_CT) resulting from the sum of the MS_Cn.

The ANOVA found no significant differences for the interaction ($p < 0.05$) for AF and MS in parts of the plant in RA and RC, whereas if significant differences ($p < 0.05$) between irrigation methods and replenishment levels for leakage and the highest level of replacement respectively. Similar results were found for the MS_CT. These results suggest that the vegetative development and the consequent production of snuff in cultivation, responds differentially to replacement levels of irrigation requirements made during the phases of the culture with the possibility of imposing deficit irrigation strategies and argue that applying deficit irrigation strategies in the cultivation of snuff, vegetative growth and production will be most favored in those methods of implementation to ensure a high frequency of replacement.

INDICE

1.-Introducción.....	1
1.1.- El cultivo de tabaco: Producción mundial.....	1
1.2.- El cultivo de tabaco: Producción en Argentina.....	2
1.3.- Botánica de la planta cultivada de tabaco.....	3
1.4.- Fenología de la planta cultivada de tabaco.....	4
1.5.- Requerimientos hídricos de la planta de tabaco y su relación con el rendimiento.....	5
1.6.- Manejo del agua de riego en el cultivo de tabaco en el Valle de Lerma.....	7
1.7.- Objetivos.....	11
1.8.- Hipótesis.....	11
2.- CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	12
2.1.- Área de estudio.....	12
2.2.- Suelos.....	12
2.3.- Clima.....	13
2.3.1.- Temperatura.....	14
2.3.2.- Precipitación.....	14
2.4.- Hidrografía.....	15
2.4.1.- Regiones y cuencas hídricas del Juramento.....	15
2.4.2.- Cuenca alta del Juramento.....	16
2.4.3.- Subcuenca Rosario-Toro.....	18
2.5.- Estado de arte del riego en la provincia de Salta y del Valle de Lerma.....	19
2.5.1.- Obras hidráulicas con fines de riego.....	19
2.5.2.- Marco jurídico.....	20
2.5.3.- Manejo del agua de riego a nivel predial.....	22

3:- MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1.- Sitio de ensayo.....	25
3.2.- Diseño experimental.....	26
3.3.- Sistema de riego.....	28
3.4.- Plantación y labores culturales.....	32
3.5.- Colección de datos meteorológicos.....	33
3.6.- Muestras, determinaciones y estimaciones.....	33
3.6.1.- Muestras.....	33
3.6.2.- Determinaciones.....	34
3.6.2.1.- Materia Seca.....	34
3.6.2.2.- Área foliar.....	34
3.6.2.3.- Agua en el suelo.....	35
3.6.3.- Estimaciones.....	37
3.6.3.1.- Evapotranspiración del cultivo en condición estándar.....	37
3.6.3.2.- Evapotranspiración real del cultivo según Allen et al (2006).....	38
3.6.3.3.- Relación productividad estrés hídrico.....	40
3.7.- Análisis estadístico.....	40
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1.- Condiciones climáticas.....	42
4.2.- Calibración de los métodos de riego.....	43
4.3.- Manejo del Riego.....	50
4.4.- Niveles de reposición de las necesidades de riego.....	51
4.5.- Balance de agua en el suelo.....	52
4.5.1.- Calibración de la sonda DR a condiciones locales.....	52
4.5.2.- Variación del contenido hídrico del suelo.....	54
4.6.- Respuesta del cultivo.....	56
4.6.1.- Área foliar.....	56

4.6.2.- Producción de materia seca por partes de la planta.....	58
4.6.3.- Materia seca de cada cosecha.....	60
4.6.4.- Materia seca total cosechada.....	61
4.7.- Relación productividad estrés.....	62
5.- DISCUSIÓN.....	64
6.- CONCLUSIONES.....	69
7.- BIBLIOGRAFÍA.....	71
8.- ANEXOS.....	76

LISTADO DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

A	Área sombreada
AD	Etapa de adaptación
AF	Área foliar
AF _x	Área foliar de cada momento de muestreo
ΔL	Variación del agua en el suelo
AM	Área mojada
AR	Etapa altura de rodilla
AT	Agua total
Cu	. Coeficiente de uniformidad
DDT	Días después del trasplante
Dp	Diámetro de cobertura del follaje
E	Espesor de suelo
Ef	Eficiencia de riego
ET _o	Evapotranspiración del cultivo de referencia
ET _c	Evapotranspiración del cultivo
FC	Etapa de formación de cosecha
FN	Lectura de frecuencia de escala
Kc	Coeficiente de cultivo
Kc _{aj}	Coeficiente de cultivo ajustada a condiciones locales
LFU	Lámina fácilmente utilizable por el cultivo
LPU.....	Lámina presente utilizable por el cultivo
LTU	. Lámina total utilizable por el cultivo
LR	Lámina de riego
m.c.a	Metros de columna de agua
MS	Materia seca
MS _x	Materia seca por partes de la planta
MS _T	Materia seca total de la planta

MC	Etapa de maduración de cosecha
MS_Cn	Materia seca de la enésima cosecha
MS_CT	Materia seca de cosecha total
NNR	Necesidades netas de riego
θ_a	Contenido hídrico volumétrico actual
θ_{CC}	Contenido hídrico volumétrico a capacidad de campo
θ_{pmp}	Contenido hídrico volumétrico a marchitez permanente
w_{CC}	Contenido hídrico gravimétrico a capacidad de campo
w_{pmp}	Contenido hídrico gravimétrico a marchitez permanente
Pe	Precipitación efectiva
PSM	Porcentaje de suelo mojado
Rh	Radio de humedecimiento
Ph	Profundidad de humedecimiento
Qd	Caudal derivado
RC	Etapa de rápido crecimiento
RDC	Riego deficitario controlado
RS	Riego por superficie
RG	Riego por goteo
SIG	Sistema de información geográfica
TUA	Tecnología de uso actual
Tr	Tiempo de riego
UE	Unidad experimental
Vd	Volúmenes de riego
Ba	Densidad aparente del suelo

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Evolución de la producción de tabaco (toneladas) por provincia.....	3
Tabla 2: Sistemas componentes de la alta cuenca del Juramento.....	16
Tabla 3: Red Fluvial Rosario-Toro.....	18
Tabla 4: Caudales medios máximos y mínimos mensuales del río Toro (Salta).....	19
Tabla 5: Caudales medios máximos y mínimos mensuales del río Blanco.....	19
Tabla 6: Parámetros hidrológicos del perfil del suelo del sitio de estudio.....	26
Tabla 7: Valores de f_2 según Jobling en función del tipo de suelo.....	31
Tabla 8: Momentos de muestreo o Cosecha y número de muestras tomadas por parcela.....	34
Tabla 9: Valores de Kc único en tabaco tipo Virginia.....	37
Tabla 10: Área mojada y PSM en función del área sombreada por el cultivo.....	47
Tabla 11: Área sombreada por el cultivo de tabaco a lo largo del ciclo	47
Tabla 12: Radio, profundidad de humedecimiento, área mojada y porcentaje de suelo mojado según volúmenes de riego aplicados.....	48
Tabla 13: Número de riegos realizados según su tipo y laminas aplicadas en cada tratamiento.....	51
Tabla 14: Niveles porcentuales de reposición de la demanda evapotranspirativa del cultivo por tratamiento en cada fase del ciclo productivo	51
Tabla 15: Parámetros a y b del modelo $a \cdot FN^{ab}$ para calcular el contenido volumétrico para cada horizonte estudiado.	52
Tabla 16: Medias de AF (m ² /ha) para los tres momentos de muestreo.....	57
Tabla 17: Probabilidades asociadas de interacción sistema de riego x nivel de reposición para materia seca de raíz, tallo y hoja en adaptación (AD), altura de rodilla y rápido crecimiento.....	58
Tabla 18: Medias de MS (m ² /ha) por partes de la planta entera para los tres momentos de muestreo.....	59
Tabla 19: Medias de MS (m ² /ha) de planta entera para los tres momentos de muestreo.....	60
Tabla 20: Factor de respuesta de la productividad (Ky), disminución relativa del rendimiento y de la evapotranspiración de los tratamientos de riego en diferentes momentos del ciclo productivo.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Producción mundial de tabaco.....	1
Figura 2: Participación en la exportaciones mundiales de tabaco por países.....	2
Figura 3: Tipo de tabaco cultivado por provincia.....	2
Figura 4. Planta cultivada de tabaco tipo Virginia.....	3
Figura 5.- Periodos de crecimiento en tabaco.....	5
Figura 6: Ubicación geográfica y área de influencia del valle de Lerma.....	12
Figura 7: Condiciones climáticas del área de estudio.....	14
Figura 8: Cuenca Hídricas del Río Toro- Valle de Lerma, Salta	17
Figura 10: Ubicación geográfica del sitio de ensayo.....	25
Figura 11: Esquema de la red de riego y distribución de las parcelas de ensayo.....	27
Figura 12: Porcentaje de reposición de las necesidades netas de riego (NNR) del cultivo proyectadas en cada fase del ciclo productivo en cada una de las estrategia de riego ensayadas.....	28
Figura 13: Diagrama en planta de la unidad estadística detallando los sectores destinados a muestreo y cosecha de plantas	33
Figura 14: Anomalías porcentuales de precipitación y temperatura media mensual durante la campaña.....	42
Figura 15: Evaluación de la uniformidad de riego de la red en las líneas centrales de cada E.U.....	44
Figura 16: Dimensiones de bulbo húmedo desarrollado en función de diferentes tiempos de aplicación.....	45
Figura 17: Relación matemática entre radio de humedecimiento y el volumen aplicado.....	45
Figura 18: Relación matemática entre la profundidad de humedecimiento y el volumen aplicado.....	46
Figura 19: Dinámica de la extracción de agua en el perfil para el tratamiento RS ₁₀₀ ...	49
Figura 20: Dinámica de la extracción de agua en el perfil para el tratamiento RG ₁₀₀ ...	49
Figura 21: Dinámica de la extracción de agua en el perfil para el tratamiento RS ₆₀	50
Figura 22: Dinámica de la extracción de agua en el perfil para el tratamiento RG ₆₀	50

LISTA DE FIGURAS Cont.

Figura 23: Relación matemática entre frecuencia de escala (FN) del sensor Diviner2000® y contenido hídrico del suelo para el espesor de suelo 0-30 cm	53
Figura 24: Relación matemática entre frecuencia de escala (FN) del sensor Diviner2000® y contenido hídrico del suelo para el espesor de suelo 30-70 cm	53
Figura 25: Relación matemática entre frecuencia de escala (FN) del sensor Diviner2000® y contenido hídrico del suelo para el espesor de suelo 70-80 cm.....	53
Figura 26: Curvas de agotamiento del agua en el suelo alcanzada a lo largo del ciclo productivo para RS ₁₀₀	54
Figura 27: Curvas de agotamiento del agua en el suelo alcanzada a lo largo del ciclo productivo para RG ₁₀₀	54
Figura 28: Curvas de agotamiento del agua en el suelo alcanzada a lo largo del ciclo productivo para RS ₆₀	55
Figura 29: Curvas de agotamiento del agua en el suelo alcanzada a lo largo del ciclo productivo para RG ₆₀	55
Figura 30: Área foliar producida en cada momento de muestreo entre sistemas de riego y niveles de reposición de NNR.....	57
Figura 31: Producción media de materia seca de raíz (promedio y desvío) en fase de adaptación, altura de rodilla y rápida crecimiento de cada tratamiento..	58
Figura 32: Producción media de materia seca de raíz alcanzada con cada tratamiento a 45 DDT.....	59
Figura 33: Grafica de perfiles de la producción de materia seca de hoja de cada cosecha alcanzada con cada tratamiento.....	61
Figura 34: Materia seca cosechada total entre sistemas de riego y niveles de reposición de NNR.....	61
Figura 35: Factor de respuesta de la productividad (Ky) para los tratamientos de riego en diferentes momentos del ciclo productivo.....	63

1. INTRODUCCION

1.1. El cultivo de tabaco: Producción mundial

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (**UN-FAO**) señala al tabaco como uno de los cultivos no alimenticio con mayor superficie cultivada en el mundo, después del algodón, comprometiendo aproximadamente 3,9 millones de hectáreas.

La producción mundial de tabaco es de 6,2 millones de toneladas, siendo China el principal productor con 38,45 %, a la que le siguen India (10,29 %), Brasil (8,91 %), EE.UU (6,28%), Indonesia (2,50 %) y Turquía (2,46%), que en conjunto concentran 68,89 % de la producción mundial, (**SAGPyA, 2008**).

Piccolo, (2008) señala que el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (**USDA**) llega a cifras similares para el mismo período, estimando una producción mundial de 6,35 millones de toneladas. En el presente año (2012) la situación no presentó grandes variaciones y Argentina mantuvo su participación en el orden del dos por ciento en la producción mundial (**SAGPyA, 2008**), ocupando el décimo lugar en el ranking mundial de países productores (Figura 1) lo que representa, según se observa; una importancia relativa en el mercado de las exportaciones del 4%. (Figura 2)

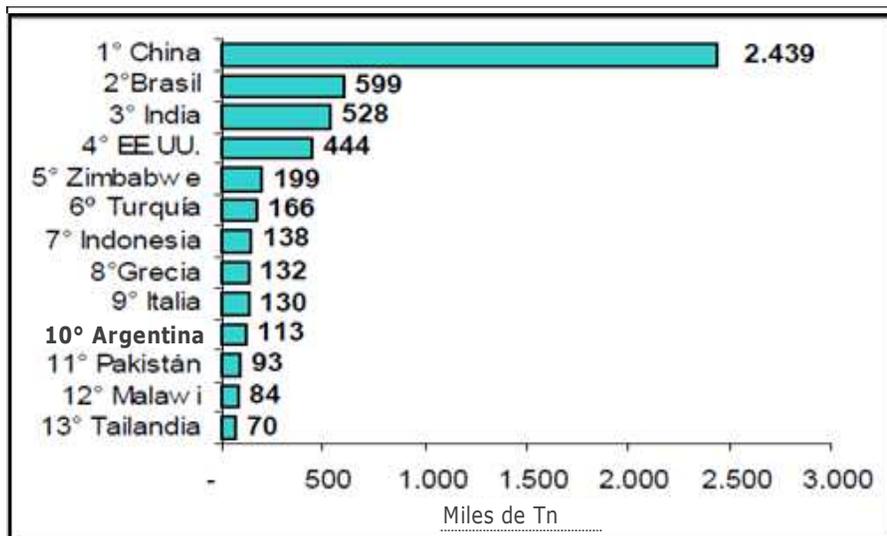


Figura 1: Producción mundial de tabaco (Fuente: FAO 2004)

1.2. El cultivo de tabaco: Producción en Argentina

En el año 2008, la producción de tabaco en la República Argentina (R.A) alcanzó 135.531.415 kg, lo que representó un valor bruto de producción de \$ 1.428.135.284. El volumen exportado fue de 106.421.761 kg, con un ingreso de U\$S 352.817.776. Para ese período la exportación alcanzó 81,6% del total producido, lo que significó un incremento en volumen exportado de 3,30 % con relación al año 2007. **(SAGPyA, 2008).**

La superficie ocupada por la actividad tabacalera en la R.A alcanza en promedio, 79.455 ha con un rendimiento medio de 1.800 kg/ha **(SAGPyA, 2008)**, mientras que a nivel mundial el mismo, oscila entre los 1.400 y 2.900 kg/ha **(FAO, 2004).**

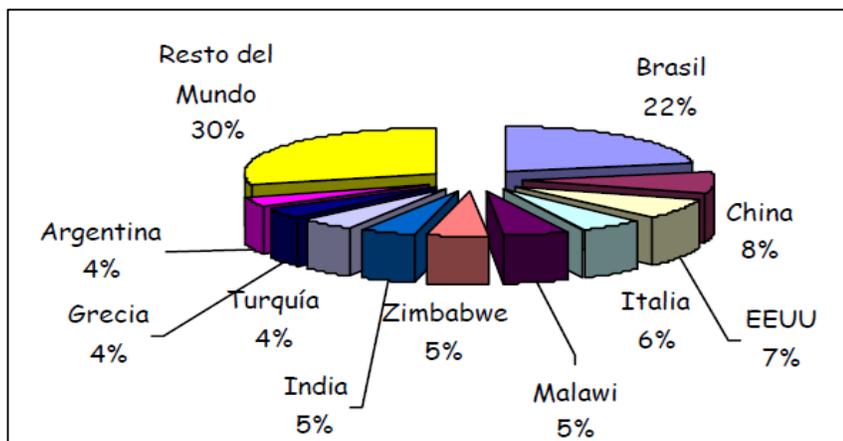


Figura 2: Participación en la exportaciones mundiales de Tabaco por países
Fuente: Piccolo; A. 2004

Actualmente se cultivan tres tipos de tabaco: Virginia, Burley y Criollo. El tipo Virginia se cultiva específicamente en las provincias de Salta y Jujuy; el Burley tiene importancia en las provincias de Tucumán y Misiones, mientras que el Criollo sólo se cultiva en las provincias del NEA (Figura 3).

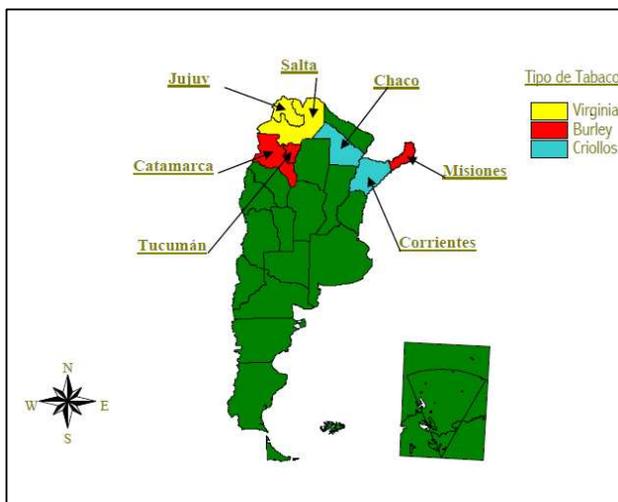


Figura 3: Tipo de tabaco cultivado por provincia Fuente: Corradini (2005)

De acuerdo al volumen de tabaco producido, las provincias de Misiones, Salta y Jujuy, representan las de mayor importancia. Salta; con un valor bruto de producción de U\$S 81.500.000. (**Cámara del Tabaco de Salta, 2008**), alterna con el resto de las provincias productoras el segundo y tercer lugar en cuanto a producción de tabaco, (Tabla 1).

Tabla 1: Evolución de la producción de tabaco (toneladas) por provincia

Campañas	Salta	Jujuy	Misiones	Corrientes	Chaco	Catamarca	Tucumán
2000/01	24.433	30.176	27.093	4.337	1.007	974	10.089
2001/02	37.593	35.847	39.424	4.641	1.405	1202	12.326
2002/03	35.382	35.690	29.582	2.835	1.506	992	9.851
2003/04	45.041	45.167	47.993	5.825	1.888	837	9.422
2004/05	48.899	43.226	52.389	5.369	1.025	1571	8.534
2005/06	42.712	39.279	44.806	6.252	684	1171	9.441
2006/07	42.329	43.313	34.000	2.305	566	859	4.367
2007/08	39.031	44.059	36.011	3.531	592	905	6.253
2008/09	38.856	44.439	41.046	2.491	465	1187	7.048

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SAGPyA

1.3. Botánica de la planta cultivada de tabaco

El tabaco (Figura 4) se ubica taxonómicamente dentro del género *Nicotiana* perteneciente a la familia de las Solanáceas (**Linneo, 1975** citado en **Fernández de Ulivarri, 1990**). Es una planta de carácter anual con comportamiento bianual si se suceden condiciones de clima particulares, referidas específicamente a ausencia de heladas. Son plantas con hábito de crecimiento erecto, presentando un tallo herbáceo a principio del ciclo que se convierte a semileñoso al finalizar el mismo, pudiendo alcanzar desde 0,80m a 3m según el tipo y la variedad. Sobre este tallo se insertan las hojas con una filotaxis de 3/8 o 3/13.



Figura 4. Cultivo de tabaco tipo Virginia

Las hojas son simples, pinninervadas, con forma elíptica, oval o lanceolada generalmente pecioladas en cuyo caso el pecíolo es alado, pudiendo éste, a su vez ser decumbente o no. Las hojas inferiores, por lo general, se asientan con un ángulo muy abierto quedando casi horizontal respecto al plano del suelo, mientras que las hojas superiores se insertan con ángulos más cerrados (**Fernández de Ulivarri, 1990**). Pueden alcanzar a desarrollar una lámina de 0,15 m (p.e tabaco oriental) a 1,20m (p.e. tabaco negro). Las hojas presentan una maduración tipo acrópeta, característica que define la forma en la que se cosecha la variedad tipo Virginia.

Las flores son hermafroditas agrupadas en inflorescencias del tipo complejas, o en panojas o racimos terminales, estando unidas a las ramificaciones por medio de un pedúnculo corto. Poseen una corola de cinco pétalos, gamopétala, dando una flor campanular que termina en cinco puntas, de color blanquecino en su base y rosado a rojizo hacia la punta. El androceo es pentámero con sus piezas unidas a la base de la corola, llegando sus anteras a sobresalir de ella. Posee un gineceo bilocular, asentado en un disco nectario, con un estilo que se desarrolla a lo largo de la corola terminando en un estigma bulboso hacia la boca de la corola. (**Fernández de Ulivarri, 1990**).

El fruto es una cápsula ovoide bilocular cubierta en sus tres cuartas partes por su cáliz persistente. Cada cápsula llega a contener hasta 3.000 semillas. Las semillas, conspicuas, son de color castaño oscuro y de forma arriñonada. El peso de mil semillas escasamente alcanza los 0,100 g.

1.4. Fenología de la planta cultivada de tabaco

El cultivo de tabaco puede ser dividido en dos períodos: i) el período de semillero o almácigo y ii) el período de crecimiento a campo, el cual incluye distintas fases.

Moustakas y Ntzanis (2005) establecen para el período de crecimiento a campo las siguientes fases, y su duración (Figura 5).

Adaptación: 30 a 35 días

Altura de rodilla: 10 a 15 días

Rápido crecimiento y elongación: 25 a 35 días

Formación de cosecha o Floración: 25 a 35 días

Maduración de cosecha: 20 a 25 días

1.5. Requerimientos hídricos del tabaco y su relación con el rendimiento

Los requerimientos de agua en el tabaco han sido estudiados por varios autores (**Carreker et al. 1969; Sparrow et al. 1968; Lonng 1979**), citados por **Bryan et al (1997) Doorenbos y Kassam (1979)**, establecen que el requerimiento hídrico del cultivo con metas a lograr el máximo rendimiento, varía entre 400 y 600 mm; dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración del período de crecimiento de la planta. En iguales condiciones y basados en estimaciones de valores de Kc ajustados localmente, se estimó un consumo hídrico promedio entre 474 a 516 mm (**Ballari, 2005**).

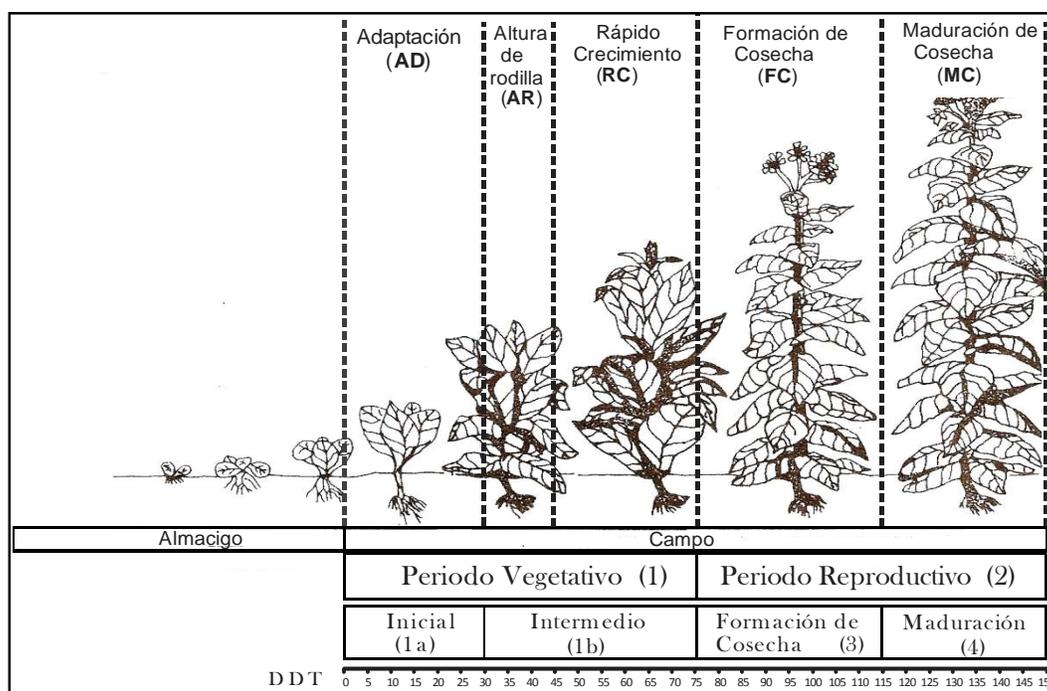


Figura 5.- Períodos de crecimiento en tabaco donde se muestra la división de producción en semillero (almácigo) y a campo. En la producción a campo se señala la división de los períodos vegetativos y reproductivos con cada una de las fases dentro de éstos: adaptación (AD); altura de rodilla (AR); rápido crecimiento (RC); formación de cosecha (FC) y maduración de cosecha (MC). La escala temporal, DDT, señala los días después del trasplante probables de ocurrencia de cada fase fisiológica. Adaptado de Doorenbos y Kassam (1979)

La dependencia del rendimiento y su relación con el agua suministrada al cultivo de tabaco se señalan en trabajos de **Pacheco (1984), Vodoloroski, et al (1957); Zlatev, (1970); Todoroski, (1975) y Kelly, (1977)** citados por **Lazo Cruz, (2004)**.

Los requerimientos de agua en cada periodo del ciclo del cultivo se describen en **Doorembos y Kassan (1979)**.

Estos autores afirman que durante la fase inicial del período vegetativo; denominada etapa de adaptación, así como en la fase de maduración de cosecha del periodo reproductivo, el tabaco muestra tolerancia a regímenes deficitarios de humedad en el suelo sin tener efectos negativos en el rendimiento final: Sin embargo señalan que durante la fase de rápido crecimiento del período vegetativo y fase de formación de cosecha, este cultivo se muestra sensible a condiciones de déficit hídricos en el suelo.

Idénticas conclusiones son presentadas por **Gude (1976)** citado por **Bryan, 1997; Salter (1967)** citado por **Mc Nee et al, (1978)** y **Recep Çakir, (2006), Hawks y Collins (1983)** quienes además enfatizan en que restricciones hídricas prolongadas durante la fase de rápido crecimiento del período vegetativo pueden afectar la producción y la calidad.

Excesos de agua durante la fase de establecimiento no son recomendables, mientras que un moderado estrés hídrico 14 a 30 días después del trasplante resulta beneficioso y estimula el desarrollo radicular (**Carreker et al. 1967; Sparrow et al. 1968; Longg 1979**) citados por **Bryan et al, (2009)**.

Durante la fase de plantación, el suministro de agua en el tabaco deberá ser solo el estrictamente necesario y hasta es preferible someterlas a un leve estrés hídrico antes que se desarrollen en un ambiente de riego excesivo (**Lazo, Cruz, 2004**). **Pistarius, (1969)**, sostiene que no es aconsejable regar el tabaco en su fase inicial. Además; en fases posteriores, el umbral de riego está determinado para un consumo cercano al 50% de la humedad disponible en el suelo, ya que niveles de agotamientos mayores, producen problemas en el desarrollo. A su vez, señalan que el período de máximo requerimiento de agua del tabaco se encuentra entre los 50-70 días después del trasplante, durante la fase de rápido crecimiento y elongación.

En este mismo sentido **Hawks y Collins (1986)** aseguran que cuando el tabaco está en este momento del ciclo, el agua es extremadamente importante para conseguir un buen desarrollo de las hojas, lo que repercutirá en el incremento de la producción y en el mejoramiento de la calidad.

La fase de rápido crecimiento y el de formación de cosecha (momento en donde se define el llenado de las hojas), representan las fases más críticas del cultivo, respecto del requerimiento de agua. Sin embargo, debido a que el período que involucra su ciclo productivo es relativamente corto; tanto las condiciones climáticas presentadas, como la respuesta de éste a las diversas disponibilidades hídricas, inducen a programar los aportes de agua sólo a través de riegos aplicados en una

etapa de su ciclo, mientras que los resultados finales dependerán del balance hídrico logrado luego del período de lluvias (**Blanco y Yáñez, C. 1989**).

1.6.- Manejo del agua de riego en el cultivo de tabaco en el Valle de Lerma

La superficie plantada con tabaco en Salta alcanza aproximadamente las 21.500 ha, lo que representa el 27% de la superficie nacional cultivada. Un aspecto importante a resaltar es que la actividad tabacalera, en el Valle de Lerma, tiene dependencia absoluta con la práctica de riego, desde el trasplante hasta finales de la etapa de rápido crecimiento del ciclo productivo.

Las escasas o prácticamente nulas precipitaciones presentadas durante las primeras etapas del ciclo de cultivo definen al riego como de carácter integral; mientras que en etapas posteriores (cosecha – maduración), la aplicación artificial de agua es complementaria a las lluvias estacionales (**Blanco y Yáñez, 1989**).

En este escenario el número de riegos que se aplican depende de muchos factores tales como: año climático, variedad, tipo de suelo, época de trasplante, técnica de riego utilizada, entre los principales. **Juan (1985)** y **Zlatev (1978)**, citado por **Lazo Cruz (2004)** señala que el número de riegos a aplicar en el tabaco depende del régimen de precipitaciones.

El agua resulta ser entonces en el Valle de Lerma un factor determinante en la producción de tabaco. Entre los factores agro-técnicos de la producción de tabaco, el riego contribuye sustancialmente a lograr altos rendimientos siempre y cuando el manejo agronómico restante sea óptimo. Asimismo, **Lazo Cruz (2004)** afirma que en regiones donde la disponibilidad de agua en el suelo por aporte de lluvias resulta irregular, la aplicación de agua de riego contribuye a asegurar las cosechas e incluso a incrementar los rendimientos.

La disminución de la disponibilidad de agua para riego se señala como una amenaza para la producción tabacalera (**INTA, EEA-Salta, 2008**) en virtud del avance demográfico e industrial en la zona, que establecen claros fenómenos de uso competitivo de este recurso. Así lo demuestran los trabajos de **Paoli y Yáñez, (1997)** quienes para el ámbito del Valle de Lerma, estimaron que hasta la década de los noventa, aproximadamente el 70% de la captación de agua dulce se usó con fines de riego, mientras que en las últimas décadas la fuerte expansión urbana e industrial modificó esta distribución relativa al 50%.

Los mismos autores señalan que el actual esquema de captación/distribución de agua del consorcio de riego del río Toro, que sirve la zona tabacalera por excelencia del Valle de Lerma, promedia un ingreso de 0,336 L/s*ha en los meses críticos del cultivo (septiembre a diciembre) y una entrega en finca de 0,226 L/s*ha, lo que representa insuficiencias potenciales frente a la demanda de los cultivos en los meses de máximo estiaje (octubre y noviembre).

Algunos ajustes han sido realizados a partir de la reestructuración en la dinámica de las entregas de agua por el Consorcio de riego del río Toro, lo que produjo una mejora en la lámina de entrega (mayor tiempo de riego por ha y disminución del intervalo de riego (**Taballione, A. comunicación personal, c. 2009**).

Ante este escenario, la intensificación de los esfuerzos para racionalizar el uso del agua constituye una prioridad para el sector (**INTA, EEA-Salta, 2008**). El agricultor debe llevar a cabo acciones en la gestión del agua para asegurar la mayor producción por superficie plantada y, en situaciones de restricciones o disponibilidades comprometidas del recurso, la expansión de la frontera productiva se logra con el aumento en la eficiencia de uso del agua. (**Llop, 1980**).

En cuanto a los aspectos técnicos, se involucran conceptos de mejora tanto en el manejo del agua de riego (eficiencia de distribución, conducción y entrega) en el ámbito extra-predial, como así también de conducción y aplicación en el ámbito predial.

En relación a los aspectos económicos, **Lazo Cruz (2004)** sostiene que al ser el agua un factor determinante y cuya limitación puede incidir en la obtención de altos rendimientos, la “aplicación controlada” puede ser determinante para aumentar el nivel de producción a alcanzar a partir del incremento marginal por unidad de agua utilizada. El nivel o punto óptimo de aplicación del mismo se resuelve a partir del análisis económico realizado sobre las curvas de respuesta (**Yáñez, comunicación personal, 2011**).

Las estrategias orientadas al uso eficiente del agua para riego, atravesaron en una primera fase por una etapa de investigación relacionada con los aspectos técnicos del riego, a través del desarrollo de diversos métodos de aplicación; algunos con mejores resultados que otros. Actualmente se avanza en el estudio de técnicas que ponen mayor sintonía en los procesos fisiológicos de la planta tales como: el riego deficitario controlado (**RDC**) para situaciones de disponibilidad limitada de agua (**Ferreyra Espada, 2008**)

La técnica de RDC se basa en reducir la cantidad de agua aplicada a los cultivos en ciertos períodos fenológicos, en donde son menos sensibles a la falta de humedad y así mantener el agua en el suelo a niveles tales que aseguren abastecer el 100% de las necesidades del cultivo durante los períodos críticos.

Las restricciones en la disponibilidad de agua en las etapas o períodos fenológicos menos sensibles a las condiciones de estrés aplicadas no deben generar mermas significativas de los rendimientos alcanzados por el cultivo. Dado que el **RDC** consiste en regar relativamente con menos agua de la calculada como óptima, la aplicación de esta técnica requiere un conocimiento acabado de las necesidades de agua de los cultivos en sus diversas etapas de crecimiento y desarrollo, identificación de períodos fenológicos críticos y las eventuales consecuencias de su aplicación. Probablemente la efectividad de comprobación de los resultados, encuentre mayor sintonía en la aplicación de riego presurizado, en donde las láminas de entrega pueden ser medidas con mayor exactitud.

La tecnología de uso actual (**TUA**) empleada por los agricultores del Valle de Lerma y adquirida por el conocimiento empírico, está en consonancia con el manejo sugerido en la literatura referida. Éstos restringen la disponibilidad de agua al tabaco durante la fase *establecimiento-altura de rodilla* de la etapa vegetativa, del ciclo productivo. Sin embargo, la intensidad del déficit alcanzado no es evaluada ni controlada, tanto en términos energéticos, como a través de la medición del contenido hídrico remanente en el suelo.

Durante las etapas posteriores del ciclo vegetativo y reproductivo, la reposición de la humedad de suelo persigue el objetivo de reponer agua en el perfil hasta su máxima capacidad de almacenamiento. La programación de los riegos no tiene en cuenta los aspectos fisiológicos de la planta y el aporte de agua resulta más bien ajustado a situaciones de manejo y orden práctico como: i) disponibilidad de agua según el calendario de turnado; ii) la complementación con perforaciones profundas y/o la existencia de reservorios (represas) y iii) la probabilidad de ocurrencia de eventos pluviométricos.

Este conjunto de realidades hace que los criterios para la toma de decisión de las preguntas clásicas en la programación de riego, *cuándo* y *cuanto* regar, sean bastantes disímiles entre establecimientos de productores, quedando sujetas más bien al grado de idoneidad de los encargados de riego o capataces de finca que al cumplimiento de programas con fundamentos técnicos y seguimiento del estado de los cultivos en tiempo real.

En relación a los aspectos técnicos, a nivel extra-predial, la administración del Consorcio de riego del Río Toro, en el marco de convenio Provincia de Salta - PROSAP, impulsa un proyecto de presurización del sistema de riego con múltiples objetivos; entre otros, aumentar la eficiencia de distribución, asegurar la regularidad y la suficiencia en la entrega de caudales. En virtud de este proyecto, a nivel intra-predial se percibe interés de parte de los productores en la adopción de riego presurizado, particularmente, goteo convencional para cultivos, como tabaco y frutales, y aspersión para el caso de cereales, pasturas y hortalizas.

Las experiencias de riego localizado, llevadas a cabo en la campaña 2007 por la administración de finca El Pongo, (Jujuy), indican un ahorro considerable de agua en el cultivo de tabaco regado por goteo tanto en mano de obra como de volúmenes de agua y fertilizantes utilizados, sin diferencias significativas en cantidad y calidad de producción.

Investigaciones (**inédito**) de **Cruz Lazo** en la Estación Experimental del Tabaco en Pilar del Río, (Cuba), menciona haber logrado buenos rendimientos utilizando un lateral por dos hileras de plantas con un considerable ahorro de agua.

En Francia, **Rolland (1974) citado por Cruz Lazo (2004)** señala ahorro significativos de agua aplicada por métodos localizados, en comparación con los volúmenes utilizados en riegos gravitacionales, aunque con resultados disímiles en lo referido a rendimiento y calidad.

La combinación de estrategias de riego deficitario con métodos de irrigación por gravedad o localizado de alta frecuencia (riego por goteo) podría ofrecer una alternativa de mejora en el uso racional del riego en tabaco, con mayor control y ahorro del agua aplicada.

Sin embargo, el riego por goteo en cultivos anuales que requieren escarda, posee la desventaja de entorpecer las labores culturales durante su ciclo y aumentar la mano de obra en cosecha y/o poscosecha. En este sentido, parte de la solución se apoya en el desarrollo del riego por goteo subsuperficial (**Pizarro, 1986**).

El riego por goteo sub-superficial constituye el método óptimo de aplicación de agua para el tabaco con ventajas adicionales, como mayor durabilidad de las tuberías, mayor uniformidad **Peramo Méndez (1998)**, mayor porcentaje de suelo mojado y menor evaporación, En coincidencia con este último aspecto **Gil et al (2008)** evaluaron el efecto de riego por goteo con lateral enterrado y concluyeron que, en suelo homogéneo la uniformidad del riego subsuperficial es similar o incluso mayor que la de riego por goteo convencional, con menor, consumo de agua.

Como se ha expresado anteriormente, el goteo sub-superficial podría ser superior; no obstante, en el área de estudio no existen experiencias que permitan evaluar su desempeño en este cultivo, y compararlos con otros métodos como el riego por surcos o goteo convencional.

Por todo lo expuesto; es importante destacar que el conocimiento del grado de respuesta de la planta de tabaco a diferentes niveles de restricción hídrica durante su ciclo productivo, conjuntamente con el análisis de nuevas estrategias de aplicación, permitirían optimizar el uso del agua de riego en la producción tabacalera.

Los elementos necesarios para la planificación y aplicación de los mismos se estudiarán en el desarrollo del presente trabajo de tesis.

I.7:- OBJETIVOS

Objetivo general

Contribuir al uso eficiente del agua de riego en explotaciones tabacaleras del Valle de Lerma

Objetivo específico 1

Evaluar el efecto de diferentes métodos y estrategias de riego deficitario durante las fases de altura de rodilla y rápido crecimiento, sobre el crecimiento y producción del tabaco tipo Virginia

I.8:- HIPOTESIS

HIPÓTESIS 1

El desarrollo vegetativo y la producción consecuente en el cultivo de tabaco, responde de manera diferencial a los niveles de reposición de las Necesidades de Riego alcanzados durante las fases del cultivo, con posibilidad de imponer estrategias de riego deficitario.

HIPÓTESIS 2

Al aplicar estrategias de riego deficitario en el cultivo de tabaco, el desarrollo vegetativo y la producción, presentan condiciones alternativas más favorables, en aquellos métodos de aplicación que asegure una alta frecuencia de reposición.

2.- CARACTERIZACION AGROCLIMATICA DEL AREA DE ESTUDIO

2.1.- Área de estudio

El área de estudio se estableció en la EEA, Salta (24° 53' 36'' S y 65° 28' 36'' O) del INTA, ubicada en la zona central del Valle de Lerma en la provincia de Salta, Argentina.

El Valle de Lerma, abarca un área de 17.000 Km². Está ubicado entre los paralelos 24° 30' y 25° 37' de latitud sur y los meridianos 65° 22' y 65° 40' Oeste (Fig. 6). Su altitud media varía entre los 1100 y 1450 msnm. Geomorfológicamente se trata de una llanura aluvial, originada por el aporte continuo de sedimentos de los ríos que descienden del relieve montañoso del Oeste, **Vargas Gil (1999)**.

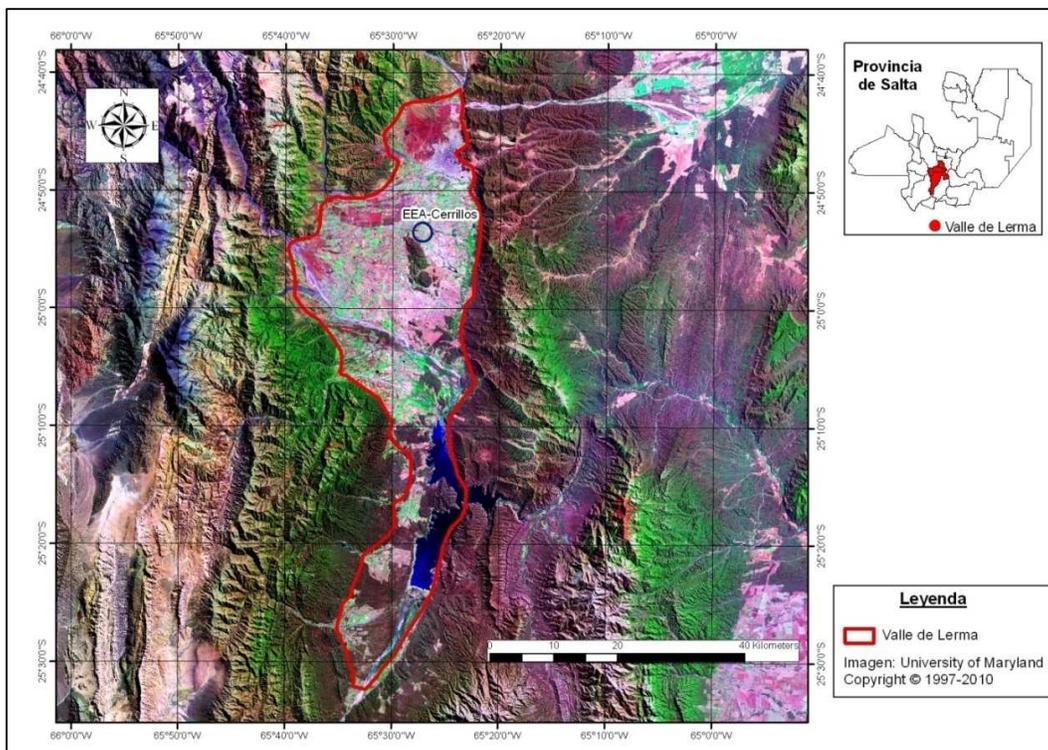


Figura 6: Ubicación geográfica y área de influencia del valle de Lerma. Fuente: Elaboración propia.

2.2.- Suelos

Los suelos del Valle de Lerma presentan escaso desarrollo pedogenético, Su estructura típica varía entre bloques sub-angulares a granular; pobres en materia orgánica, con valores medios de 1.35 %; ph neutro entre 6,7 a 7,3; relación carbono nitrógeno 10/1; conductividad eléctrica entre 0.9 a 1.8 (mS/cm). Son suelos no salinos, poseen buen drenaje interno y una adecuada relación de bases en el

complejo de intercambio. En general estas características son óptimas para producir tabaco de calidad.

Taxonómicamente, **Vargas Gil (1999)** clasifica los suelos donde se estableció el ensayo como Ustocrepte ácuico, serie Cerrillos. La unidad cartográfica serie Cerrillos se identifica como suelos claros, bien drenados, no anegables, ubicados en áreas llanas suavemente inclinadas. Estos suelos se desarrollan sobre materiales aluvionales de granulometrías medias a finas originando texturas franco a franco limosas. En general no presentan impedimentos físicos-químicos, pero dado su origen y riqueza en limo, tienen débil agregación pulverizándose con facilidad por el laboreo, lo que genera el planchado y encostrado de los mismos, aún con lluvias no muy intensas. (**Vargas Gil, 1999**). La característica genética de estos suelos, en conjunción con sistemas de cultivos de escasa rotación y/o excesos de labranzas, condujo a la degradación física, química y biológica de los mismos.

El lote seleccionado presenta una historia de uso ganadero con esquemas de rotación en base a cultivos de secano como maíz y sorgo e implantación de pasturas a lo largo de más de 10 años. A partir del año 2006 se incorpora al sector Tabaco de la EEA, Cerrillos para el replanteo de ensayos en diversas disciplinas.

2.3.- Clima

Vargas Gil, Nieva y Bianchi (1995) clasificaron el área de estudio teniendo en cuenta características climáticas y edáficas y basados en el método de **Thorntwaite (1984)** establecieron el siguiente tipo climático:

$$\frac{1f}{C1B'2 da'}$$

donde:

1: clase de aptitud para riego: óptima.

f: suelo franco .

C1: tipo climático subhúmedo seco, con precipitaciones de 600 a 800 mm/año.

B'2: índice de eficiencia térmica mesotermal con ETo entre 712 y 855 mm año⁻¹ y una temperatura media anual de 18°C.

d: variación estacional de efectividad hídrica, indica nulos o pequeños excesos de agua al final del verano y principios de otoño.

a': concentración estival de la eficiencia térmica, es decir el % de ETP en verano respecto de ETP anual el cual alcanza al 48%.

Es decir un tipo climático de condiciones mesotérmicas subhúmedo-seco con pequeños excesos de agua al final del verano.

2.3.1.- Temperatura

La marcha anual de la temperatura media mensual (Figura 7) obedece al tipo climático continental. Durante el período estival (principalmente noviembre), se presentan los máximos registros de temperatura media mensual; mientras que los valores - medios mínimos se destacan durante los meses invernales de junio y/o julio (**Vargas Gil y Bianchi, 1995**). Noviembre es el mes que registra la temperatura máxima absoluta con valores cercanos a los 41°C, mientras que en el mes de julio la temperatura mínima puede alcanzar valores de hasta -10°C.

2.3.2.- Precipitaciones

Del registro histórico disponible serie 1969 - 2008 se destacan dos períodos bien definidos: uno lluvioso que abarca desde fines noviembre a mediados de abril y otro seco, comprendido entre mayo y noviembre y caracterizado por escasas o nulas precipitaciones (Figura 7). En el periodo lluvioso se registra más del 90% de la precipitación anual. Enero es el mes de mayor peso relativo; mientras que junio, julio y agosto representan los meses más secos.

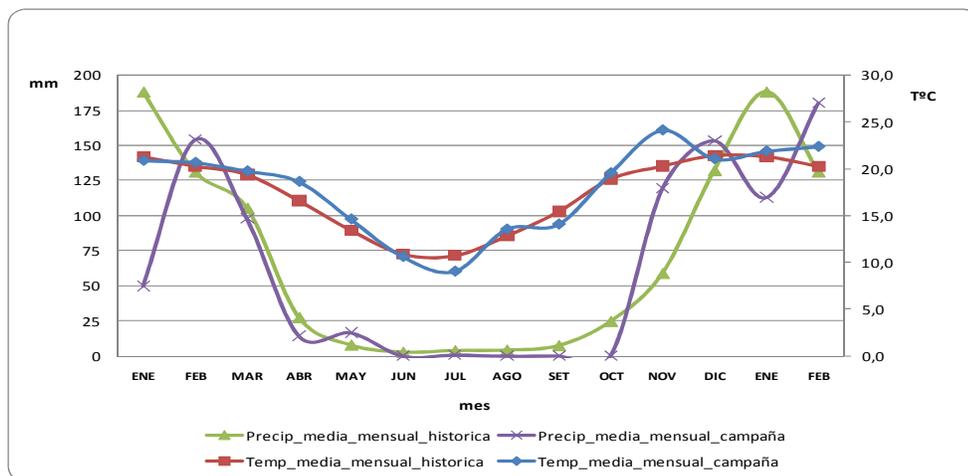


Figura 7: Condiciones climáticas del área de estudio: Precipitación media mensual histórica (---▲---), precipitación media mensual durante campaña de cultivo (---X---), temperatura media mensual histórica (---■---) y temperatura media mensual durante campaña de cultivo (---◆---).

2.4.- Hidrografía

Amengual et al, (1995), citado por **Paoli et al, (1997)**, señala que el recurso hídrico superficial en las provincias de Salta y Jujuy, posee una distribución espacial irregular, además de estar fuertemente afectados por una deficiente y desfavorable distribución temporal. A río no regulado, los ríos presentan un largo y pronunciado estiaje que abarca desde mediados de agosto hasta fines de noviembre, en contraposición a los períodos estivales que poseen alta concentración de volúmenes de agua.

El laboratorio de teledetección y SIG de la EEA, Salta a través de la Aplicación Arc Gis 9.2 Mod. Arc-Hidrology (INTA, EEA-cerrillos 2009), confeccionó el mapa de cuencas hidrográficas mediante ajuste y corrección de la cobertura cursos de agua del SIG250 del Instituto Geográfico Militar (IGM) disponible a escala 1:100.000, sobre la base del Modelo Digital de Elevación (DEM STRM) y Mosaicos satelitales orthorectificados del NOA del sensor Landsat TM. En base al mapa elaborado, y otros antecedentes ya mencionados, se determinó que el territorio provincial está comprendido por dos grandes cuencas hidrográficas; las que básicamente representa el sector agro productivo de la provincia de Salta. Son éstas; la cuenca del río Pasaje o Juramento y la del río Bermejo. A ellas se agregan otras de menor envergadura. (Mapa disponible en http://www.inta.gov.ar/prorenea/info/resultados/CuencasyRegionesHidricas/cuencas_salta_jujuy_Mapas.htm).

2.4.1.- Regiones y Cuencas hídricas del Juramento

La cuenca del río Juramento es parte integrante del Sistema del Salado, que vierte sus aguas al Río de la Plata. El relieve de la macrocuenca, hace posible su división en cuenca alta, media e inferior. A lo largo de su recorrido, a través de la provincia de Salta se desarrollan la cuenca alta y media, que dominan geográficamente según **Abeucci, y Sarafian, (2006)** las siguientes eco regiones: Estepas de la Puna, Monte y Cardonales de la Prepuna, Bosques y Arbustales del Chaco Semiárido (corresponde al ámbito del Valle de Lerma), Pastizales y Bosques Serranos y Selvas de las Yungas. Al entrar en el territorio de la provincia de Santiago del Estero toma el nombre de río Salado y termina por desembocar en el río Paraná a la altura de la provincia de Santa Fé, luego de un recorrido total de 1500 Km.

2.4.2.- Cuenca alta del Río Juramento

La Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (**SSRH, 2002**) ubica a la cuenca alta del Juramento ocupando parte del noroeste de la provincia de Salta, noreste de Catamarca, noroeste de Tucumán y una porción menor del sur de Jujuy. (**Abeucci y Sarafian, 2006**). La superficie aproximada definida por la entidad alcanza los 32.885 km². Sin embargo los trabajos realizados por el laboratorio de teledetección y SIG del INTA, EEA-Salta (2009), a través de la aplicación Arc Gis 9.2 Mod. Arc-Hidrology, estiman que la misma ocupa una superficie de 32.798,60 Km² y un perímetro de 1.519,10 Km. (Figura 9).

Su fuente principal se encuentra en las estribaciones orientales de los Andes en la llamada Sierra de los Pastos Grandes, al sur del cerro nevado de Acay en el departamento de Cachi. En esta zona de encajonados valles, se origina el río Calchaquí el cual discurre con dirección sur recibiendo los aportes de sus principales afluentes (Luracatao, Tacuil, Angastaco o Guasamayo) por la margen derecha. A la altura del departamento Cafayate, recibe por el sur las aguas del río Santa María; a partir de la confluencia con este último, tuerce abruptamente hacia el norte por la Quebrada de las Conchas para pasar a llamarse río Guachipas.

Antes de entrar en el valle al final de esta quebrada se une con el río Arias en lo se conoce como la zona de la Junta, y el cauce resultante toma el nombre de río Pasaje o río Juramento; aguas abajo regulado a través del embalse Gral. Manuel Belgrano (Cabra Corral). Esta subcuenca contribuye con el 60% de los caudales de la sucesión hidrológica del Sistema del Pasaje-Juramento-Salado.

Dentro de esta cuenca se desarrollan varios sistemas hídricos (Tabla 2) agrupados desde sus respectivas nacientes desde el borde oriental de la Puna hasta la confluencia con el dique embalse Gral. Belgrano, de los cuales, el sistema Rosario – Toro es el que sirve a la zona productiva del valle de Lerma.

Tabla 2: Sistemas componentes de la alta cuenca del Juramento

Cuenca	Subcuenca	Superficie (Km ²)	Perímetro (Km)
Alta del Río Juramento	Rosario-Toro	4.779,9	533,7
	Calchaquí Superior	4.391,2	448,1
	Luracatao	1.418,5	310,4
	Blanco - Tacuil - Humanao	1.351,7	252,8
	Arias - Arenales	1.226,1	248,2
	Chicoana	1.063,1	284
	Las Conchas - Guachipas	3.146,9	431
	Calchaquí Inferior	2.291,9	370,5
	Calchaquí Medio	654,8	167
	Guasamayo - Angastaco	2.833,5	357,7
	Santa María Este	5.542,5	600,6
	Santa María Oeste	4.098,3	544,9

Fuente: INTA, EEA-Cerillos-(2009)

Caracterización de las Cuencas Hídricas de las Provincias de Salta y Jujuy

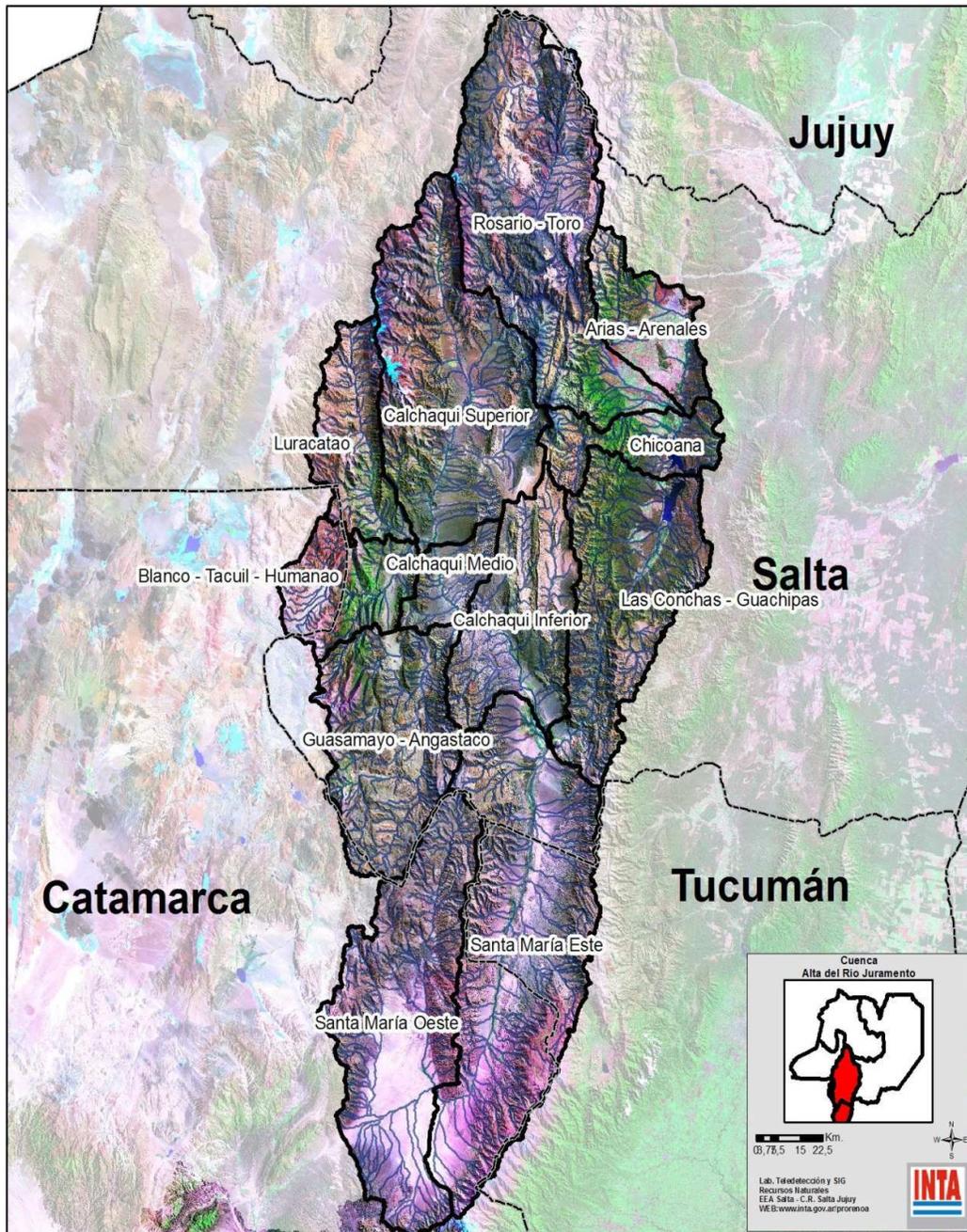


Figura 8: Cuenca Hídrica del Río Toro- Valle de Lerma, Salta.

2.4.3.- Subcuenca Rosario-Toro

El río Rosario -Toro nace en las serranías del Co. Chañi y Muñano, y desde las nacientes hasta su unión con el río Arias, cubre un recorrido de aproximadamente 210 Km colectando una cuenca con 4.779,90 Km² y un perímetro es de 9.533,60 Km (figura 8). Desde aguas arriba hacia su desembocadura sus principales afluentes son las quebradas de Tastil o Las Cuevas, de Las Capillas, el río Blanco, el arroyo Zanjón, el río Manzano, el río Agua Chuya y otros cursos de menor importancia. Aguas abajo, luego de recibir el río Agua Chuya por su margen derecha, el río Toro pasa a llamarse río Rosario, hasta su conexión con el río Arias. La red fluvial que compone la cuenca (Tabla 3), representa uno de los aportes de caudales más importantes ingresados anualmente al Dique Embalse Cabra Corral.

Los escurrimientos generados en los ríos componentes son en gran proporción de origen pluvial, en donde la infiltración retardada de la lámina del agua precipitada en el período de lluvias forma parte de los caudales decrecientes presentados en el cauce durante el período de estiaje; sin embargo algunos nevados semipermanentes contribuyen con el aporte correspondiente. (**Paoli**, comunicación personal).

Tabla 3: Red Fluvial Rosario-Toro.

Río Rosario o Toro	Qda. Tastil o de Las Cuevas
	Qda. Las Capillas
	R. Blanco
	A. Zanjón
	Río Manzano
	Río Agua Chuya

Fuente: Amengual *et al.* 1995

Como se observa en las tablas 4 y 5 los caudales disponibles para riego en el río Toro y en el río Blanco disminuyen desde las últimas lluvias ocurridas en abril, hacia los meses de invierno y primavera y dado que el régimen de escurrimiento del río está condicionado por la variación interanual de las precipitaciones, se puede establecer con claridad el inicio del estiaje en el mes de junio; pero el final del ciclo es variable en función directa a la anticipación o postergación del inicio de las lluvias. Algunos años el estío termina en octubre, o bien se prolonga hasta el mes de diciembre, siendo lo más común que culmine al finalizar el mes de noviembre. (**Amengual et al. 1985**).

Específicamente para el período ciclo hídrico 2009 - 2010, el escurrimiento de los principales ríos que contribuyen al sistema cuenca del río Rosario – Toro, ha mantenido su estiaje sin crecidas de importancia, hasta fines del mes de diciembre/2010. Situación que comprometió la disponibilidad de agua para riego, con notables disminuciones en los volúmenes embalsados en los diques que comprenden los sistemas de riego provinciales. (Paoli, H. comunicación personal).

Tabla 4: Caudales medios máximos y mínimos mensuales (m³/s) en el río Toro (Salta).

Período 1934/58	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Qmedio anual (m ³ /s)
Promedios	2,08	1,85	1,93	4,06	16,25	19,02	10,11	5,17	3,78	3,28	2,85	2,48	-----
Medios Máximos	3,1	2,8	3,7	14,5	55,5	47,8	21,9	11,5	8,7	8,2	4,0	3,5	15,433
Medios Mínimos	1,4	1,3	1,0	1,2	2,4	2,2	2,5	2,0	2,0	2,0	1,8	1,5	1,775

Fuente: Agua y Energía Eléctrica. Anuario hidrológico 1945-58.

Tabla 5: Caudales medios máximos y mínimos mensuales (m³/s) en el río Blanco (dique nivelador).

Período 1934/58	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Qmedio anual (m ³ /s)
Promedios	0,06	0,07	0,15	0,62	1,57	3,52	1,91	0,71	0,36	0,23	0,14	0,08	-----
Medios Máximos	0,14	0,23	0,47	2,80	4,85	8,92	3,56	1,13	0,58	0,33	0,25	0,16	1,955
Medios Mínimos	0,00	0,00	0,00	0,12	0,14	0,57	0,66	0,28	0,13	0,11	0,04	0,01	0,176

Fuente: Agua y Energía Eléctrica. Anuario hidrológico 1945-58.

Las principales actividades agrícolas, relacionadas con el uso de agua para riego en el Valle de Lerma, comienzan a partir de junio y continúan hasta la ocurrencia de las primeras lluvias de verano. Algunas pasturas relacionadas con la producción de ganadería lechera son regadas también durante el período comprendido entre abril y diciembre; como es de prever, entre diciembre y abril (período lluvioso), el requerimiento de agua para riego es mínimo comparado con el semestre de estiaje crítico (junio – noviembre).

2.5.- Estado del arte del riego en la provincia de Salta y el Valle de Lerma

2.5.1.- Obras Hidráulicas con fines de riego

Hasta 1992, Agua y Energía de la Nación, junto con los correspondientes Organismos Provinciales, se encargó del desarrollo de las obras de riego a nivel nacional. Las primeras acciones en el ámbito del aprovechamiento del recurso

hídrico en Salta, datan de la década del treinta, desde entonces y hasta la década del 90, fueron importantes las obras hídricas desarrolladas en el entorno productivo del Valle de Lerma

En la actualidad, los ríos que integran la red de suministro de agua del Valle de Lerma, están regulados a través del Dique Embalse General Belgrano (Cabra Corral). Este dique es de propósito múltiple, cumplido a través de la generación de energía, provisión para riego, agua potable y almacenamiento de crecidas temporarias. Acompañan al Dique Embalse General Belgrano, otras obras hidráulicas de singular envergadura, tales como:

- 1.- Dique Peñas Blancas (Compensador Diario), encargado de recibir las aguas turbinadas durante las horas de producción de energía.
- 2.- Azud nivelador Miraflores, cuyo objetivo es captar y derivar de manera eficiente el agua para riego utilizada en la zona del El Galpón (Salta).
- 3.- Dique Embalse El Tunal, que actúa como compensador de Riego y acumula un volumen de 300 hm³, utilizado en la zona de riego aguas abajo del mencionado embalse.

En otros puntos de la cuenca, forman parte de este complejo de obras, el Dique Embalse "La Dársena" con capacidad de 2 Hm³ ubicado en cercanías de la localidad de San Carlos; en el propio Valle de Lerma (Campo Quijano), el embalse "Las Lomitas" de 6 hm³, (cuyo objetivo es suplementar agua al sistema de riego río Toro en época de estiaje) y los diques embalses (Puerta de Díaz) Moldes I y II localizados en el entorno de la localidad de Coronel Moldes. Estos pequeños embalses presentan actualmente algún grado de colmatación, que supera el volumen muerto definido en el diseño original

Un número importante (entre 100 y 200) de pequeñas y medianas represas de orden privado, cuyas capacidades oscilan entre 0,10 a 0,50 hm³, acompañan la producción de cultivos bajo riego en el Valle de Lerma. El principal objetivo de estos reservorios es acumular agua para riego desde el servicio de entrega que prestan los consorcios de riego (turnos de riego), para su posterior aplicación a las parcelas.

2.5.2.- Marco jurídico

El manejo y la administración de estas obras y del agua para riego estuvieron en la órbita del estado nacional hasta 1947, año en que se sanciona la ley provincial

Nº 775, denominada Código de Aguas de la provincia de Salta. Esta Ley, reguló la normativa sobre la administración del recurso hídrico en la provincia la que haciendo uso de sus facultades, crea en el año 1946, la Administración General de Aguas de Salta (AGAS), ente que tuvo a su cargo la administración del agua en la provincia de Salta hasta marzo de 1.996, momento en que se produce la reestructuración del organismo como parte de la política instrumentada en el orden nacional para la década del 90.

El Código de Agua de la Provincia de Salta; reglamentaba la constitución de consorcios de usuarios; sin embargo, durante los años de vigencia de esta ley, dado el carácter no obligatorio de participación plena de los usuarios en la constitución de los mismos, no se estimuló la formación de consorcios de usuarios.

La ex AGAS, organizó las áreas de riego de la provincia, a modo operativo, en catorce (14) Intendencias de Riego las que operaban y administraban una superficie total empadronada de 227.000 ha, de las cuales 140.000 ha tenían concesión permanentes, 47.000 ha temporal eventual y 40.000 ha permiso precario y uso industrial equivalente (**Amengual, Paoli y Cerezo, 1995**)

A partir de 1992 se inicio un proceso de transferencia de las responsabilidades en la administración de las agua de riego a las provincias, (**FAO, 2000**). La reforma constitucional de la provincia de Salta sancionada en 1998 establece en materia de agua que “Los Poderes Públicos estimulan la expansión de las zonas bajo riego y la constitución de Consorcios de Riego”. La continuidad ideológica de esta política se plasmó con la sanción de la ley 7017 en el año 1999, conocida como nuevo Código de Aguas de Salta, el cual define claramente una mayor participación del usuario en el manejo del recurso: “el manejo y administración de los sistemas de riego estará a cargo de los llamados consorcios de regantes; personas jurídicas de derecho público y privado, autárquicos, capaces de adquirir derechos y contraer obligaciones”. (**Arce, 2003**)

La puesta en vigencia simultánea de la nueva constitución provincial y del nuevo código de aguas, inició un profundo cambio estructural. Analizando estos cambios, se observa que en el Ministerio de la Producción y el Empleo se crea por decreto provincial nº 1097, la Agencia de Recursos Hídricos (**ARH**), con sus respectivas direcciones: Registro y Catastro de riego, Administración y Cobranzas, Ingeniería Hídrica y Dirección Jurídica. El mismo decreto establece a la ARH como autoridad de aplicación de la ley 7017, es decir el nuevo Código de Aguas de la provincia de Salta.

A partir de mediados del 2002 estos cambios estructurales entregaron el manejo de los sistemas de riego a los consorcios de usuarios que comenzarían a formarse después de más de 50 años de manejo y control estatal del agua de riego. A la fecha la **ARH** informa la existencia de 54 consorcios de usuarios en la provincia de Salta constituidos por alrededor de 7.974 usuarios que en conjunto administran, gestionan y distribuyen agua de riego para las 274.383,75 ha empadronadas con la siguiente clasificación de acuerdo al tipo de concesión: 155.656,10 ha permanente, 115.340,60 ha eventual y 3.486,90 ha con carácter precario. (**ARH, comunicación personal**)

De todos los consorcios de usuarios de agua para riego tres (3) disponen de embalses que regulan el caudal de los respectivos cursos de agua superficial concesionados, ellos son: consorcio de usuarios del Sistema Hídrico del Río Juramento, Consorcio de Usuarios del Sistema Hídrico del Río Toro y Consorcio de Usuarios del Sistema Hídrico del Río Chuñapampa. Menos del 10% de los Consorcios tiene sus canales primarios y secundarios revestidos, entre los que pueden citarse el Consorcio "Usuarios de San Antonio" en el Dto. San Carlos y del Sistema Hídrico de los ríos Chuscha y Lorohausi en el Dto. de Cafayate. Otro 10% de los sistemas de riego poseen algunos de sus canales revestidos entre los más destacados se mencionan: sistema hídrico Chicoana - Pulares, (Valle de Lerma) sistema del Río Rosario – Toro (Valle de Lerma), Sistema del Río Colorado (Cafayate).

La conducción de agua para el resto de los consorcios de riego, (aproximadamente un 80 % de sus longitudes de conducción), disponen y/o trazan anualmente sus acequias excavadas en terreno natural, (**Guaymas, 2007**)

2.5.3.- Manejo del agua de riego a nivel predial

En base a los datos informados en el censo agropecuario llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos para el año 2002 se calcula que de la superficie bajo riego en la provincia de Salta; el 77,30 % es regado con métodos gravitacionales; el 17,80 % por aspersión y el 4,90 % por métodos localizados. Sin embargo, en algunas zonas, principalmente en el departamento Cafayate, se han reestructurados antiguos sistemas de conducción a efectos de posibilitar la aplicación de agua con riego de alta frecuencia (goteo). Paralelamente se han desarrollados nuevos emprendimientos de gran importancia; (vid en espaldero y/o parrales), los que actualmente son operados con riego presurizado, principalmente

riego localizado de alta frecuencia con utilización de agua superficial en algunos casos, y agua subterránea proveniente de pozos perforados.

En el Valle de Lerma los productores implementan casi en la totalidad de la superficie implantada y regada el sistema de riego por superficie. El método gravimétrico más usado es el riego por surco con pendiente y desagüe al pie, en cultivos de escardas como el tabaco, hortalizas y aromáticas; y melgas sin desagüe al pie en los casos de establecimientos con actividades de tambo y/o frutales e incluso en aquellos establecimientos tabacaleros que riegan durante el invierno sus cultivos de cobertura.

Los surcos de cultivo se trazan en sentido de la máxima pendiente, o en curva de nivel que en muchos casos exceden el límite de pendientes recomendadas para estos suelos, de tal manera que los signos de erosión son evidentes a lo largo de la campaña. **Paoli** (comunicación personal) señala que el efecto de la pendiente en el sentido del riego, debe ser compatibilizada con asegurar la salida de agua al pie del surco durante el período de lluvias, a efectos de mitigar los problemas sanitarios que en Tabaco, muchas veces se asocia a anegamientos temporarios de algunos sectores de pendiente menores a 0,30 %

El largo de los surcos por lo general, es de 100 metros. La longitud definida anteriormente, está asociada a razones culturales relacionadas con la recolección de las hojas, sin embargo, se evidenciaron casos de longitudes de surcos de 400 m y hasta de 800 m de largo durante el periodo inicial del cultivo, lo que dificulta la uniformidad de aplicación de agua en el perfil del suelo. En etapas más avanzadas del cultivo, esas longitudes máximas son reducidas a la mitad.

El agua es conducida hacia el cultivo desde las represas o puntos de entrega por acequias no revestidas. La derivación a los surcos se realiza mediante regueras en las que se generan cierres improvisados con champas (rastrojo de poroto y/o plástico). El regador construye contra-acequias en la cabecera de la unidad de riego. Éstas alimentan de 3 a 10 surcos en forma simultánea (tapada), regulando artesanalmente los caudales de ingreso de agua a la tapada.

Los caudales operados por el regador varían entre 5 y 15 l/s/tapada; lo que define caudales unitarios de 0,40 a 1,50 l/s*surco, dependiendo del caudal e infraestructura disponible, características topográficas, perímetro mojado del surco durante el inicio del cultivo, y manejo tradicional asociado a la actividad.

En algunas parcelas, la derivación es realizada mediante tubería flexible con ventanitas. Estas permiten regular el caudal derivado con cierre y/o apertura de

ventana y manejo de altura de carga de agua al inicio de la manga. Hasta el presente no se ha incorporado la distribución de agua con manga flexible, y derivación por ventanas con válvula automática que permita aplicar agua en surcos mediante riego discontinuo (**Paoli y Diez, 2006**).

Durante la operación del riego se maneja un solo caudal. El tiempo de aplicación queda sujeto a criterios del regador; sin embargo, en general no se cumple con el tiempo de infiltración de la lámina de riego requerida.

Trabajos de evaluación de desempeño en fincas llevados a cabo por técnicos de la EEA, Salta (**Paoli y Diez, 2006**) evidencian la ausencia de aplicación de técnicas de manejo del riego gravitacional que permitan mejorar la performance de los mismos. En materia de manejo de suelos, los productores tabacaleros solo tienden a ajustar el balance nutricional del cultivo durante la campaña agrícola. Sin embargo, no abordan el conocimiento sobre la determinación de los parámetros o constantes hídricas del suelo, lo que dificulta la implementación de técnicas de programación de los riegos. En este sentido **Paoli y Diez (2006)**, entienden que los sistemas productivos evaluados operan por experiencia y conveniencia, manejando el cultivo con riego a déficit, ya que la disponibilidad de caudales decrece a lo largo del período de estiaje.

2. MATERIALES Y METODOS

3.1.- Sitio de ensayo

La experiencia se llevó a cabo en el campo experimental en la Estación Experimental Agropecuaria de Salta (24°53'36"S, 65°28'36"O) en un cultivo de tabaco tipo Virginia (*Nicotiana tabaccum cv. K396*). EL suelo es clasificado según USDA como Ustocrepte ácuico, serie Cerrillos. (Figura 10).



Figura 10: Ubicación geográfica del sitio de ensayo

Mediante apertura de calicata en sitio del ensayo se realizó un estudio edafológico para detallar y describir cada capa/horizonte del perfil (Tabla 6). La ficha edafológica correspondiente se muestra en Anexos (Figura 1). De cada capa se determinó: espesor, densidad aparente según **FAO (1966)** y textura por método Bouyoucos (**Dewis & Freitas, 1970**), mientras que las constantes hídricas capacidad de campo (W_{cc}) y punto de marchitez permanente (W_{pmp}) se adoptaron de tablas (**Israelsen y Hansen, 1962**) fijando el rango de valores de las mismas en función del conocimiento de las características físicas del suelo, principalmente textura.

Tabla 6: Parámetros hidrológico del perfil del suelo del sitio de estudio

Ls	Li	Textura	Pr	E	θ_{cc}	θ_{pmp}	δa	LTU	LFU
0	7	F	70	70	0,22	0,07	1,43	15,02	9,01
7	29	F	290	220	0,22	0,07	1,43	47,19	28,31
29	45	FI	450	160	0,29	0,10	1,41	42,86	25,72
45	50	aL	500	50	0,36	0,11	1,25	15,63	9,38

Ls: Limite superior de la capa/horizonte [cm].

Li: Limite inferior de la capa/horizonte [cm].

Pr: Profundidad del limite inferior de la capa/horizonte [mm].

E: Espesor de la capa/horizonte [mm].

θ_{cc} : Contenido volumétrico de agua a capacidad de campo de la capa/horizonte [%].

θ_{pmp} : Contenido volumétrico de agua a punto de marchitez permanente de la capa/horizonte [%].

δa : Densidad aparente de la capa/horizonte [g/cc].

LTU: Lamina total utilizable de la capa/horizonte [mm].

LFU: Lamina total utilizable de la capa/horizonte [mm].

3.2.- Diseño experimental

El ensayo se estableció en el área de experimentación adaptativa de tabaco del INTA, EEA-Salta. Se planteó un diseño completamente aleatorizado involucrando un arreglo de tratamiento factorial con cuatro repeticiones. Se probaron dos factores con dos niveles cada uno; A: sistema de riego (goteo y surco) y B: nivel de reposición de la NNR: (100 % y 60 %). Resultan así los tratamientos: **RS100**: riego por surco con reposición de 100 % de las necesidades netas de riego (NNR); **RS60**: riego por surco con reposición de 60 % de NNR; **RG60**: riego por goteo con reposición de 60 % de NNR; y **RG100**: riego por goteo con reposición de 100 % de NNR.

Se estableció como unidad experimental (**UE**) parcelas de 20 m de largo con tres surcos y ancho total de 3,60 m. Esta UE se dividió en dos partes: una de 5 metros de largo destinado a la cosecha, basándose en los ensayos de blanco de rendimiento realizados en el INTA Cerrillos por **Ortega y Toncovich, (2008)** para determinar el tamaño óptimo de la parcela experimental para el cultivo de tabaco, que permitan minimizar el coeficiente de variación (CV%) de la variable respuesta; el resto de la UE se definió de 15 metros de longitud en función del espacio necesario para el muestreos extractivo de plantas. El terreno donde se ubica el experimento tiene una pendiente del 0,70 % en el sentido de las líneas de goteo y de los surcos; y entre cada UE se dejó una franja sin riego ni cultivo de dos surcos (2,40 m) con el objeto de conservar una zona de bordura y para evitar al efecto de posibles escurrimientos laterales (Figura 11).

Las NNR se estimaron como la diferencia entre la evapotranspiración de cultivo acumulada y la precipitación efectiva entre dos eventos de riego. El tratamiento de riego por surco con reposición de 60% de NNR se corresponde con el manejo cultural

del riego que se practica en la zona de estudio para este cultivo (tecnología de uso actual: **TUA**), en función del sistema de turnado de los riegos, de los caudales disponibles en el sistema y del manejo descrito oportunamente (ver 2.5.3). A los efectos de contrastar este manejo con un manejo que suponga una provisión óptima de agua al cultivo se fijó reponer el 100 % y 60 % de NNR.

Asimismo, los diferentes niveles de reposición (NNR) se impusieron con riego por goteo y por surco para evaluar el efecto que puede tener los mismos bajo una mayor frecuencia de reposición.

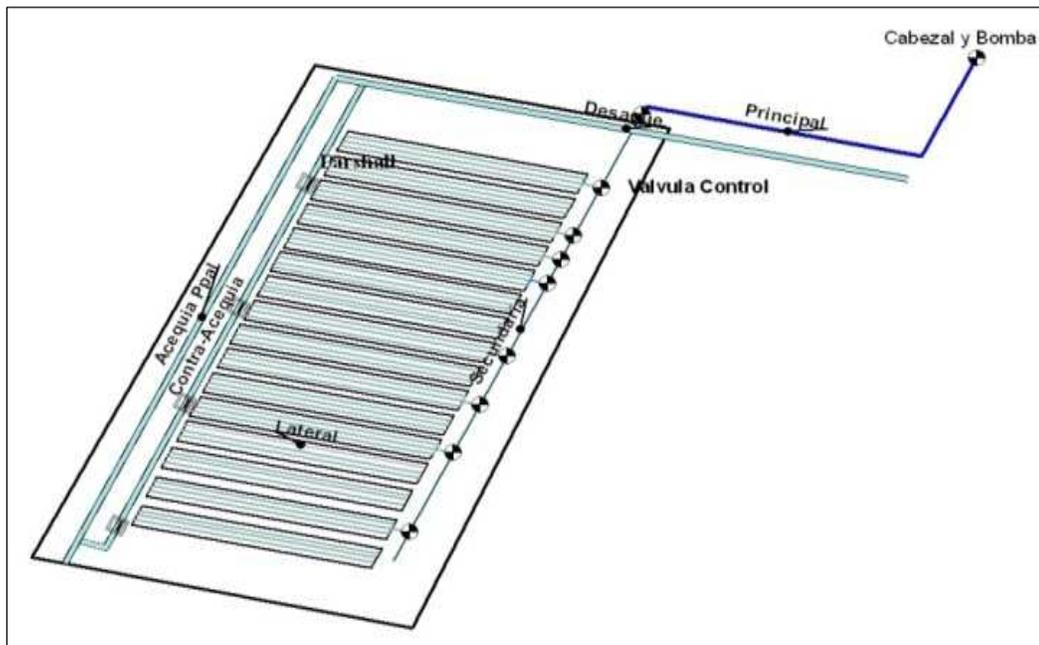


Figura 11: Esquema de la red de riego y distribución de las parcelas de ensayo.

La Figura 12 muestra las estrategias de riego propuestas durante las fases de altura de rodilla y de rápido crecimiento, ambas en el periodo inicial del ciclo productivo. Estas dos etapas presentan la ventana posible para llevar a cabo manejos operativos en el riego y son las que permiten imponer restricciones hídricas al cultivo. Esto se debe a que durante la fase de adaptación el manejo del riego, junto al trasplante y reposición de plántulas, aseguran láminas tales que influyen fuerte y positivamente en el balance hídrico. Asimismo, dado el comportamiento climático de la zona durante las fases reproductivas del ciclo, es muy probable el advenimiento de lluvias que aseguran disponibilidades hídricas no restrictivas donde no es necesario regar.

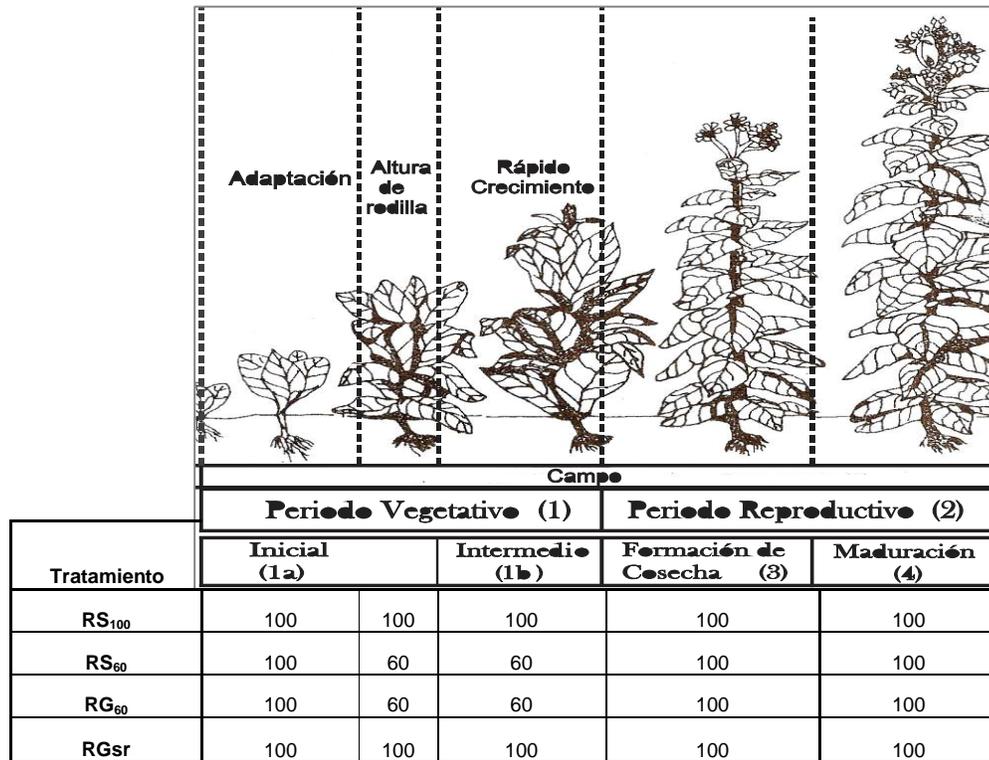


Figura 12: Porcentaje de reposición de la NNR del cultivo proyectada en cada fase del ciclo productivo en cada una de las estrategia de riego ensayadas.

3.3.- Sistema de riego

Para el riego por superficie (**RS**) se trazó una acequia principal paralela al ensayo por su lado Oeste, desde la cual se alimenta una contra-acequia o acequia secundaria que permite derivar el agua hacia cada parcela. La acequia secundaria tiene el mismo sentido que la principal y su función es contener y permitir el uso de estructuras aforadoras de canaletas tipo Parshall de 3" (Figura 11).

En las parcelas regadas con goteo (**RG**) se instaló una tubería secundaria paralela al ensayo por su límite Este. Esta tubería secundaria se conectó a otra que alimenta tres líneas de goteo. Como línea lateral se utilizó una cinta de goteo Pathfinder 3000 con separación entre goteros cada 0,20 m y caudal medio de emisión de 1,10 L/h a una presión de operación de 8 m.c.a. La cinta se colocó inmediatamente después del trasplante y quedó enterrada con los sucesivos aporques a una profundidad de 0,20 m. El resto de las instalaciones que conforman el sistema de bombeo y cabezal del equipo (bombas, filtros, reguladores de presión, etc.) fueron adaptadas para las condiciones propias del ensayo.

Para el control de los volúmenes aplicados en las parcelas regadas por gravedad se integraron las lecturas de altura de agua medidas en las estructuras aforadoras (canaletas tipo Parshall de 3") en un determinado tiempo de riego (**Tr**). Éste fue variable en función de las necesidades netas de riego (**NNR**), el caudal derivado a las parcelas (**Qd**) y la eficiencia de aplicación (**Ef**) adoptada (Ec. 1).

$$Tr = \frac{NNR}{Qd \times EFA} = \frac{ET_{cum} - Pe}{Qd \times EFA} \quad (Ec. 1)$$

donde:

Tr: tiempo de riego [min]

NNR: Necesidades netas de riego [mm].

ETc: Evapotranspiración del cultivo acumulada entre dos periodos de riego [L/m²]

Pe: Precipitación efectiva [mm]

Qd: Caudal derivado en forma constante. [L/min*m²]

Ef: Eficiencia de aplicación.

El caudal derivado (Qd) se estimó en el aforador de entrada mientras se derivaba agua a la parcela. (Ec. 2)

$$Qd = 177,1 \left(\frac{Hc}{100} \right)^{1,55} \quad (Ec. 2)$$

donde:

Qd = Caudal derivado en forma constante [L/s].

Hc= altura de agua en el aforador [cm].

Para asegurar la entrega de un caudal constante hacia las parcelas, se derivó desde la acequia de alimentación principal hacia las estructuras aforadoras un tiempo tal que permitiese obtener una altura de carga constante. Equilibrada la altura de carga, se calcularon los tiempos necesarios para lograr los volúmenes de riegos estipulados (**Vd**) y finalmente, una vez fijado **Tr**, se procedió a derivar el agua hacia las parcelas.

Para las parcelas regadas por goteo el **Tr** fue variable en función de las necesidades netas de riego (**NNR**), la tasa de aplicación del sistema (**Ta**) y la eficiencia de aplicación (**Ef**) adoptada (Ec. 3).

$$Tr = \frac{NNR}{Ta \times Ef} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde:

Tr: tiempo de riego [min].
 NNR: Necesidades netas de riego [mm].
 Ta: Tasa de aplicación del sistema [mm/min].
 Ef: Eficiencia de aplicación.

Por tratarse de un cultivo de ciclo corto, de carácter anual con alta densidad de plantación, para el cálculo de las NNR se tuvieron en cuenta las consideraciones formuladas por **Goldberg, Gornat y Rimon (1976)** citados en **Pizarro, (1997)**, acerca de la transpiración potencial en relación al estado de desarrollo del cultivo. Así las **NNR** se calcularon de acuerdo a **Hoare et al, (1974)** citado en **Pizarro, (1997)** quedando la ecuación 1 como sigue:

$$Tr = \frac{NNR}{Ta \times Ef} = \frac{(E_{\text{potencial}} - P_e)}{Ta \times Ef} = \quad (\text{Ec. 4})$$

Siendo

$$F = 0.8 \times f1 * f2 \quad (\text{Ec. 5})$$

y

$$f1 = A + \frac{1}{2}(1 - A) \quad (\text{Ec. 6})$$

donde:

F: factor de localización
 f1: coeficiente de cultivo que incluye un factor debido al desarrollo de la planta para tabaco (**Hoare et al** proponen valor 1)
 f2: factor debido al suelo
 A: fracción de superficie sombreada por el cultivo

Teniendo en cuenta que se trata de un cultivo anual y con el propósito de calcular **f1**, se estimó a lo largo del ciclo el diámetro de la cobertura del follaje. Para ello se realizó análisis digital de imágenes con el software libre ImageJ[®], a partir de fotografías tomadas de la vista superior (planta) del cultivo. Aquel diámetro, multiplicado por una unidad de metro lineal, representa la fracción de superficie sombreada (**A**) y equivale a los metros cuadrados de planta por metro lineal de cultivo. La Tabla 7 muestra los

valores f_2 en función del tipo de suelo. En este trabajo se adoptó aquel fijado para suelos limosos.

Tabla 7: Valores del factor debido a suelo (f_2) según Jobling

Tipo de suelo	f_2
Arena gruesa, horizonte subsuperficial ligero descansado sobre subsuelo de grava arenoso	1.15
arenoso	1.10
Limoso	1.05
Francos y Arcillosos	1.00

Para el cálculo del porcentaje de suelo mojado (PSM) se realizó una prueba de bulbo húmedo a campo según metodología descrita por **Pizarro (1986)**. La prueba se llevó a cabo en las parcelas con goteo, previo al trasplante y evaluando cuatro tiempos: 60 min, 120 min, 180 min y 240 min. Se estimaron ecuaciones que relacionan el radio de humedecimiento (**Rh**) y la profundidad de humedecimiento (**Ph**) con los volúmenes aplicados (**Vd**), utilizando análisis de regresión (**Gil-Marín, 2001**). Rh permitió calcular el área mojada (**AM**) por la cinta emisora por metro lineal de cultivo, que posteriormente se utilizó en el cálculo del **PSM** alcanzado con cada volumen de agua aplicado. El rango de valores límites y los cálculos de **PSM** se adaptaron de **Ferreyra Espada (2005)** para cultivos hortícolas (Ec. 7). Debido a que el sistema de riego por goteo consistió en cintas con emisores espaciados a intervalos menores al menor distanciamiento entre plantas, en el cálculo de **AM** se consideró una hilera de cultivo de un metro.

$$PSM = \frac{AM}{A} \times 100 = \frac{2Rh}{Dp} \times 100 \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde

PSM: Porcentaje de suelo mojado [%]. (Rango óptimo 50-65%)

AM: Área de mojado.

Rh: Radio de humedecimiento del bulbo húmedo [m].

Dp: Diámetro de la cobertura del follaje [m].

Para controlar fuentes de variación debidas al riego por posibles diferencias entre los emisores, en forma simultánea a la pruebas de bulbo se realizó una evaluación de la uniformidad de descarga de los emisores según metodología de **Merriam y Keller (1978, citado en Pizarro, 1986)**. Para ello, se seleccionaron emisores de la cinta que regaban el surco central de las parcelas, se midieron los volúmenes erogados y se calculó el coeficiente de uniformidad (CU) como el cociente entre la media de

descarga de los emisores que se ubicaron en el 25 % inferior de las descargas con respecto a la media de descarga de todos los goteros.

3.4.- Plantación y labores culturales

El cronograma de las actividades de laboreo y cultura se presentan en Anexos (Tabla 1). Las plantas del ensayo se obtuvieron de almácigos flotantes del programa PROZONO conducidos en INTA, EEA-Salta y se trasplantaron luego de 60 días desde germinación, en estado vegetativo inicial de crecimiento.

El trasplante se realizó manualmente (21/09) en todas las parcelas. A los 7 días después del trasplante (**DDT**) se controló el stand de plantas y en los casos de falla se procedió a la reposición acompañada de un riego, practica conocida como “refalle”, para de esta manera homogeneizar el número de plantas por UE.

La fertilización se ajustó a TUA, aplicando formulaciones sólidas en dos momentos del ciclo: una llamada de base (12 DDT), con 600 kg ha⁻¹ de 11-17-14 conjuntamente con el refalle y otra de repique (45 DDT) con 100 kg ha⁻¹ de 13-00-44.

Durante todo el ciclo se controló malezas con carpidas manuales y el aporque de las plantas se realizó luego del repique, a 45 DDT. A 91 DDT se ejecutó la práctica conocida como “capado”, “desflore” o “topping” según su denominación en ingles. Esta tarea consiste en cortar la parte superior del tallo y su yema apical, removiéndolos de la planta junto con algunas hojas de escaso desarrollo, en el momento en que comienzan a emitirse tallos florales.

Posteriormente se procedió a controlar semanalmente, con agroquímicos de base hormonal, los sucesivos rebrotes que la planta emite en respuesta a la supresión de dominancia ejercida por el desflore. Esta práctica consigue re-direccionar la relación fuente-destino exclusivamente hacia las hojas, limitando a la vez el número de hojas por planta con el propósito de lograr un mayor desarrollo foliar, es decir mayor longitud y ancho de la hoja.

El número de hojas por planta a cosecha es una herramienta de manejo cultural que debe ajustarse para cada material vegetal y localidad de cultivo, razón por la cual existen numerosos ensayos de evaluación del efecto en los rendimientos que promueve la práctica de capado a nivel local e internacional. Acorde con los resultados encontrados y en base a la experiencia local de los técnicos especialistas en tabaco (**Gali**, com. Personal, c. 2010) para el material vegetal usado se estableció dejar a cosecha dieciocho (18) hojas por planta en cada parcela sin discriminar el método de riego o la estrategia empleada.

3.5.- Colección de datos meteorológicos

Desde el laboratorio de teledetección y SIG del INTA, EEA- Salta se creó un link de acceso directo vía internet hacia los datos almacenados en la estación meteorológica automática (EMA) marca DAVIS modelo Vantage Pro2 ubicada a 600 m del lugar del ensayo. Esto permitió obtener reportes electrónicos con intervalos horarios de las distintas variables climáticas, esencialmente precipitación (**P**) y Evapotranspiración de referencia (**ET_o**). Ésta fue estimada por la propia EMA a través de un algoritmo utilizando para ello los fundamentos de la ecuación de FAO según **Allen et al, (2006)**. Estos datos se usaron para el cálculo de un balance hídrico simplificado del suelo.

3.6.- Muestreos, determinaciones y estimaciones

3.6.1.- Muestreos

Cada parcela se dividió en dos fracciones (Figura 13), una de 15 m de largo donde se realizaron muestreos extractivos de plantas con el objeto de calcular área foliar (**AF**), la materia seca (**MS**) de planta entera y por partes de la planta (hoja, tallo y raíz); y otra fracción de 5 metros donde se conservaron las plantas para las sucesivas cosechas. (**Moustakas, 2005; Bilalis, 2009**).

Los números señalan el orden correlativo, desde cabecera, de las plantas centrales extraídas en cada momento (Figura 13). El muestreo consistió en la obtención conjunta de la planta central, más sus adyacentes izquierda y derecha, formando así un pool de tres plantas por muestra. Cada una de ellas fue extraída del suelo excavando un pozo a su alrededor, con un diámetro y una profundidad tal que se aseguró captar las raíces sin dañarlas.

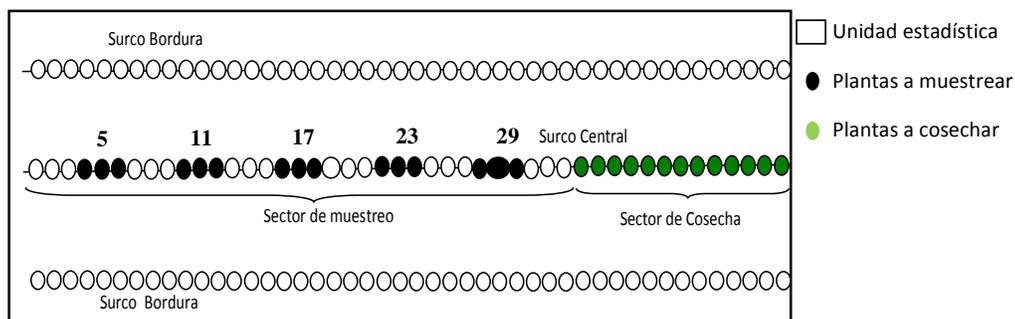


Figura 13: Diagrama en planta de la unidad estadística detallando los sectores destinados a muestreo y cosecha de plantas.

La tabla 8 muestra el número de plantas extraídas por parcela en cada fase fenológica. Éstas fueron lavadas para remover los restos de tierra y luego se separaron hojas, raíces y tallo. Las hojas se prepararon para determinar área foliar

según ya fue mencionado y posteriormente se formó una muestra compuesta de hojas, raíces y tallo que se envió a laboratorio para determinar materia seca.

Tabla 8: Momentos de muestreo o Cosecha y el número de muestras tomadas por parcela

Momento fenológico	DDT	Nº plantas	Observaciones
Adaptación (Ad)	30	3	Extracción de planta completa
Altura de la rodilla (AR)	45	3	Extracción de planta completa
Floración, desflore (FD)	75	3	Extracción de planta completa
Maduración y Cosecha (MC)	94 -150	13	Extracción escalonada de hojas maduras

Fuente: Adaptado de Diez, J. (2011, en prensa)

3.6.2.- Determinaciones

3.6.2.1.- Materia seca por partes de la planta

Para evaluar el efecto del estrés impuesto en la dinámica de crecimiento se determinó, en cada muestra compuesta, la materia seca (**MS**) por partes de la planta (hoja, tallo y raíz) y completa -obtenida como la suma de las anteriores-; mediante gravimetría, secando en estufa a 70°C hasta peso constante.

3.6.2.2.- Materia seca de cada cosecha y total cosechada

Mientras que la productividad se determinó a partir de MS de las hojas extraídas en cada parcela en las sucesivas cosechas (**MS_Cn: materia seca de la enésima cosecha**). Éstas fueron cinco en total, conforme maduraban las hojas desde la base hacia el punto de desflore y se las identificó como MS de la primera cosecha (**MS_C1**), MS de la segunda cosecha (**MS_C2**), MS de la tercera cosecha (**MS_C3**), MS de la cuarta cosecha (**MS_C4**) y MS de la quinta cosecha (**MS_C5**). Con todas las **MS_Cn** se formó un pool denominado materia seca cosechada total (**MS_CT**).

3.6.2.3.- Área foliar

A partir de fotografías de las hojas de plantas extraídas en cada muestreo, se estimó el área foliar en cada momento de muestreo (**AF**) mediante un proceso digital de imágenes con el software ImageJ®.

Para ello se extrajeron plantas a lo largo del surco central de la UE, las que se agruparon en una muestra simple. Este esquema asegura mantener las condiciones libre de competencia por los recursos entre las plantas involucradas en la aleatorización, desde el inicio al final del muestreo y durante las sucesivas extracciones. Una vez obtenidas e identificadas las plantas, se separaron las hojas del

tallo, se las lavó con agua corriente y, estando aun mojadas, se las distribuyó prolijamente con el haz hacia arriba sobre una lamina plástica de color blanco para ser fotografiadas con cámara digital. Este procedimiento permite obtener mayor contraste entre las laminas foliares y el fondo de la fotografía (lamina plástica) permitiendo así mejor performance en el proceso de la imagen.

Las imágenes captadas se rescataron desde la tarjeta de memoria de la cámara fotográfica digital, se renombraron con un código que identificaba la parcela de origen y el momento de muestreo correspondiente y posteriormente se procesaron digitalmente. De este proceso se obtuvo el área foliar (m^2) a inicios de las fases: altura de rodilla (AR), rápido crecimiento (RC) y formación de cosecha (FC).

3.6.2.4.- Agua en el suelo

La variación de agua en el suelo (ΔL) entre cada periodo de riego (signo + debido a recarga por riego o lluvias y signo – por extracción), se obtuvo con el monitoreo periódico de las parcelas cultivadas con una sonda FDR portátil Diviner 2000® (Sentex Pty Ltd) con tubos de acceso en el centro de cada parcela.

La sonda FDR calcula el contenido de agua volumétrico en el suelo (θ) en función de las lecturas en escala de frecuencia (FN) según la ecuación 8, donde a y b son coeficientes que varían según la calibración.

$$\theta = a * FN^b \quad (\text{Ec.8})$$

donde

θ : contenido hídrico volumétrico
a y b: constantes de ajuste
FN: Lectura en escala de frecuencia

La instalación de los tubos de acceso se basó en la técnica desarrollada por investigadores de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral. (Camussi y Marano, 2009).

La calibración por default es el modo más usada a nivel de usuarios para la administración de los riegos, ya que éste modo informa sobre cambios relativos del agua en el perfil (Sentex Pty Ltd); sin embargo para análisis más precisos es necesario conocer estos cambios en orden absoluto, para lo cual se requiere de una calibración local, que consiste en encontrar los parámetros a y b de la ecuación 3 para el sitio en particular.

Para la calibración local se siguió un procedimiento modificado en base a la guía proporcionada por el fabricante (Sentex Pty Ltd). La diferencia consistió en que ciertas parcelas de ensayo, donde se disponía de tubos de acceso en el centro de las mismas, constituyeron el sitio de muestreo imponiéndoles las condiciones de humedad necesarias: con agua más allá del punto de capacidad de campo, cercano a capacidad de campo y con marcado agotamiento de agua en el perfil.

Para lograr la primera condición de sitio se construyó un bordo alto alrededor de la parcela, se la inundó y, en el momento que se infiltró toda la lámina de agua, se cubrió la superficie con abundante paja de cebada para evitar la evaporación directa del suelo. Inmediatamente de colocada la cobertura se tomaron lecturas de **FN** y muestras de suelo con pala barreno alrededor del tubo sobre su eje norte-sur a intervalos de 0,10 m. Esta misma parcela se dejó drenar por cinco días con la cobertura de cebada en superficie y al cabo de este plazo se realizaron lecturas de **FN** junto con muestreo de suelo con pala barreno sobre el eje Este-Oeste, a intervalos de 0,10 m.

La tercera condición de sitio se supuso lograda en el resto de las parcelas del ensayo al final del periodo de barbecho. Para ello, al final de la cosecha 2008/2009, las parcelas se sembraron con trigo con el propósito de incorporarlo como abono verde antes del trasplante de la temporada 2010/2011. A los efectos de obtener los datos de **FN** en condición de perfil de suelo seco se prolongó este barbecho un mes más, momento en que se secó el trigo con agro-químicos. Posteriormente se realizaron las lecturas de **FN** y se obtuvieron muestras de suelo con pala barreno alrededor del tubo de acceso a intervalos de 0,10 m.

El contenido hídrico volumétrico de agua (θ) en las muestras se determinó a partir del contenido gravimétrico multiplicándolo por el valor de densidad obtenido en el estudio edafológico realizado en el sitio según la profundidad correspondiente.

Cada valor de θ fue apareado con la lectura correspondiente de **FN**, logrando así un conjunto de datos para diferentes estados hidrológicos del suelo. En virtud de la naturaleza no lineal de la relación entre **FN** (Camussi y Marano, 2007) y de la experiencia de otros autores (Paltineanu y Starr, 1997 citado por Gueesing et al, 2004), se ajustó una relación matemática de tipo potencial. A pesar de que **FN** es en realidad la variable dependiente en el presente trabajo se la considera como la variable independiente en virtud del objetivo de estimar θ a partir de los valores de **FN** obtenidos con el sensor en el campo (Gueesing et al, 2004).

3.6.3.-Estimaciones

3.6.3.1.- Evapotranspiración del cultivo en condición estándar.

El consumo evapotranspirativo en condición estándar se calculó de acuerdo a la ecuación 9 (Allen et al, 2006).

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad \text{Ec.9}$$

donde:

ET_o : Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/d].
 ET_c : Evapotranspiración de cultivo [mm/d]
 K_c : Coeficiente único del cultivo [adimensional]

Para el cálculo de ET_o se utilizó la ecuación de Penman- Montheith (Ec. 10) a partir de los datos meteorológicos colectados en la EMA INTA, Cerrillos.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{600}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad \text{Ec. 10}$$

donde:

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor [KPa/°C].
 R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo [Mj/m² d].
 G : Flujo de calor en el suelo [Mj/m² d].
 γ : Constante psicrométrica.
 T : Temperatura media en el aire a 2 m de altura [°C].
 $e_s - e_a$: Déficit de presión de vapor del aire [Kpa].
 u_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura [m/s].

Los valores de K_c adoptados se muestran en la tabla 9. Estos valores se corresponden con los estimados para la zona de producción tabacalera del Valle de Lerma (Yáñez, 2001).

Tabla 9: Valores de K_c único en tabaco tipo Virginia. (Yáñez, 2001)

Fase	Inicial	Desarrollo	Media	Final
Duración	10	35	60	45
DDT	10	45	105	150
K_c	0,47	→	0,85	0,45

3.6.3.2.- Evapotranspiración real del cultivo

La estimación de la evapotranspiración real del cultivo (**ET_{caj}**) se realizó de acuerdo a Allen et al (2006):

$$ET_{caj} = K_s \times ET_c \quad \text{Ec. 11}$$

donde:

ET_{caj}: Evapotranspiración ajustada bajo condiciones de estrés.

K_s: Factor adimensional de reducción de la transpiración.

ET_c: Evapotranspiración bajo condiciones estandar.

K_s toma valores entre 0 y 1, dependiendo de la disponibilidad del agua en el suelo. En situaciones donde se producen limitaciones, K_s < 1, mientras que cuando no existen condiciones de estrés por falta de agua en el suelo, K_s = 1.

Representa el efecto del estrés hídrico en la transpiración del cultivo y se calcula a partir de la siguiente expresión (**Allen et al, 2006**):

$$K_s = \frac{LTU - D_f}{(1 - P) \times LFU} = \frac{LTU - D_f}{LFU} \quad \text{Ec. 12}$$

donde:

D_f: Agotamiento de agua en el suelo en la zona radical [mm].

LTU: Lamina total utilizable en la zona radical [mm].

P: Fracción de LTU que un cultivo puede extraer de la zona radical sin presentar estrés.

LFU: Lámina Presente Utilizable [mm]

LFU: Lamina fácilmente utilizable en la zona radical [mm].

Cuando la energía potencial del agua del suelo cae por debajo de cierto valor umbral (LFU), se consideró que el cultivo se encuentra en condiciones de estrés. De este modo, para agotamientos de agua en el suelo menores o iguales a LFU, K_s = 1, caso contrario será menor que uno.

La estimación de **D_f** requiere del cálculo de un balance de agua en el suelo para la zona radical (**Allen et al, 2006**). En este trabajo, para el cálculo de **D_f** no se tuvo en cuenta la metodología propuesta por **Allen et al, (2006)** y se obtuvo a partir de los valores de **θ** determinados con la sonda FDR, integrándolos a una rutina de cálculo para estimar la relación entre el uso del agua por parte del cultivo y la productividad.

Los parámetros hidrológicos Lámina Total Utilizable y Lámina Fácilmente Utilizable se calcularon en base a las características edáficas señaladas en la Tabla 6 según las ecuaciones 13 y 14 respectivamente (**Grassi, 2004**):

$$LTU = (\theta_{m_{cc}} - \theta_{m_{pmp}}) \times e \quad \text{Ec. 13}$$

donde:

$\theta_{m_{cc}}$: Contenido de agua en peso en capacidad de campo.
 $\theta_{m_{pmp}}$: Contenido de agua en peso en capacidad de campo.
 e : Profundidad radical considerada [mm]

La profundidad radical se consideró equivalente en los cuatro tratamientos hasta los 30 días después del trasplante, (DDT), momento a partir del cual los riegos aplicados se comenzaron a diferenciar.

Por otra parte

$$LFU = LTU \times p \quad \text{Ec. 14}$$

donde:

LTU : Lámina fácilmente utilizable [mm]
 p : Factor de aprovechamiento de LTU

El valor de p representa la fracción promedio de LTU que puede ser agotada en la zona radical hasta el punto límite en el cual comienzan a manifestarse condiciones de estrés. (**Allen et al., 2006**). El cálculo de p se basó en la metodología de **Allen et al (2006)** que ofrece una aproximación de p de acuerdo a la marcha o tasa de ET_c y cuya expresión es la siguiente:

$$p = p_{se} + 0,04 \times (5 - ET_c) \quad \text{Ec.15}$$

donde:

p_{se} : Fracción de agotamiento de la humedad en el suelo para condiciones sin estrés hídrico para una tasa evapotranspirativa (ET_c) menores o iguales a 5 mm/día, tomado de **Doorenbos y Kassam, (1979)**. Para tasas de ET_c mayores a 5 mm/día se consideró $p=0,60$

3.6.3.3.- Relación productividad- estrés hídrico

A través de la función lineal propuesta por **Doorenbos y Kassam, (1979)**, se estimó la relación entre el uso del agua por parte del cultivo y su productividad para las distintas estrategias de riego propuestas.

K_y representa la disminución relativa del rendimiento en función a la reducción de ET_c generada por condiciones de estrés hídrico. Los valores de K_y se calcularon a partir de los resultados del experimento para cada tratamiento en función del rendimiento y $ET_{c_{cum}}$ de cada uno de ellos respecto al rendimiento y $ET_{c_{cum}}$ de RG_{100} considerado como máximos.

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_{caj}}{ET_c}\right) \quad \text{Ec.16}$$

donde:

K_y : factor de respuesta de la productividad.

ET_{caj} : evapotranspiración real del cultivo [mm].

ET_c : Evapotranspiración del cultivo en condiciones sin estrés [mm].

Y_a : Productividad real del cultivo [Kg/ha].

Y_m : Productividad del cultivo en ausencia de estrés ambiental o hídrico [Kg/ha].

3.7.- Análisis Estadístico

Las variables analizadas tienen relación con la respuesta productiva del cultivo y fueron **AF, MS, MS_Cn, MS_CT** y rendimiento relativo (**RendRelativo**). Todas las variables, excepto RendRelativo y MS_Cn se analizaron a través de un ANOVA para un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones con arreglo factorial. El modelo lineal para la observación del tratamiento i en la parcela j , Y_{ij} , ajustado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk} \quad \text{con } i= 1,2; J= 1,2; k=1, 2,3 \text{ y } 4 \quad \text{Ec. 17}$$

donde:

Y_{ij} : respuesta al i -ésimo nivel del factor A y j -ésimo nivel de factor B.

μ : media general.

α_i : efecto que produce el i -ésimo nivel del factor A.

β_j : efecto del j -ésimo nivel del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$: efecto interacción para la combinación de los niveles i del factor A y j del factor B.

e_{ij} término de error aleatorio asociado a la observación ij -ésima.

Este modelo supone que el término de error se distribuyen normal e independientemente, con esperanza cero y varianza constante para toda observación.

Para corroborar estos supuestos se procedió a realizar los test estadísticos de normalidad de Shapiro Wilks y de homogeneidad de la varianza.

En el caso de **MS_Cn**, el análisis se abordó desde el enfoque de medidas repetidas en el tiempo (**MRT**), dado que esta variable se midió sobre la misma unidad experimental en distintos momentos. Esta característica determina que cada una de las mediciones seriales se encuentran correlacionadas, ya que las mismas acarrearán un mismo efecto de unidad experimental (**Infostat® 2009p**). La aproximación multivariada para este tipo de análisis no asume ningún modelo particular, más bien se basa en la estimación de todas las covarianzas posibles entre las mediciones repetidas y en el estudio de perfiles (**Cole y Grizzle, 1966** citado en **Infostat®2009p**).

Las hipótesis clásicas a probar en MRT, con un factor (tratamientos) son: 1) no hay interacción tiempo x tratamientos, 2) no hay efecto tiempo y 3) no hay efecto tratamientos.

En los modelos de MRT es necesario cumplir dos condiciones para el análisis de los datos (**Ruiz Ochoa et al, 2006**) La primera de ellas es verificar la existencia de esfericidad de la matriz varianza-covarianza, para lo cual se realizó la prueba *W* de Mauchly. La segunda condición adicional establece que las matrices de varianzas-covarianzas de los niveles del factor intra-sujeto deben ser iguales en cada uno de los niveles del factor inter-sujeto. Para contrastar este supuesto se realizó el test de homogeneidad de varianza de Levene. El análisis multivariado y los test asociados se realizaron con el paquete estadístico SPSS (2008).

4.- RESULTADOS

4.1.- Condiciones climáticas

La temperatura y precipitación se analizaron en forma de anomalías (Figura 14), donde una anomalía representa la desviación porcentual de un valor observado cualquiera, respecto a otro de referencia al cual se le asigna valor cero. Como valores de referencias de estos parámetros se adoptaron las medias correspondientes de la serie 1969-2009 a partir de la estación meteorológica convencional INTA, Cerrillos. El análisis de diversos parámetros climáticos en una misma figura, de escala temporal mensual, permite observar con mayor claridad la respuesta de los cultivos a las condiciones atmosféricas analizadas. **(Nieva, comunicación personal)**, así mismo, **Santana, Butorovic y Olave, (2009)**, aseguran que el análisis estacional de anomalías muestra algunos matices respecto al comportamiento anual.

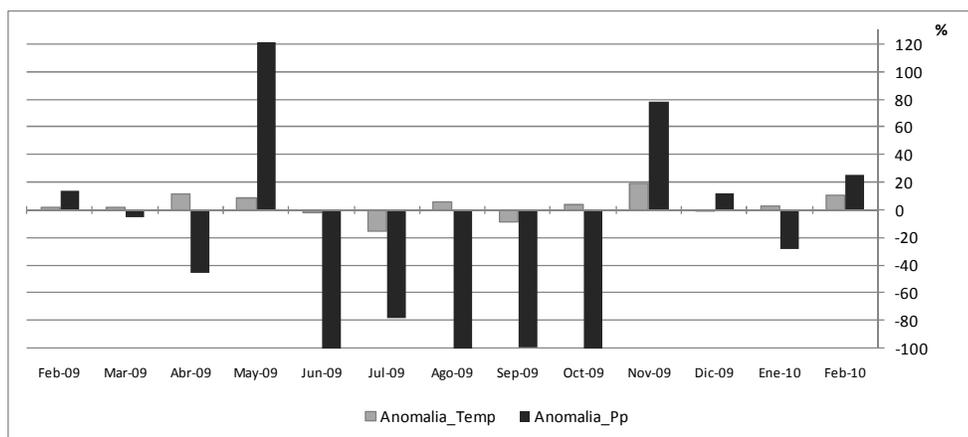


Figura 14: Anomalías porcentuales de precipitación media mensual (barra negra) y temperatura media mensual (barra gris) durante la campaña.

En el periodo mayo-setiembre las anomalías alcanzan valores relativos altos dado que las medias mensuales históricas (valores de referencia) presentan registros inferiores a 7,50 mm mensuales, por lo que pequeñas desviaciones absolutas respecto a estos valores generan grandes anomalías porcentuales. Para periodos secos, **Brouwer y Heibloem, (1986)** afirman que lluvias inferiores a 5 mm no añaden humedad a la reserva del suelo y se consideran como precipitación efectiva nula. Por ello, el análisis de posibles efectos atribuidos a las anomalías en este periodo resultan inconsistentes. Noviembre marca el inicio del periodo húmedo, con un escaso valor referente de 24 mm, sin embargo, durante el ensayo presentó una disminución relativa cercana al 100 %. Para el resto de la campaña salvo enero (-20 %) las precipitaciones estuvieron por encima de las medias mensuales. Durante este periodo, a la inversa de lo que sucede en el periodo seco, las anomalías resultan importantes en virtud de

tratarse de los meses con peso relativo importante en el balance hídrico anual. La alternancia de meses con anomalías positivas (noviembre, diciembre y febrero) y negativas (enero) no tuvo efectos singular sobre el total de lluvia caída ya que, durante el año, el total de lluvia caída fue solo un 12 % menor a la media histórica anual.

Las temperaturas medias mensuales fueron coherentes con el valor medio mensual histórico. El otoño se presentó algo más cálido que lo normal, y desde julio en adelante las temperaturas medias mostraron un patrón de alternancia sucesiva de meses con anomalías porcentuales positivas y negativas, pero estas nunca superaron el 20 %.

4.2.- Calibración de los métodos de riego

Al inicio de los tratamientos, en las parcelas regadas por gravedad se presentaron los siguientes inconvenientes: a) los caudales derivados resultaron elevados, generando un rápido avance hasta el pie de la parcela, que resultó en un menor tiempo de aplicación necesario para satisfacer las NNR calculadas. Esto determinó una lámina aplicada menor a la programada y obligó a reanudar un nuevo ciclo de riego una vez logrado que infiltre el agua acumulada en la parcela; b) la acequia de alimentación presentó variaciones en el caudal conducido, ocasionando fluctuaciones en la altura de carga registrada en los aforadores. Esto obligaba a re calcular los volúmenes derivados minuto a minuto. Como consecuencia de lo anterior, al controlar los cálculos mencionados se presentaron parcelas con láminas aplicadas mayores o menores a las programadas.

En riegos posteriores se solucionó estos problemas trabajando con caudales bajos en las acequias de alimentación con el propósito de generar bajas Hc en los aforadores. En caso de volúmenes derivados menores a los requeridos como consecuencia de un avance rápido, se optó por retomar el riego con un tiempo re calculado según Hc para lograr la lámina requerida.

El problema más significativo detectado en los métodos por gravedad, se relaciona con la escasa humedad desarrollada en la rizósfera a consecuencia de que los tiempos de aplicación fijados para controlar la lámina, no fueron suficientes y como consecuencia se redujo la accesibilidad del agua a las raíces (la capilaridad no fue suficiente para humedecer esa región).

En las parcelas con riego por goteo se realizaron dos pruebas en forma previa a la aplicación de los riegos de tratamiento: i) una evaluación de la uniformidad de

descarga de los emisores según metodología de **Merriam y Keller (1978)** y ii) una prueba de bulbo húmedo según **Pizarro, (1986)**.

El resultado de la evaluación de uniformidad se muestra en la figura 15. La descarga promedio por emisor fue 1,10 L/h, un CU= 93 % y un CV de 6,10 %. Los valores se consideran buenos según normas **ASAE (1988, rev. 2010)**.

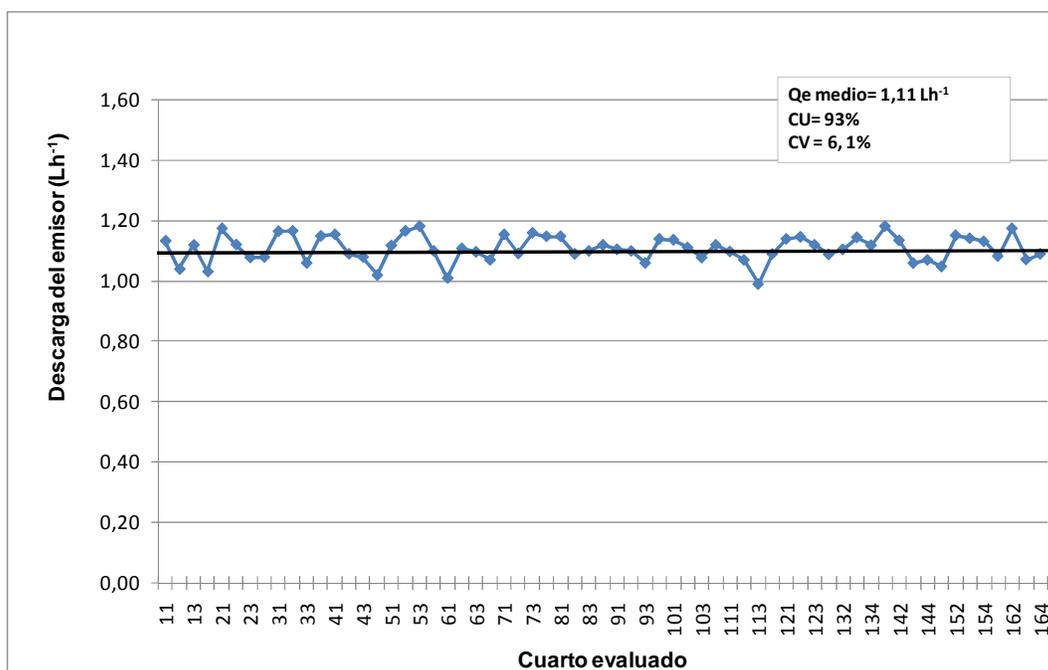


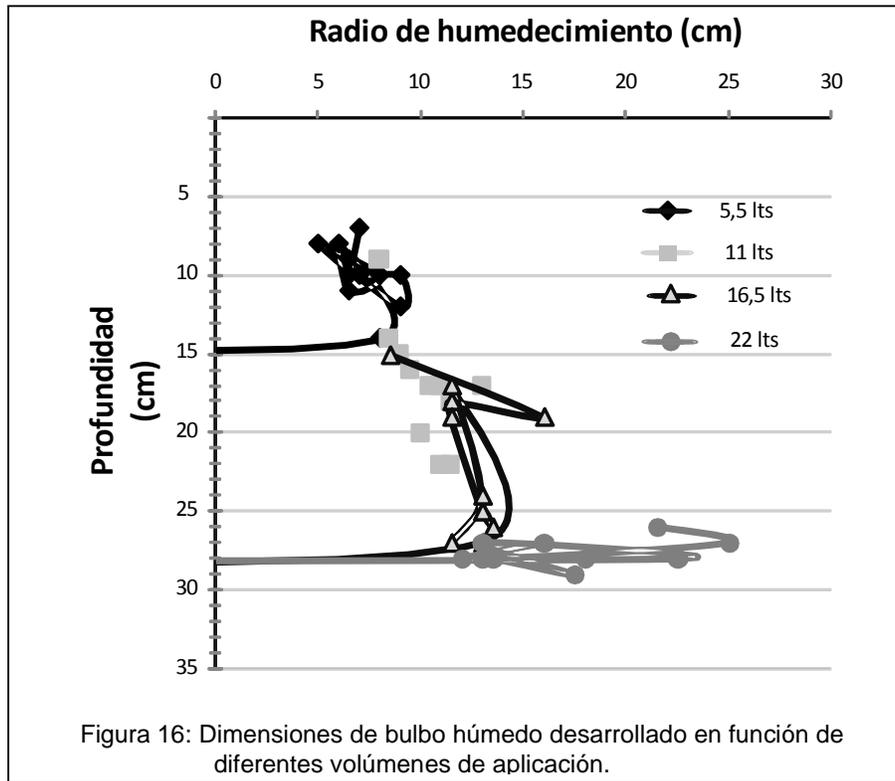
Figura 15: Evaluación de la uniformidad de riego de la red en las líneas centrales de cada UE. En el eje de las abscisas el primer número corresponde a la UE y el segundo al cuarto evaluado de la misma.

En la figura 16 se observan las dimensiones del bulbo húmedo formado a lo largo de la prueba del bulbo húmedo. El eje de las abscisas representa el desarrollo del bulbo en sentido horizontal, mientras que el eje vertical, describe la profundidad alcanzada por el frente húmedo para cada tiempo de aplicación.

El desarrollo del radio de humedecimiento alcanzado resultó similar a los resultados publicados por **Gil Marín, (2001)** para condiciones edáficas similares al sitio de estudio en donde a medida que se incrementó el volumen de agua aplicado el frente de humedad avanzó, tanto en profundidad como en sentido horizontal desde el emisor, aumentando por supuesto el porcentaje de suelo mojado.

En este ensayo en particular cuando el frente húmedo alcanzó los treinta centímetros de profundidad se observó un desarrollo exclusivamente horizontal del

bulbo húmedo. Este comportamiento puede resultar de una conjunción entre la menor granulometría textural de la capa francolimosa que inicia a esa profundidad, y la presencia de una capa de arado visualizada en el estudio edafológico.



Las relaciones entre el radio de humedecimiento (**Rh**) y la profundidad de humedecimiento (**Pr**) respecto al volumen aplicado (**Vd**) se muestran en las Figura 17 y Figura 18 respectivamente. El análisis de regresión de las mismas señaló que las ecuaciones de más ajuste a los datos resultaron del tipo exponencial en ambos casos.

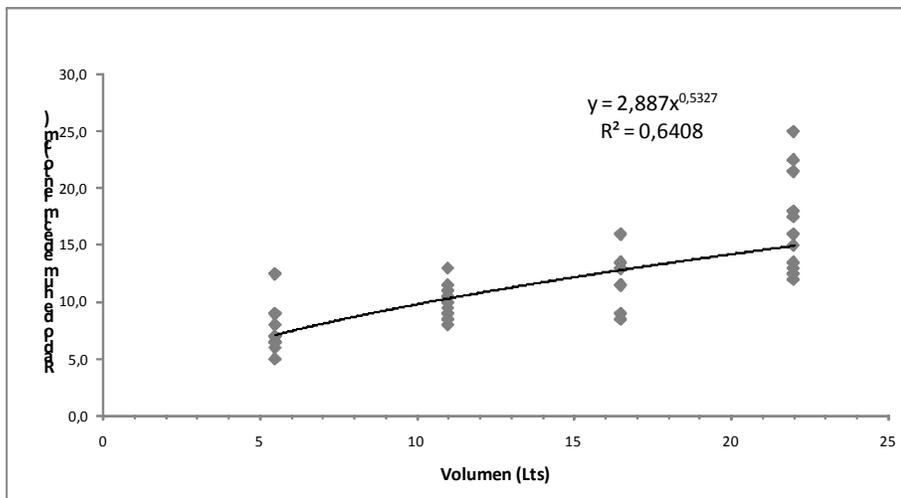


Figura 17: Desarrollo horizontal (Rh) bulbo del húmedo en función de diferentes volúmenes aplicados

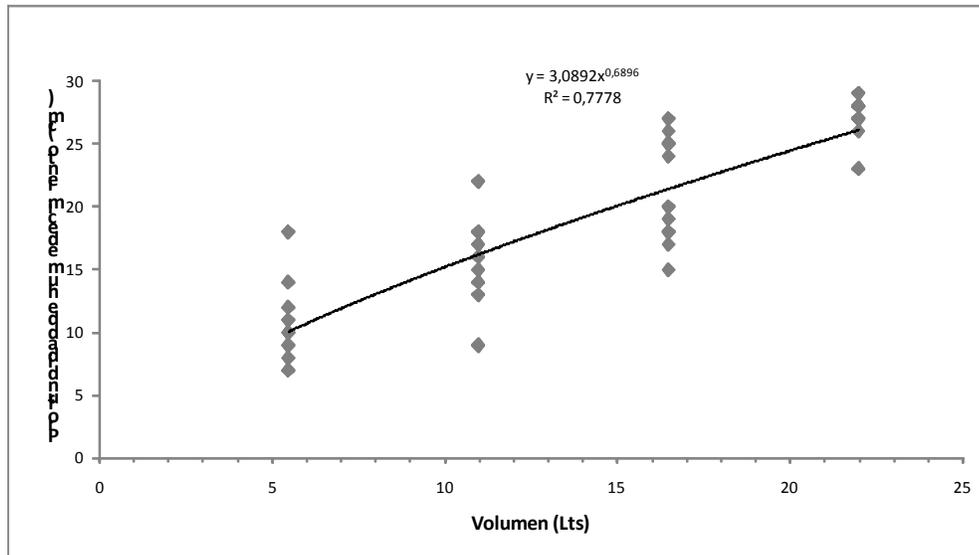


Figura 18: Profundidad alcanzada por el bulbo húmedo a partir de los distintos volúmenes

Las ecuaciones resultaron ser las siguientes:

$$y \quad Rh = 2,887Vd^{0,5227} \quad \text{Ec. (17)}$$

$$Pr = 3,0892Vd^{0,6869} \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde:

Rh: Radio de humedecimiento [cm].

Pr: Profundidad de humedecimiento [cm].

Vd: Volumen de agua aplicado [L].

a y :m = Valores obtenidos al ajustar la ecuación de regresión.

A partir de estas relaciones se calculó el área mojada (**AM**) lograda con un determinado volumen de riego (Tabla 10). Los valores resaltados del cuerpo de la tabla 10 muestran el porcentaje de suelo mojado (**PSM**) en función del AM y del área sombreada por el cultivo (**A**). Se observa que a medida que aumenta el volumen de agua de riego también lo hace el PSM, mientras que, en sentido contrario a medida que aumenta A decrece el PSM. Las celdas más oscuras indican los volúmenes de agua a partir de los cuales se llega a condiciones mínimas de PSM (mayores o iguales de 70%) que suponen un volumen de raíces mojado equivalente a la totalidad del volumen radicular para cultivos herbáceos (**Ferreya Espada, 2008**)

Tabla 10: Evolución del área mojada (AM) con cada tiempo de riego y de los rangos óptimos (■) del porcentaje de suelo mojado para tales AM en función del área sombreada por el cultivo.

T (h)	Vapl (L)	V (L/mlin)	Rh (m)	Pr (m)	D (m)	AM (m ² /mlin)	AU (m ² /mlineal)				
							0,16	0,20	0,48	0,85	1,2
0,5	0,6	2,8	0,04	0,05	0,08	0,08	50	40	17	9	7
0,8	0,8	4,1	0,06	0,08	0,12	0,12	75	60	25	14	10
1,0	1,1	5,5	0,09	0,10	0,18	0,18	-	90	38	21	15
1,5	1,7	8,3	0,13	0,13	0,26	0,26	-	-	54	31	22
2,0	2,2	11,0	0,17	0,16	0,34	0,34	-	-	71	40	28
2,5	2,8	13,8	0,22	0,19	0,44	0,44	-	-	-	52	37
3,0	3,3	16,5	0,26	0,21	0,52	0,52	-	-	-	61	43
3,5	3,9	19,3	0,31	0,24	0,62	0,62	-	-	-	73	52
4,0	4,4	22,0	0,36	0,26	0,72	0,72	-	-	-	-	60
4,5	5,0	24,8	0,40	0,28	0,80	0,80	-	-	-	-	67
5,0	5,5	27,5	0,45	0,30	0,90	0,90	-	-	-	-	75
5,5	6,1	30,3	0,49	0,32	0,98	0,98	-	-	-	-	-
6,0	6,6	33,0	0,54	0,34	1,08	1,08	-	-	-	-	-
6,5	7,2	35,8	0,59	0,37	1,18	1,18	-	-	-	-	-

T: Tiempo [h].

Ve: volumen erogado por emisor [L].

V: Volumen erogado en litros por metros lineal [Lm].

Rh: radio de humedecimiento en metros [m].

Pr: Profundidad del bulbo de humedecimiento [m].

D: Diámetro de humedecimiento en metros [m].

AM: Área de mojado alcanzada con Ve [m²].

A: Área de sombreado por el cultivo [m²/m * lineal].

El tratamiento de goteo con reposición del 100 % de NNR (**RG100**) se tomó como patrón para encontrar los valores de referencia de A en todo el ciclo del tabaco (Tabla 11).

Tabla 11: Área sombreada por el cultivo de tabaco a lo largo del ciclo productivo estimada por proceso de imágenes fotográficas y coeficiente de cultivo f_1 asociados al desarrollo de la planta para tabaco.

Fase	AD	AR	RC	FC	MC
A _{RG100} (m ² /m lineal)	0,16	0,20	0,48	0,85	1,20
f_1 RG100	0,55	0,60	0,74	0,93	1,10

Para finales del ciclo, considerando el pleno desarrollo del cultivo (cobertura completa del suelo por solapamiento del follaje entre plantas y entre hileras), el área sombreada máxima se fijó en 1,20 m (espaciamiento entre hileras). El área sombreada se usó además en el cálculo el coeficiente de cultivo f_1 empleado en los cálculos de Tr (Ec 5). El valor de f_1 encontrado para el cultivo de tabaco pleno desarrollo fue consistente con lo informado por **Hoare et al, (1974)** citados en **Pizarro, (1997)**. De la misma manera se estimó A y f_1 para el tratamiento de riego por goteo con reposición del 60 % de NNR (**RG60**).

En contraste con la tabla 10 que fija valores de referencia de las condiciones del bulbo húmedo posibles de alcanzar de acuerdo a las condiciones del ensayo, la tabla 12 muestra dichos valores registrados en los tratamientos RG₁₀₀ y RG₆₀. Resulta importante destacar aspectos del desarrollo del bulbo húmedo en relación a la respuesta del cultivo. Si bien en la tabla 13 se observa que el PSM por tratamiento en la mayoría de los riegos resultó óptimo para el majamiento de la totalidad del volumen radicular (PSM>70 %) debe considerarse que tal volumen estuvo condicionado a las dimensiones del bulbo húmedo generadas según las láminas de riego programadas.

Tabla 12: Radio (Rh) y profundidad de humedecimiento (Ph), área sombreada por el cultivo (A), área mojada (AM) según volumen aplicado (Vd) y porcentaje de suelo mojado (PSM) según evolución del cultivo (fecha de riego) para riego por goteo con reposición del 100% de NNR (■) y riego por goteo con reposición del 60% de NNR (□).

Fecha de riego	21-9	28-9	16-10	20-10	23-10	27-10	30-10	6-11	13-11	18-11	23-11	2-12
Vr (L/ml)	2,62	13,77	22,08	14,32	13,04	15,27	15,91	26,69	33,04	11,66	27,46	11,62
Vr (L/ml)	1,57	8,26	13,25	8,59	7,83	9,16	9,55	16,01	19,82	6,99	16,48	6,97
Rh (cm)	5,8	18,2	25,3	18,7	17,6	19,6	20,2	28,8	33,4	16,3	29,4	16,2
Rh (cm)	4,1	12,8	17,8	13,2	12,4	13,8	14,2	20,2	23,5	11,4	20,6	11,4
Ph (cm)	6,0	18,7	25,9	19,2	18,0	20,1	20,7	29,5	34,1	16,7	30,1	16,7
Ph (cm)	4,2	13,2	18,2	13,5	12,7	14,1	14,6	20,8	24,0	11,8	21,2	11,7
A (m)	0,16	0,17	0,19	0,20	0,24	0,31	0,37	0,49	0,58	0,64	0,70	0,81
A (m)	0,11	0,11	0,13	0,13	0,16	0,21	0,25	0,34	0,43	0,49	0,55	0,66
AM (m/mlin)	0,10	0,23	0,29	0,23	0,22	0,24	0,25	0,32	0,36	0,21	0,33	0,21
AM (m/mlin)	0,08	0,17	0,22	0,18	0,17	0,18	0,19	0,25	0,28	0,16	0,25	0,16
PSM (%)	77	100	100	100	100	100	100	100	100	51	84	40
PSM (%)	63	100	100	100	100	100	100	100	100	47	75	34

Una de las dimensiones mencionadas en el párrafo anterior se refiere a la profundidad de mojado, la cual, de acuerdo a Ec. 17 y Ec. 18 estuvo alrededor de los 25 cm en RG₆₀, mientras que en RG₁₀₀ alcanzó los 30 cm.

Las Figuras 19, 20, 21 y 22 muestran precisamente la dinámica de extracción de agua en el perfil para cada uno de los tratamientos generadas con las lecturas de sonda Diviner 2000[®]. A partir de 0,30 a 0,40 m de profundidad las curvas presentan una tendencia estática con ciertos picos, indicando recarga por drenaje de eventos de riego y/o lluvia (Starr, 1998) y posteriores fluctuaciones debido a los procesos de redistribución. Esta característica nos indica ausencia de actividad radicular de extracción en estas profundidades (Ruiz Garcia, 2007).

Por lo contrario, las curvas correspondientes a las profundidades superficiales muestran un comportamiento dinámico en su contenido hídrico, hasta estabilizarse junto al resto de las otras curvas en el periodo de lluvias (RC) confirmando estas

profundidades como la zona de actividad de extracción de agua en el perfil por parte de la raíces.

La escasa dinámica de extracción que se observan en las profundidades de 0,40 a 0,80 m coincide con lo informado por **Ballari, (2005)** al referirse a los estratos superficiales como la zona donde se circunscribe la mayor funcionalidad del volumen radical total. Iguales profundidades radicales fueron reportadas por **Biglouei et al (2010)**, **Bilalis (2008)** y **Bryan, (1997)**.

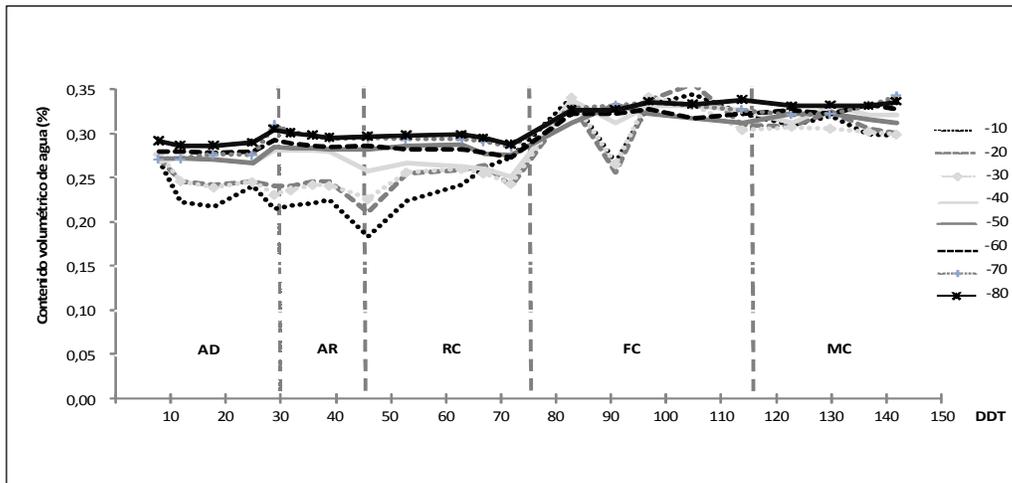


Figura 19: Dinámica de la extracción de agua en el perfil para el tratamiento RS₁₀₀.

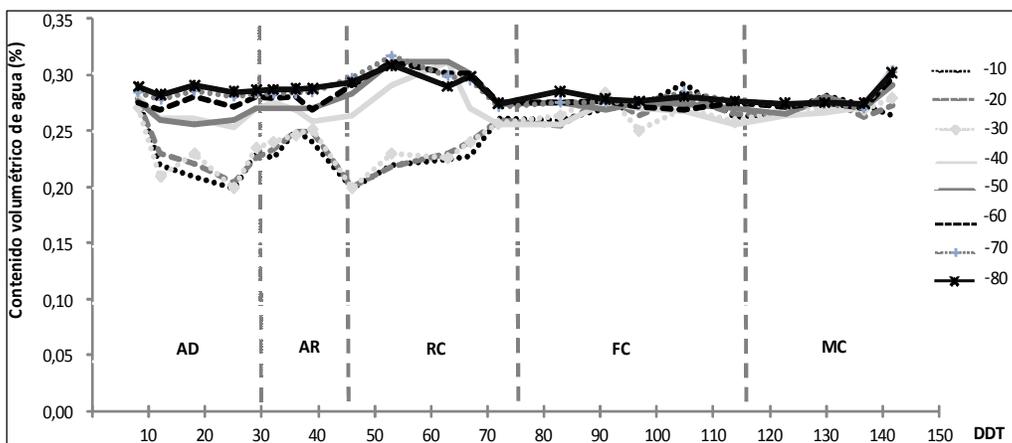


Figura 20: Dinámica de la extracción de agua en el perfil para el tratamiento RG₁₀₀.

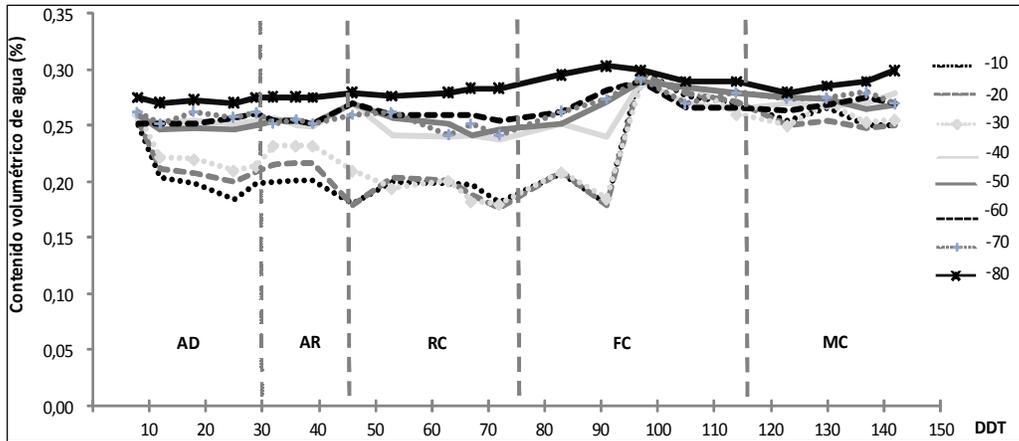


Figura 21: Dinámica de la extracción de agua en el perfil para el tratamiento RS₆₀.

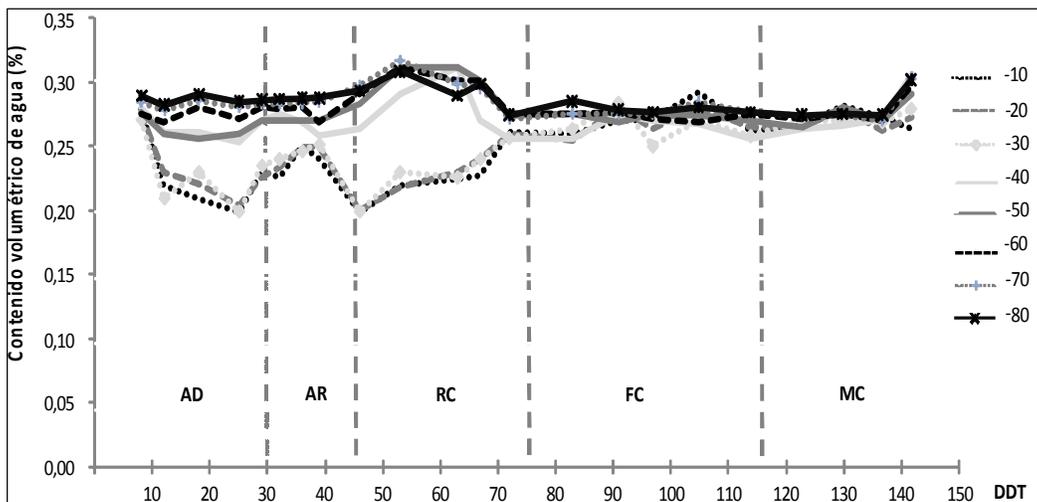


Figura 22: Dinámica de la extracción de agua en el perfil para el tratamiento RG₆₀.

4.3.- Manejo del Riego

Los dos primeros riegos fueron de establecimiento donde no se tuvo en cuenta la demanda evapotranspirativa y se repuso una lámina neta (LRn) aproximada de 15 mm para permitir el trasplante y el refalle de las plántulas. A partir del tercer riego se consideró NNR entre dos eventos de riego. El número de estos y sus respectivas LRn se muestran en la tabla 13, mientras que el aforo de los mismos en el caso de los riegos por surco y los tiempos de riego en el caso de goteo se muestran en Anexos. (Tabla 3 y 4 respectivamente)

Como era de esperar se observa una clara diferencia ($\approx 40\%$) en la frecuencia de riego entre goteo y surco. En los tratamientos por gravedad, el número de riegos se

estableció acorde a las prácticas habituales que realiza el productor en el marco de un sistema de entrega del agua por turnado, generalmente con frecuencia semanal. En el caso de goteo esta experiencia es inédita en la región, siendo la frecuencia en el periodo seco (agosto-octubre) cada tres días mientras que en el periodo húmedo (noviembre-diciembre) aumentó a seis.

Tabla 13: Número de riegos (nº), láminas de riego neta (LRn) según momento (establecimiento, cultural y total), precipitación efectiva (Pe), evapotranspiración de cultivo (ETc) y lamina total disponible (LDT).

Tratamiento	Establecim.		Tratamiento		Pe (mm)		ETc (mm)		AT (mm)	
	nº (1)	mm (2)	nº (3)	mm (4)	Riego (5)	Total (6)	Riego (7)	Total (8)	Riego (9)	Total (10)
RS60	2	30	7	94	53	284	232	464	147	378
RS100	2	30	7	173					226	457
RG60	2	31	10	99					152	383
RG100	2	31	10	180					233	464

(1): número de riegos realizados en la etapa de establecimiento.

(2): Lámina aplicada en la etapa de establecimiento.

(3): número de riegos realizados en la etapa de tratamiento

(4): Lámina aplicada en la etapa de tratamiento.

(5): Precipitación efectiva durante la etapa de aplicación de tratamientos.

(6): Precipitación efectiva durante todo el ciclo productivo.

(7): Evapotranspiración de cultivo acumulada durante la etapa de aplicación de tratamientos estimada mediante ec. 9.

(8): Evapotranspiración acumulada durante todo el ciclo productivo.

(9): Lámina total disponible, LTD (riego + precipitaciones) durante la etapa de aplicación de tratamientos.

(10): Lámina total disponible, LTD (riego + precipitaciones) durante todo el ciclo productivo.

4.4.- Niveles de reposición de las necesidades de riego

Como estrategia de riego se procuró reponer el 100 % y 60 % de las NNR con cada método de riego durante las etapas de altura de rodilla y rápida crecimiento del periodo vegetativo del ciclo productivo. El cálculo de los niveles de reposición logrados se obtuvieron de la relación entre la suma de la precipitación efectiva más las láminas netas de riego aplicadas, con respecto a la evapotranspiración máxima del cultivo (ETc) acumulada durante cada fase del cultivo. De acuerdo al manejo de los riegos, la configuración definitiva de las estrategias de riego se muestra en la tabla 14.

Tabla 14: Niveles porcentuales de reposición de la demanda evapotranspirativa del cultivo (ETc) alcanzada en cada fase del ciclo productivo para cada uno de los tratamientos.

Tratamiento	Nivel de reposición de ETc/etapa (%)				
	AD.	AR	RC	FC	MC
RS60	83	62	64	100	100
RS100	86	94	92	100	100
RG60	80	62	71	100	100
RG100	95	100	100	100	100

Como puede observarse en la tabla 14 y se adelantase en capítulo tres, en las fases AR y RC fue posible diferenciar las estrategias de riego de cada tratamiento. Durante las etapas de FC y MC no fue posible lograr esta diferenciación debido a las precipitaciones ocurridas, que aseguraron balances hídricos positivos para el cultivo.

4.5.- Balance de agua en el suelo

4.5.1.- Calibración de sonda FDR a condiciones locales

Considerando que las estimaciones por capas/horizontes por separado tienen mayor exactitud en contraste con un ajuste global (**Camussi y Marano, 2007**), se realizó el ajuste de la ecuación 4 para todo el perfil en forma global y también para las capas/horizontes con diferentes clases texturales que se describieron en el estudio edafológico (Tabla 15).

La ecuación obtenida para todo el perfil presentó valores de Raíz Cuadrado Medio del Error (CME) más bajos que las ecuaciones de default y por capas. Esto significa que se logró una mayor aproximación a los datos reales (observados) obtenidos de campo, con este modelo, otorgándole alto grado de confianza a dicha ecuación. (**Camussi y Marano, 2007**). Los parámetros a y b de las ecuaciones fueron aceptados por el modelo.

Tabla 15: Parámetros a y b del modelo $a \cdot FN^b$ para calcular el contenido volumétrico del suelo y raíz cuadrada del error medio (RCME) para cada horizonte estudiado.

Referencia	a	b	RCME
Ecuación General default	0,4940	3,0175	0,7456
Ecuación General Propia	0,3907*	2,1121*	0,0214
Ecuación para Profundidad 0-30 cm	0,3177*	1,8976*	0,0428
Ecuación para Profundidad 30-70 cm	0,3917*	3,2249*	0,0287
Ecuación para Profundidad 70-80 cm	0,2878*	2,4273*	0,0316

*: Los términos del modelo realizan una contribución significativa al modelo ($P < 0,0001$)

En virtud de haberse logrado un mejor ajuste (menores RCME) a partir de la ecuación general se decidió utilizar este modelo para el monitoreo de la variación de contenido hídrico a lo largo del perfil. Las figuras 23, 24 y 25 muestran las relaciones encontradas para cada capa/horizonte del suelo en estudio con sus ecuaciones de ajuste logradas. **Camussi y Marano, (2007)** reportan valores de los coeficientes a y b para la ecuación general muy semejantes a los hallados en este trabajo

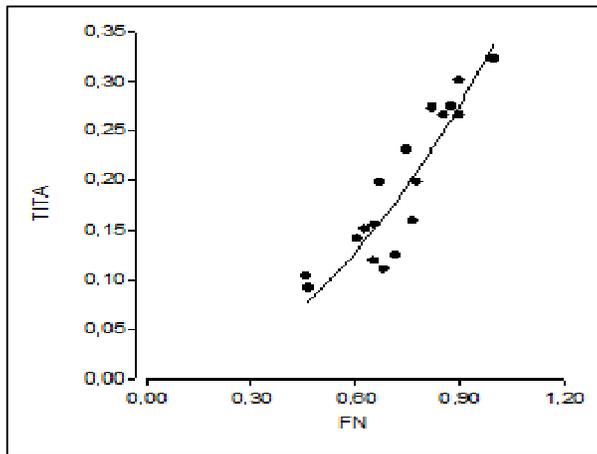


Figura 23: Relación matemática entre frecuencia de escala (FN) del sensor Diviner2000® y contenido hídrico del suelo (θ) para el espesor de profundidad 0 a 30 cm.

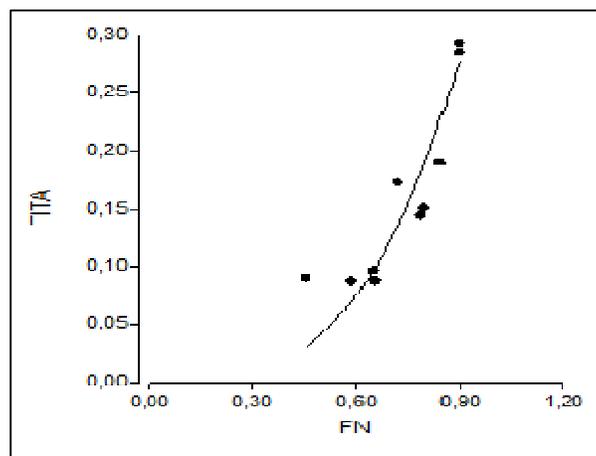


Figura 24: Relación matemática entre frecuencia de escala (FN) del sensor Diviner2000® y contenido hídrico del suelo (θ) para el espesor de profundidad 30 a 70 cm.

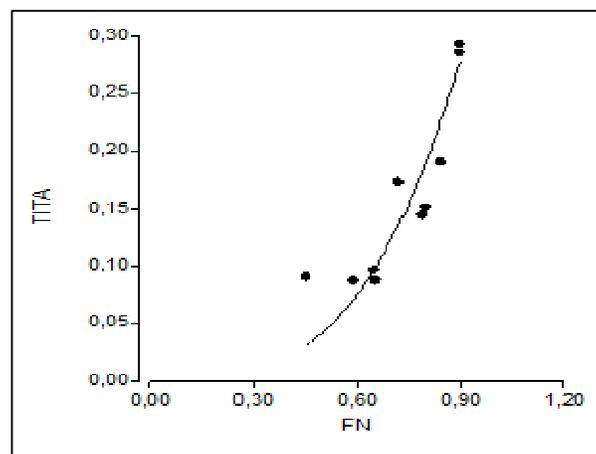


Figura 25: Relación matemática entre frecuencia de escala (FN) del sensor Diviner2000® y contenido hídrico del suelo (θ) para el espesor de profundidad 70 a 80 cm.

4.5.2.- Variación del contenido hídrico del suelo

La variación del agua en el suelo en cada tratamiento (Figuras 26, 27, 28 y 29) entre cada periodo de riego se obtuvo con el monitoreo periódico de las parcelas cultivadas con una sonda FDR portátil Diviner 2000® (Sentex Pty Ltd). En dichas figuras las ordenadas representan la capacidad de almacenaje (CA) del suelo en milímetros y las abscisas los días después del trasplante (DDT).

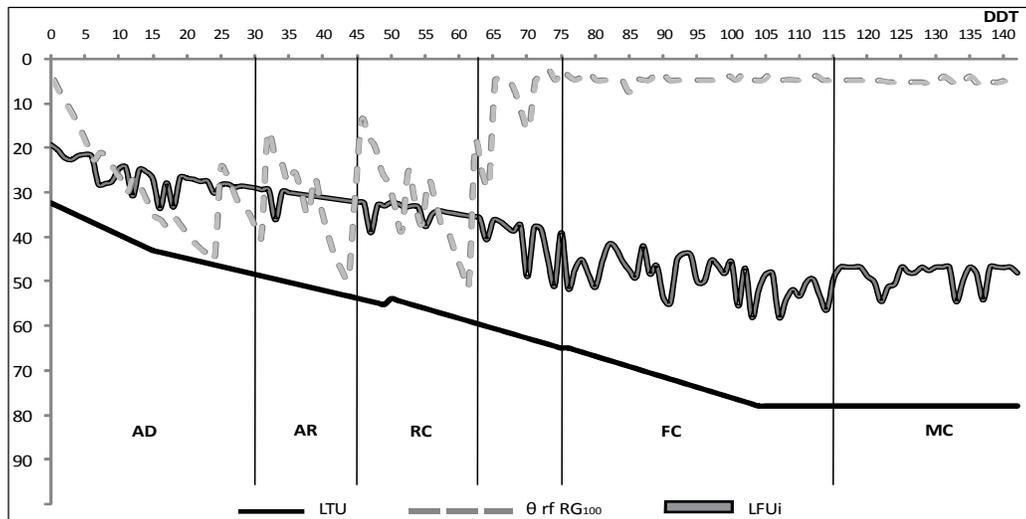


Figura 26: Curvas de agotamiento del agua presente en el suelo (LPU: - - -) alcanzada en cada fase del cultivo (AD, AR, RC, FC y MC) a lo largo del ciclo productivo (DDT) para RS_{100} respecto a la lámina fácilmente utilizable (LFU: —) y lámina total utilizable (LTU: —).

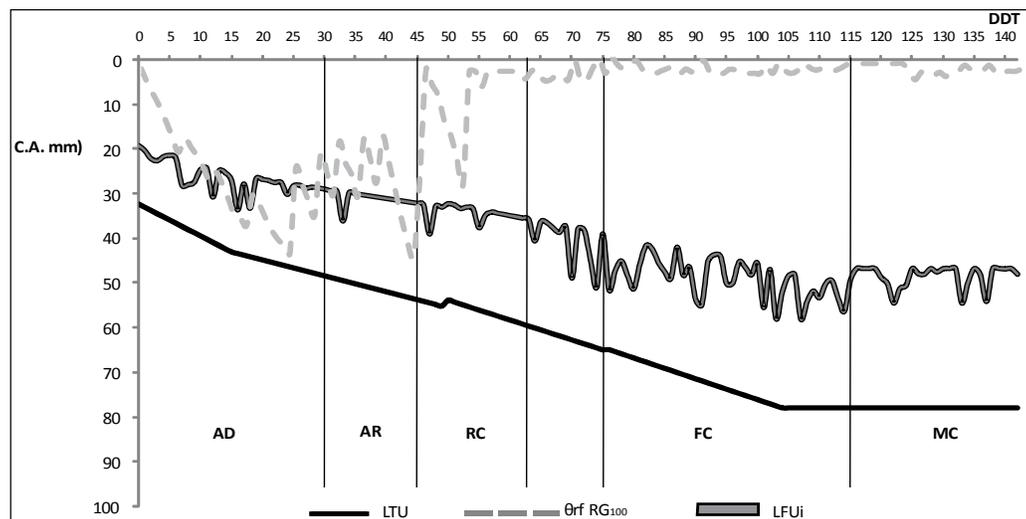


Figura 27: Curvas de agotamiento del agua presente en el suelo (LPU: - - -) alcanzada en cada fase del cultivo (AD, AR, RC, FC y MC) a lo largo del ciclo productivo (DDT) para RG_{100} respecto a la lámina fácilmente utilizable (LFU: —) y lámina total utilizable (LTU: —).

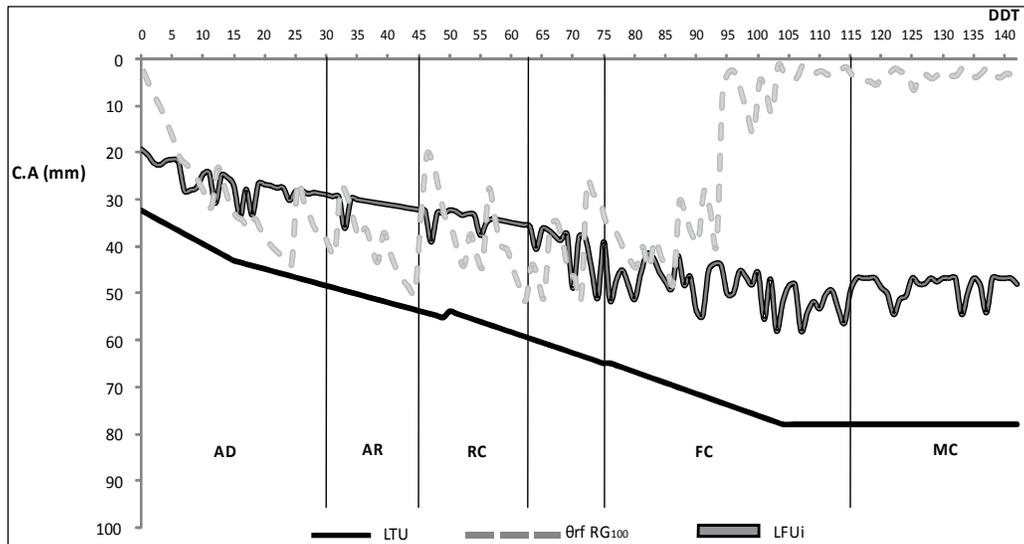


Figura 28: Curvas de agotamiento del agua presente en el suelo (LPU: - - -) alcanzada en cada fase del cultivo (AD, AR, RC, FC y MC) a lo largo del ciclo productivo (DDT) para RS_{60} respecto a la lámina fácilmente utilizable (LFU: —) y lámina total utilizable (LTU: —).

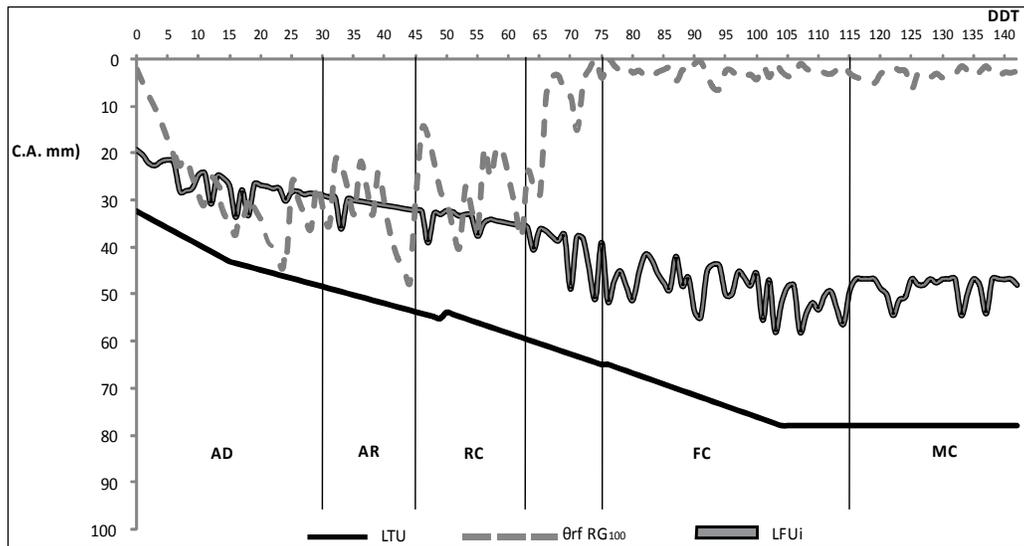


Figura 29: Curvas de agotamiento del agua presente en el suelo (LPU: - - -) alcanzada en cada fase del cultivo (AD, AR, C, FC y MC) a lo largo del ciclo productivo (DDT) para RG_{60} respecto a la lámina fácilmente utilizable (LFU: —) y lámina total utilizable (LTU: —).

Para graficar LTU se fijaron valores máximos de CA en ciertos momentos del ciclo productivo y a partir de éstos se prorrateo para fechas intermedias, dando lugar a una tendencia lineal entre los valores máximos fijados. Tanto LFU como LPU presentaron variaciones diarias (Figuras 26, 27, 28 y 29) dado que ésta depende de LTU, y también de p . Ésta a su vez varía con la intensidad de la ETc, la cual tiene una marcha diaria.

Las curvas de agotamiento presentaron la misma tendencia para las cuatro estrategias de riego hasta AR (30 DDT), periodo de tiempo que comprende la fase de establecimiento del cultivo. Este comportamiento parcial es consecuencia del manejo igualitario del riego adoptado para esta etapa, consistente en trasplantar con riego y a 7 DDT regar nuevamente para asegurar el establecimiento de la plántula, dejando posteriormente agotar el agua en el suelo hasta inicios de AR (30 DDT). A partir de este momento el análisis de las curvas de LPU permite observar que, dado el agotamiento del agua en el suelo con el cual se llegó a AR, el primer riego aplicado permitió generar una condición tal que $LPU = LFU$. Luego los riegos de cada tratamiento generaron tendencias distintas de LPU a lo largo del ciclo.

A partir de FC (75 DDT) no se repuso agua en forma de riego en ninguno de los tratamientos. Las recargas que se observan (Figuras 26, 27, 28 y 29) a partir de tal fecha surgen como consecuencia de los aportes pluviométricos, alcanzando a suplir en términos cuantitativos la demanda evapotranspirativa del cultivo en su fase final (FC y MC).

4.6.- Respuesta del cultivo.

4.6.1.- Área Foliar (AF)

No hubo interacción ($p < 0,05$) entre factores (sistema de riego x nivel de reposición), para esta variable, por lo que puede analizarse cada factor individualmente.

Para la fase AD, el AF presentó valores muy semejantes para cada combinación de factores (Tabla 16), como consecuencia de no expresarse aún los efectos de las disponibilidades diferenciales de agua en el suelo.

En cambio para las fases AR y FC (45 y 75 DDT respectivamente) se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto entre los métodos de riego como así también entre los niveles de reposición (Tabla 16).

Tabla 16: Valores medios de área foliar (cm^2) agrupados según factor (método de riego y nivel de reposición) para los momentos de muestreo adaptación (AD), altura de rodilla (AR) y rápido crecimiento (RC).

	AD		AR		RC	
Goteo	3,75	a	6161,23	a	27356,97	a
Surco	3,72	a	1463,39	b	13049,68	b
100	3,97	A	4505,34	A	23665,89	A
60	3,51	A	3120,28	B	16740,75	B

Medias con letra minúscula diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para cada método de riego; letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para el factor nivel de reposición.

En AR el método de riego por goteo produjo 4 veces más AF que en surco; en tanto que en RC esta relación se redujo a 2 veces (Tabla 16). En el mismo sentido, en AR el nivel de reposición 100 produjo 1,5 veces más AF que el nivel de reposición 60, mientras que en RC esta relación se amplió a 2 veces (Tabla 16).

La representación de AF en cada momento de muestreo (Figura 30) fue necesario transformarla a escala logarítmica (la transformación se hizo para evitar graficar números muy altos). En la Figura todavía AF está expresada en m^2/ha

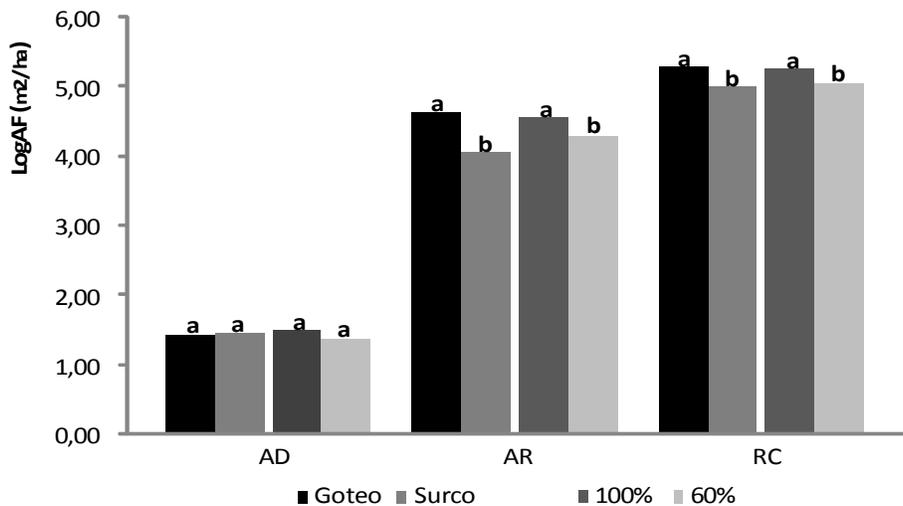


Figura 30: Área foliar producida (promedio) en cada momento de muestreo (AD, AR y RC) entre sistemas de riego (Goteo y Surco) y niveles de reposición de NNR (100% y 60%). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según test LSD ($p < 0,05$).

4.6.2- Producción de MS por partes de la planta

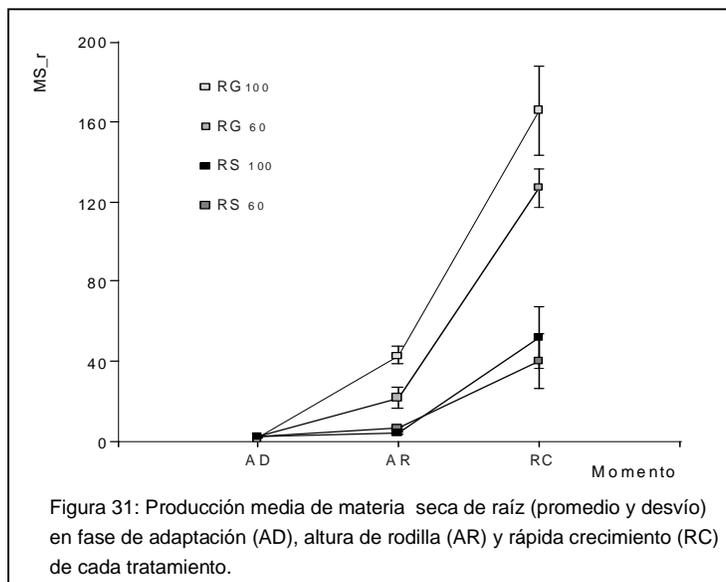
La tabla 17 indica los momentos de muestreo del cultivo en donde existió interacción sistema x nivel de reposición para las variable materia seca de cada componentes de la planta

Tabla 17: Probabilidades asociadas en el ANOVA de la interacción método de riego x nivel de reposición para materia seca de raíz (MS_r), de tallo (MS_t) y de hoja (MS_h) en los momentos de muestreo adaptación (AD), altura de rodilla (AR) y rápido crecimiento (RC).

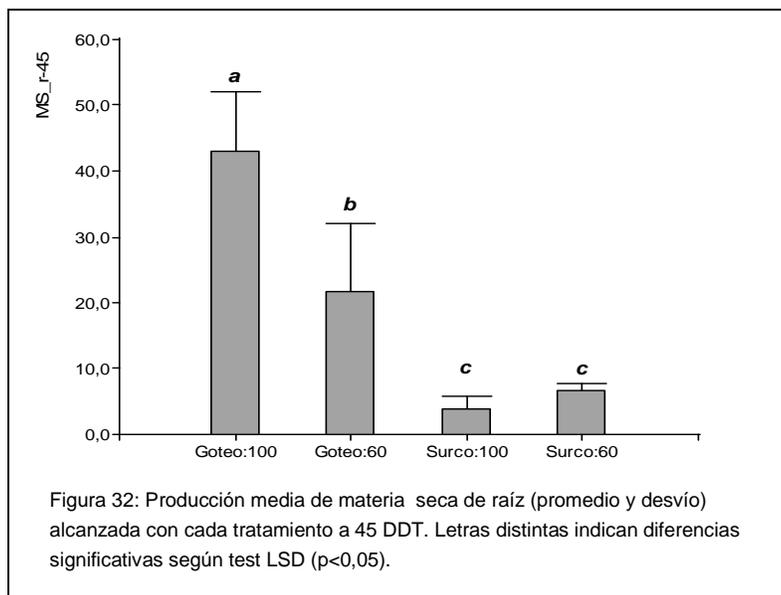
Variable	AD	AR	RC
MS_h	0,8985	0,1954	0,9492
MS_t	0,3631	0,2897	0,9791
MS_r	0,6431	0,005	0,5383

En la tabla 17 puede observarse que la producción de MS en hoja (MS_h) y tallo (MS_t) no evidenció diferencias significativas para la interacción sistema x nivel de reposición en ningún momento de muestreo, indicando que los efectos de sistemas de riego y niveles de reposición de NNR sobre las mismas no interactúan significativamente en su expresión.

La tabla 17 muestra que la producción de MS en raíz (MS_r) en AR fue la única variable que resultó significativa ($p < 0,05$) para la interacción entre factores. En AD y RC, la MS_r no evidenció interacción entre los factores (Figura 31). Por ello se puede afirmar que los efectos de sistemas de riego y niveles de reposición de NNR sobre MS_r interactúan significativamente en su expresión en dicho periodo.



La figura 32 muestra las medias de MS_r de cada tratamiento en AR (45 DDT). Se observa que los métodos con riego por goteo se diferenciaron significativamente ($p=0,05$) de los métodos con riego por surco. A su vez, la estrategia de riego por goteo con reposición del 100% de NNR se diferenció significativamente de la estrategia de riego por goteo con reposición del 60% de NNR.



El tratamiento de riego por goteo con reposición del 100% de NNR produjo dos veces más materia seca en raíz que el riego por goteo con reposición del 60% de NNR, mientras que superó en más de seis veces las producciones alcanzadas con respecto a los tratamientos que utilizaron riego por surco.

Con respecto a la producción de materia seca en raíz alcanzada por los tratamientos con riego por surco, si bien se observa una diferencia entre estos, no fueron estadísticamente significativas.

La tabla 18 muestra comparativamente las medias de MS logradas en cada parte de la planta para cada momento, mientras que la tabla 19 muestra la producción de materia seca de panta entera.

Tabla 18: Medias de materia seca (kg) por partes de la planta para los tres momentos de muestreo.

	AD			AR			RC		
	MS h	MS r	MS t	MS h	MS r	MS t	MS h	MS r	MS t
Goteo	12,3 ^a	1,8 ^a	3,4 ^a	182,3 ^a	-	30,7 ^a	553,5 ^a	146,4 ^a	205,8 ^a
Surco	11,8 ^a	1,6 ^a	2,9 ^a	38,8 ^b	-	5,7 ^b	157,8 ^b	45,8 ^b	60,3 ^b
100	12,1 ^A	1,7 ^A	3,2 ^A	130,9 ^A	-	22,2 ^A	434,5 ^A	108,8 ^A	173,5 ^A
60	12,0 ^A	1,7 ^A	3,2 ^A	90,1 ^B	-	14,1 ^B	276,9 ^B	83,5 ^A	92,6 ^B

Medias con letra minúscula diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) para cada método de riego; letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) para el factor nivel de reposición.

La MS de hoja y tallo se diferenci6 significativamente ($p<0.05$) tanto entre los m6todos de riego como entre los niveles de reposici6n de NNR para los momentos AR y RC (Tabla 18). En cuanto a MS de ra6z, en RC solo hubo diferencias entre m6todos de riego.

La tabla 19 muestra la producci6n de MS considerando planta completa. En AD no present6 diferencias ni entre los m6todos de riego ni entre niveles de reposici6n, dado que a6n no se manifestaron los efectos de las disponibilidades diferenciales de agua en el suelo (momento en el cual se iniciaron los tratamientos). En cambio s6 hubo diferencias estad6sticamente significativas ($p<0.05$) entre m6todos de riego y niveles de reposici6n para los momentos AR y RC.

Tabla 19: Medias de MS (Kg/ha) de planta entera para los tres momentos de muestreo.

	AD	AR	RC
	MS_T	MS_T	MS_T
Goteo	15,2 ^a	257,7 ^a	968,3 ^a
Surco	14,2 ^a	48,2 ^b	336,6 ^b
100	15,3 ^A	167,5 ^A	791,9 ^A
60	14,1 ^B	138,5 ^B	512,9 ^B

con letra min6scula diferentes indican diferencias significativas ($p<=0,05$) para cada m6todo de riego; letras may6sculas diferentes indican diferencias significativas ($p<=0,05$) para el factor nivel de reposici6n.

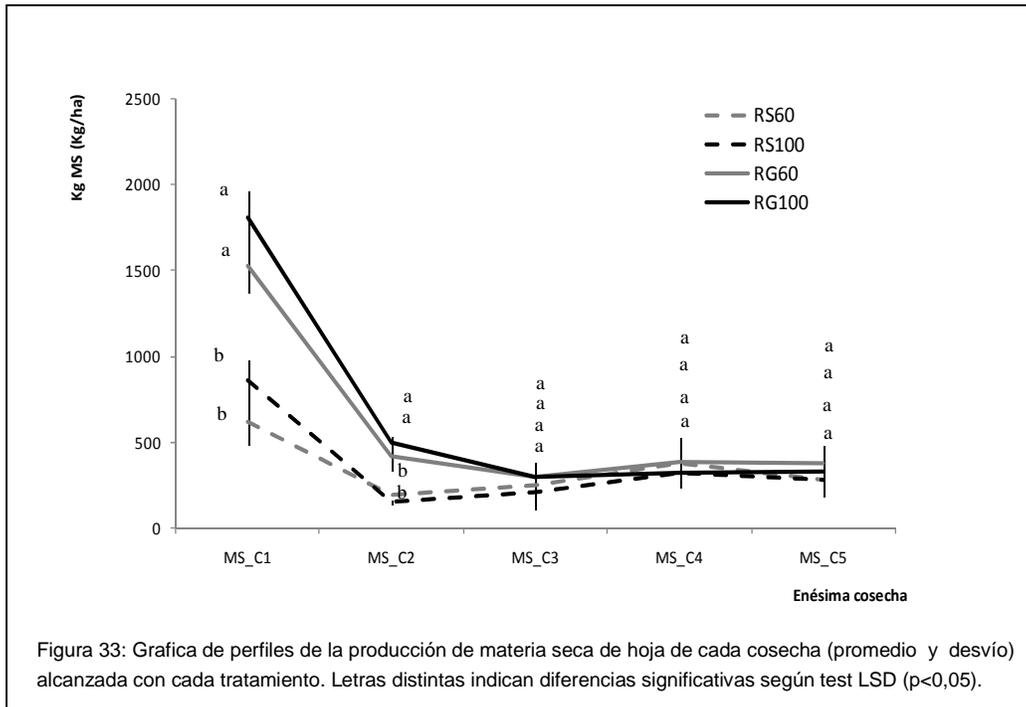
4.6.3.- Materia seca de cada cosecha

La variable MS_Cn no cumpli6 con el supuesto de esfericidad. Por ello, teniendo en cuenta que: a) se verific6 el supuesto de homogeneidad de varianza y b) el peque6o tama6o muestral del caso, se consider6 preferible y oportuno realizar la aproximaci6n univariada F_0 , aplicando el 6ndice 6psilon para corregir los grados de libertad del numerador y denominador (**Box, 1954** citado en **Ruiz Ochoa, 2006**).

Esta comparaci6n encontr6 diferencias significativas ($p<0.05$) de rendimiento en las dos primeras cosechas entre riego localizado en relaci6n a riego por superficie.

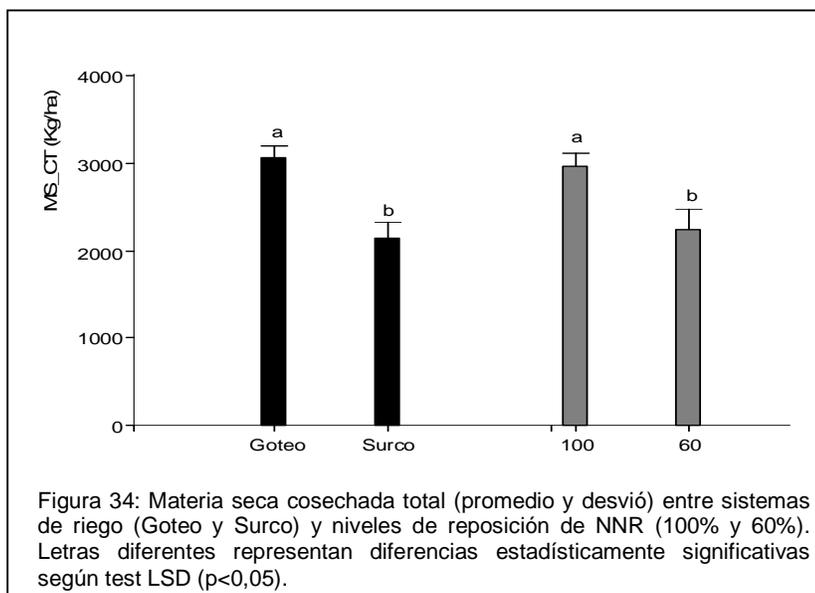
La Figura 33 presenta una gr6fica de perfiles con las tendencias observadas de la producci6n de materia seca de hoja en cada una de las cinco cosechas realizadas (MS_C1, MS_C2, MS_C3, MS_C4 y MS_C5). En la misma se observa que la producci6n de MS de hojas cosechadas presenta una ca6da importante desde la primera hasta la tercera cosecha, a partir de la cual la producci6n de cada tratamiento presenta poca variaci6n entre s6. Un an6lisis exploratorio de la Figura 33 en relaci6n a las dos primeras cosechas, indica que hubo diferencias entre los tratamientos con

utilización de goteo con respecto a aquellos donde se utilizó riego por surco, tal como fue mencionado anteriormente.



4.6.4.- Materia seca total cosechada

La producción de materia seca total cosechada (MS_CT) no evidenció diferencias significativas para la interacción sistema de riego x nivel de reposición, indicando que los efectos de sistemas de riego y niveles de reposición de NNR sobre esta variable no interactúan significativamente en su expresión.



En la Figura 34 se muestra la comparación de medias de la materia seca total cosechada entre los sistemas de riego y entre los niveles de reposición de NNR. Puede observarse que la materia seca total cosechada se diferenció entre los métodos de riego como así también entre los niveles de reposición de las NNR.

El sistema de riego por goteo produjo cerca del 30 % más de materia seca de cosecha total que el sistema de riego por surco, mientras que el nivel de reposición del 100 % de NNR superó cerca de un 25 % lo producido con reposiciones del 60 %.

4.7.- Relación productividad- estrés hídrico

En la tabla 20 se presentan los valores del factor de respuesta de la productividad (Ky), los rendimientos relativos y la evapotranspiración relativa para cinco momentos del ciclo; las tres fases del periodo vegetativo: AD, AR y RC, además de dos etapas correspondientes al periodos reproductivo: FC y MC. Se consideró como condición de mayor productividad y consumo de agua al tratamiento RG₁₀₀.

Para AD se observa una baja sensibilidad a la disminución relativa de la evapotranspiración, la cual fue semejante en todos los tratamientos debido a que, como ya fue señalado, están bajo las mismas condiciones hasta la aplicación de los tratamientos. En el resto de las etapas se comprobó que el tratamiento RG₆₀ fue el que menos sensibilidad tuvo al estrés hídrico, especialmente durante la etapa vegetativa.

Tabla 20: Factor de respuesta de la productividad (Ky), disminución relativa del rendimiento y de la evapotranspiración potencial de los tratamientos de riego en diferentes momentos del ciclo productivo.

Tratamiento	1-Ya/Ym					1-ETcaj/Etc					Ky				
	AD	AR	RC	FC	MC	AD	AR	RC	FC	MC	AD	AR	RC	FC	MC
RG60	0,01	0,17	0,15	0,16	0,00	0,25	0,17	0,13	0,08	0,08	0,04	1,00	1,18	1,87	0,00
RS100	0,05	0,78	0,67	0,56	0,10	0,25	0,21	0,17	0,11	0,11	0,21	3,66	3,97	5,33	0,91
RS60	0,03	0,88	0,84	0,65	0,07	0,22	0,27	0,22	0,13	0,13	0,15	3,22	3,78	4,95	0,56

Durante la etapa de RC los tres tratamientos acusaron mediana sensibilidad, sin embargo entrada la fase de FC los tratamientos con riego por surco se mostraron muy sensibles a la disminución de la evapotranspiración. La etapa de MC fue aquella donde se registró la menor sensibilidad de la disminución relativa de la

evapotranspiración. Puede observarse que el efecto de las disponibilidades hídricas condujo a una reducción en el rendimiento final de materia seca en el orden del 10 % en RG₆₀, mientras que para RS₁₀₀ y RS₆₀ alcanzaron valores de 43 % y 50 % respectivamente (Figura 35).

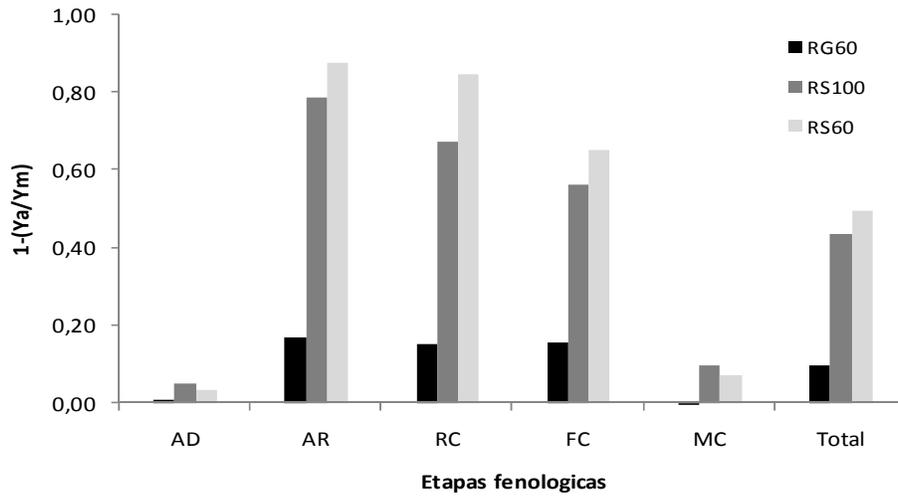


Figura 35: Factor de respuesta de la productividad (Ky) para los tratamientos de riego en diferentes momentos del ciclo productivo

5.- DISCUSION

Los resultados encontrados permiten inferir que las diferencias encontradas en las variables estuvieron determinadas por la **frecuencia** de aplicación (métodos) y por los **niveles** de reposición impuestos.

El análisis de las curvas de agotamiento del agua en el suelo que se presentaron en este experimento, permiten confirmar los resultados encontrados y asegurar que el nivel de abatimiento de LFU estuvo claramente condicionado por la frecuencia y los volúmenes de riego.

Dado que **Blanco** y **Yáñez (1989)** consideran que se necesita riego integral (continuo) durante las etapas vegetativas y complementario (en función de las precipitaciones) en etapas reproductivas, el número de riegos aplicados por gravedad resultó acorde a los probados por **Blanco (INTA, 1975)** y recomendado por **Yáñez (c. 2004)** para tabaco Virginia y resultaron coherentes con los reportados por **Juan (1985)** y **Mora (1977)** para las zonas tabacaleras de Cuba. En los tratamientos de goteo el número de riegos fue mayor en virtud de las mayores frecuencias (totalizando nueve riegos), semejantes a los aplicados por **Bilalis et al. (2009)** al comparar el efecto combinado de sistemas de riego (goteo y aspersión) con incorporación de abonos verdes en tabaco y por **Sifola (2005)** al regar tabaco con goteo con agua de calidad diferenciales.

Similares conclusiones respecto a la frecuencia de riego fueron señaladas por **Blanco (INTA, 1975)** en una experiencia realizada en la EEA-Salta en el cultivo de tabaco regado por surco.

Entre los trabajos que evalúan los efectos de la frecuencia del riego sobre el cultivo de tabaco, **Assimi (2004)** citado en **Cakir** y **Cebi, (2006)** destaca que es bien conocido los efectos que tienen la frecuencia y la cantidad de agua aplicada en la calidad y en la cantidad de hojas cosechadas.

En referencia a otros cultivos **Wagner (2002)** señala que la frecuencia de riego en cítricos tiene marcada influencia en la producción de frutos, asociando las menores producciones conseguidas debido a menores frecuencias, a posibles condiciones de estrés hídricos generadas por el agotamiento del agua en el suelo entre los eventos de riego. Igualmente **Franky Mendez (1995)** en ensayos sobre tomate encontraron que la producción responde directamente tanto a la cantidad de agua aplicada como a la frecuencia de riego.

Estudios llevados a cabo en campo con el cultivar *Special* de tabaco mostraron el efecto significativo de la frecuencia de riego sobre el rendimiento (**Al-Attabi, 1988; Razak et al, 1989** citado en **Cakir y Cebi, 2006**).

Los volúmenes de agua totales recibidos en cada tratamiento están comprendidos entre los valores que **Doorenbos y Kassam (1979)**, establecen como los requeridos para lograr el máximo rendimiento. Sin embargo, comparados con el rango de consumo señalado por **Ballari (2005)** para zonas tabacaleras jujeñas, sólo los tratamientos con la reposición del 100% de NNR alcanzaron dicho rango. Por otra parte **Yáñez (c. 2004)**, estableció en 417 mm las NNR para el sitio de ensayo, con lo cual los tratamientos con 100% de reposición de NNR (RG_{100} y RS_{100}) suponen una adecuada provisión de agua, en tanto que aquellos donde se repuso el 60 % de NNR (RG_{60} y RS_{60}) estuvieron por debajo del óptimo.

La reposición diferencial de agua durante las etapas de AR y RC determinó diferentes niveles de agotamiento de agua en el suelo, generando a su vez diferentes disponibilidades de agua. Se consideró que para valores de **LPU** superiores o iguales a **LFU**, la evapotranspiración real del cultivo (**ET_r**) es igual a la evapotranspiración de cultivo bajo condición estándar (**ET_c**), mientras que para condiciones de humedad de suelo por debajo de ese punto se generan condiciones de estrés y la relación **ET_r/ET_c** resulta menor a la unidad

RG_{100} logró condiciones óptimas de disponibilidades hídricas en el suelo ($LPU > LFU$) en todo el ciclo productivo (salvo un corto tiempo entre 40 y 45 DDT, (Figura 27), mientras que en RS_{100} LPU fluctuó alternadamente por encima y por debajo de LFU hasta finales de la fase de rápido crecimiento (Figura 26). A partir de allí, como consecuencia de los aportes de lluvias, LPU estuvo siempre por arriba de LFU hasta el final del ciclo.

Igual comportamiento se observa en RG_{60} con la diferencia de que la mayor frecuencia de riego determinó que la magnitud del déficit fuese menos intenso y prolongado entre riegos que en RS_{100} . Esta particularidad estableció que a partir de los 55 DDT (plena fase de rápido crecimiento) el cultivo ya se encontrase en óptimas condiciones de disponibilidad hídrica.

En RS_{60} , se observa que los sucesivos riegos no fueron suficientes para que LPU supere LFU en ningún momento (Figura 28), salvo puntualmente 45, 55 y 75 DDT (debido a algún aporte pluviométrico) para posteriormente caer por debajo de LFU. Dos particularidades, importantes de señalar, se visualizan en este tratamiento: i) el nivel de agotamiento de LPU se encontró muy próximo a LTU al inicio de AR y

nuevamente al inicio del periodo de RC y ii) las condiciones óptimas de agua en el suelo recién ocurrieron a partir de 90 DDT, durante la etapa de FC.

De lo anterior se deduce que existieron disponibilidades de agua diferentes durante la etapa de aplicación de los riegos (fases de AR y RC) en los cuatro tratamientos, lo que determinó tres condiciones: i) óptima de cultivo, sin estrés hídrico en ningún momento (RG₁₀₀); ii) estrés continuo (RS₆₀); iii) periodos entre riegos de estrés/sin estrés con magnitudes distintas según se tratase de RG₆₀ o RS₁₀₀.

Fueron estas condiciones de estrés las que pudieron haber determinado las diferencias encontradas en los valores de AF, MS por partes de la planta y MS de la primera y segunda cosecha, siendo más acentuadas entre niveles de reposición

Al respecto, **Lazo Cruz (2004)** menciona los trabajos de **Pistarius (1969)** y **Caronenuto (1981)** donde se sostiene que el umbral de riego para tabaco está determinado para un consumo cercano al 50 % de la humedad disponible en el suelo, ya que niveles de agotamientos mayores, producen problemas en el desarrollo.

El estrés hídrico durante la etapa de RC puede reducir el rendimiento de hoja (**Mc Nee, 1978**). En este sentido **Wilkinson et al., (2002)** señalan que el efecto del estrés hídrico aplicado en diversas etapas del ciclo productivo del tabaco produce la disminución del crecimiento vegetativo, la expansión foliar y la acumulación de materia seca.

Hawks y Collins, (1986) aseguran que cuando el tabaco está en el periodo de RC, el agua es extremadamente importante para conseguir un buen desarrollo de las hojas, lo que mejorara a su vez la producción y calidad.

Cualquier grado de estrés reduce el potencial hídrico de los tejidos, traduciéndose esta condición a los tejidos meristemáticos dando lugar a la plasmolización de las células, cuya última expresión resulta en la reducción de la división y posterior expansión celular (**Hojat Salehzade et al, 2009**). Es por ello que la disponibilidad hídrica es señalada como la principal condicionante en la actividad metabólica de la planta y por ende la causa primera de los efectos sobre el cultivo abordados en el apartado anterior.

En este sentido **Hojat Salehzade et al (2009)** encontraron efectos significativos en AF y MS en el cultivo de tabaco con niveles de 100 % de abatimiento de LTU en el suelo, situación alcanzada en RS₆₀. Los efectos del estrés hídrico presentados por **Recep Cakir (2006)** coinciden con los encontrados en este trabajo en cuanto a AF.

Considerando que, a diferencia de otros cultivos, en la producción de tabaco el objetivo que se persigue es la cosecha de hojas, el grado de desarrollo de las mismas por unidad de área determina directamente el rendimiento (**Recep Cakir, 2006**). **Torrecillas et al (1980)** citado en **Nieto Martínez (2002)** afirma que a mayor área foliar mayor será el peso fresco y seco de las mismas, señalando a estas dos variables como los componentes que más influyen en el rendimiento.

La reducción del área foliar es el factor de mayor contribución en la disminución del rendimiento en el cultivo de tabaco **Jons y Seltmann (1961)** citado por **Mc Nee, (1978)** Teniendo en cuenta esto, las diferencias encontradas en la producción de materia seca pueden ser atribuidas a las diferencia señaladas para AF.

Un hecho particular observado en la materia seca por partes de la planta es la dependencia encontrada en la producción de materia seca en la raíz durante AR respecto al sistema de riego y nivel de reposición impuesto (existencia de interacción). En este sentido, considerando los resultados referidos a la profundidad de actividad radicular señalados en IV.3, las diferencias encontradas pueden inferirse de una mayor densidad de raíces desarrollada en los tratamientos por goteo, propia de estos sistemas (**Goode et al (1978)**, **Levin (1979)**, **Assaf y Bravdo (1980)**, **Atkinson (1980)**; todos citados en **Pizarro (1997)**). De la misma manera, la mayor profundidad de humedecimiento alcanzada con los volúmenes de reposición en RG100 pudo generar mayor volumen radical, lo que explicaría las diferencias entre RG100 y RG60.

Analizando valores medios del rendimiento según los factores estudiados, se observa que los tratamientos que tuvieron mayor disponibilidad de agua fueron los que claramente se diferenciaron: goteo vs surco y 100 % de reposición vs 60 % de reposición. El sistema de riego por goteo produjo cerca del 30 % más de materia seca de cosecha total que el sistema de riego por surco. Mientras que niveles de 100 % de reposición supero en valores similares de materia seca de cosecha total a los logrados con el 60 % de reposición.

Bilalis et al (2009) al comparar entre riego por aspersión y goteo en el cultivo de tabaco en Grecia, encontró que goteo se diferenció del riego por aspersión produciendo entre un 10 y un 35 % más de rendimiento.

Ortega (2006) en un ensayo comparativo entre riego por goteo y gravedad por surco en tabaco llevado a cabo en INTA, EEA-Salta llegó a idénticas conclusiones, en donde el tratamiento con goteo logró rendimientos superiores a los 3000 kg ha⁻¹ de hoja curada.

Estas disponibilidades se refieren a una mayor accesibilidad del agua del suelo teniendo en cuenta la naturaleza de riego por goteo, en donde la aplicación lenta y más frecuente del agua de riego, determinan que la humedad del suelo en una parte de la zona radicular de la planta se mantenga bastante constante en comparación con otros métodos de irrigación (**Cetin y Bilgel, 2002** citado en **Bilalis et al, 2009**)

Hojat Salehzade et al (2009) informan haber encontrado diferencias en la producción de materia seca para condiciones de agotamiento de LPU similares a los producidos en este ensayo.

Igualmente **Biglouei et al (2010)**, en un ensayo en Irán evaluando diferentes condiciones contrastantes entre riego total y riego nulo en tabaco durante el periodo vegetativo, encontraron diferencias significativas ($p < 0,01$) para todas los tratamientos ensayados.

Mc Nee et al (1978) reporta en un ensayo donde probó la influencia del estrés hídrico iniciado en diferentes momentos de la fase de rápido crecimiento que cuando esta condición se inicia y mantiene durante esta fase se producen efectos significativos en el rendimiento de hojas.

Cakir y Cebi (2006) para condiciones de Turquía informan que el abatimiento del la LPU por debajo del 40 y 60 % de LFU generaron perdidas en la producción de materia seca en un rango del 40 a 70 %.

Las diferencias encontradas en el rendimiento de las primeras cosechas de hojas se atribuyen a un efecto acumulado o de arrastre de las diferencias ya señaladas para MS y AF en AR y RC. Las primeras cosechas corresponde a las hojas más viejas de la planta, o sea, aquellas primeramente aparecidas/desarrolladas, por lo tanto aquellas que estuvieron expuestas a los efectos de las disponibilidades diferenciales de agua en el perfil a partir de la aplicación de los tratamientos. La disponibilidad de agua fácilmente utilizable en el perfil a partir de RC pudo haber asegurado la acumulación de materia seca en las hojas restantes y por ende no se encontraron diferencias en la materia seca a partir de la tercera. En este sentido **Doorenbos y Kassam (1979)** afirman que la madurez de la hoja también se ve afectada por la disponibilidad hídrica y que una oferta óptima contribuye a incrementos en la calidad y cantidad del rendimiento.

Estos autores de acuerdo con los resultados obtenidos de la relación entre la disminución del rendimiento relativo y el déficit de la evapotranspiración relativa, afirman que el tabaco es un cultivo que requiere un suministro controlado de agua

durante la etapa de rápido crecimiento del período vegetativo. Consideran a este cultivo durante la etapa vegetativa total poco sensible, aunque señalan una mayor sensibilidad durante la fase media del periodo vegetativo que coincidiría con RC para este experimento donde hubo también alta sensibilidad en los tratamientos.

Diez (2011) evaluando el uso de los recursos hídricos por el tabaco Virginia en el departamento de Chicoana (Salta), en lotes de alta y baja producción caracterizó como deficitario el manejo del riego de los mismos. Encontró que para los niveles estimados del agotamiento de LPU (superiores a la LFU) independientemente del grupo que se tratase, produjeron una disminución del rendimiento entre un 20 % a un 30 % con valores extremos del 60 %.

Cakir y Cebi (2006) para las condiciones de Turquía en un experimento que contempló la supresión del riego durante las etapas de rápido de crecimiento y maduración de cosecha, informan que se registraron disminuciones en el rendimiento cercanos a 70 %

La relación entre la disminución de los rendimientos y la disminución de la evapotranspiración comprobó que el tratamiento RG₆₀ fue el que menos sensibilidad tuvo al estrés hídrico, especialmente durante la etapa vegetativa. Durante la etapa de RC los tres tratamientos acusaron alta sensibilidad, sin embargo entrada la fase de FC los tratamientos con riego por surco mostraron ser aun más sensibles a la disminución de la evapotranspiración. Los niveles de Ky encontrados en este trabajo resultaron superiores a los reportados por la literatura consultada.

6.- CONCLUSIONES

En términos generales las variables respondieron independientemente a los factores evaluados: sistema de riego y niveles de reposición de NNR. Solamente la producción de biomasa en raíz puntualmente en AR evidenció el efecto de interacción entre los métodos de riego y los niveles de reposición de NNR.

El análisis de la dinámica en las curvas de agotamiento de LFU permite deducir que el nivel de abatimiento de la LFU se vio condicionada por los volúmenes y la frecuencia del riego.

Los resultados encontrados, sus diferencias y las consideraciones del párrafo anterior permiten concluir que el sistema de riego tuvo más incidencia en la expresión de las variables que los niveles de reposición de NNR.

Con respecto a AF se observó que en AR el riego por goteo produjo 4 veces más que el riego por surco, en tanto que en RC esta relación se redujo a 2 veces. En el mismo sentido, en AR el nivel de reposición 100 produjo 1,5 veces más AF que el nivel de reposición 60, mientras que en RC esta relación se amplió a 2 veces. La reducción en la brecha de producción de AF en esos momentos puede asignársele a una mayor disponibilidad hídrica en el suelo señaladas hacia tales fechas.

La materia seca producida por partes de la planta y planta entera siempre fue mayor en goteo y con 100 % de reposición de NNR. Considerando la materia seca producida en hoja, la cual es particularmente importante en este cultivo, las parcelas regadas con goteo produjeron cerca de 70 % más que las regadas por surcos, mientras que el nivel de reposición 100 % produjo 30 % más de MS en hoja que el nivel de reposición 60 %.

El desarrollo radical de las plantas de tabaco se vio afectado por la combinación de los factores. El tratamiento RG100 produjo dos veces más MS en raíz que RG60, superando el método de goteo en más de seis veces la biomasa producida con los tratamientos que utilizaron riego por surcos.

En cuanto al rendimiento final de hoja evaluado a través de MS cosechada total, el riego por goteo produjo aproximadamente 30% más de MS cosechada total que el sistema de riego por surcos, mientras que el nivel de reposición del 100 % de NNR superó cerca de un 25 % lo producido con reposiciones del 60 %.

Estos resultados permiten validar la hipótesis que afirma que el desarrollo vegetativo y la producción consecuente en el cultivo de tabaco, responde de manera diferencial a los niveles de reposición de las necesidades de riego alcanzados durante las fases del cultivo con posibilidad de imponer estrategias de riego deficitario.

Asimismo, permiten concluir a favor de la hipótesis que afirma que aplicando estrategias de riego deficitario en el cultivo de tabaco, el desarrollo vegetativo y la producción se verán más favorecidos en aquellos métodos de aplicación que asegure una alta frecuencia de reposición.

7.- BIBLIOGRAFIA

Cámara del Tabaco de Salta. La Producción de Tabaco en la República Argentina (2008). Argentina. Ministerio de la producción. Secretaria de agricultura, ganadería, pesca y alimentación. [En línea]. 2008. [<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/SAGPyA/agricultura/tabaco/04-estadisticas/index.php>]. [Consulta 20 de Junio 2008].

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Cerrillos, Salta (EEA, Salta). En: Taller competitividad del sector tabacalero en valles templados de Salta y Jujuy. (Agosto de 2008). Salta, Argentina.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Cerrillos, Salta (EEA, Salta). En: Memoria de la reunión anual de información técnica para productores (1975). Salta, Argentina. Pag. 9 a 11.

ASAE EP405.1 APR1988 (R2010). Design and Installation of Microirrigation. Systems. American society of Agricultural and Biological Enginners. 2010.

ABEUCCI y PAULA SARAFIAN. Alta cuenca del río Bermejo. Cuenca n°28. [En línea]. [<http://www.hidricosargentina.gov.ar/28.pdf>]. [Consulta 29 de Julio 2008].

ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D. & SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Roma. 298 pp.

AMENGUAL, R. E., CEREZO, C. E., PAOLI, H. P., SCIORTINO, J. B.: Plan hídrico provincial, una propuesta para su desarrollo. Administración general de aguas de salta. Octubre 1995.

ARCE, L. R. 2003. Un cambio legal y estructural que se está comprendiendo. Revista Salta productiva, pag. 14-15: Mayo/junio, 2003.

BALLARI, M.H. 2005. Tabaco Virginia: Aspectos Ecofisiológicos de la Nutrición en condiciones de Cultivo. Alejandro Graziani. Córdoba, República Argentina. p. 224. ISBN: 987-43-9119-7

BILIALIS, D. et al. Effects of irrigation system and green manure on yield and nicotine content of Virginia (flue-cured) Organic tobacco (*Nicotiana tabaccum*), under mediterranean conditions. Science Direct. Industrial crops and products (29): 388-394.18 de Julio de 2008.

BIGLOUEI, M. H., ASSIMI, M. H. y AKBARZADEH A. 2010. Effect of wáter stress at different growth stages on quantity and quality traits of Virginia (Flued-Cued) tobacco type. Plant soil enviroent., 56 (2): 67-75

BLANCO, LUIS., YAÑEZ, CARLOS. 1989. Riego en tabaco Virginia. Informe final de plan de trabajo. INTA-EEA Salta. Salta. Argentina. 50 p.

BRYAN, W. MAW, JAMES, R. STANSELL, and MULLINIX, B. G. Soil-Plant-Water Relationships for flue-cured tobacco. The Georgia Agricultural Experiment Satations. College of Agricultural and Environmental Sciences. The University of Georgia. Reserch Bulletin, number 427, June 1997.

BROUWER C., HEIBLOEM Y. 1986. Irrigation water needs; Irrigation Water Management. Training Manual no 3. FAO, Rome. 62 p.

CAMUSSI, G y MARANO, R. P. 2009. Calibración de una sonda de capacitancia para determinación de contenido hídrico en Argiudoles del centro de Santa Fe. Avances de la Ingeniería Rural 2007-09, Di Leo N., Montico S. y Nardón G. editores ISBN 978-950-673-752-8; Vol I 353:358 Rosario - Santa Fe – Argentina.

RUZ LAZO, R. LEON SÁNCHEZ, L. E. HERNANDEZ, G. Riego en tabaco. [En línea]. [<http://www.monografias.com/trabajos18/riego-tabaco/riego-tabaco.shtml>]. [Consulta 22 de Junio 2008].

DEWIS, J & F FREITAS. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre Suelos N°10 FAO: 252p.

DOORENBOS y KASSAM, A. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje N° 33, Roma, Italia. Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1979. Parte B: Cultivo y Agua. pp. 159-160.

ESPINO, E. y MARIN, M. Correlación genotípica entre caracteres del tabaco negro cubano (*Nicotiana tabacum* L). Agratécnia de Cuba. 9 (2) 87 -93. 1977.

FERNANDEZ de ULLIVARRI, DAARIO. 1990. El cultivo de los tabacos claros. Centro regional Salta-Jujuy EEA – Salta. Salta. Argentina. Ed. Comunicaciones agropecuarias. 78 p.

FERREYRA ESPADA. 2008. Riego deficitario controlado en frutales. [Diapositivas]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, 43 diap.

FERREYRA ESPADA R., SELLÉS VAN, S., PIMSTEIN A. 2005. Diseño, manejo y mantención de equipos de riego localizado de alta frecuencia. Boletín INIA n° 35. Chile.

FINCA EL PONGO. 2007. Riego por goteo en tabaco Virginia. Jujuy, Argentina. Administración finca experimental El Pongo. 45 diap.

FRANKY, J. MENDEZ. 1995. Efecto de cuatro frecuencias de riego sobre el comportamiento de dos variedades de tomate en un suelo aridisol. Agronomía Tropical 45(4): 571-594.

GUAYMAS, M. Los consorcios en la provincia de Salta. XXIII Congreso nacional de agua 2007. Tucumán, Argentina. 15 -19 de Mayo de 2007.

GUEESING, D., BACHMAIER, M. SCHMIDHALTER, U. 2004. Field calibration of a capacitance soil water probe in heterogeneous fields. Australian Journal of Soil Research, 42, 289-299

GIL, M.; et al. Irrigation Science 26 (6): Cp3-458 Sep 2008 “Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity”.

GIL-MARIN, JOSÉ ALEXANDER. Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana. Revista UDO Agrícola 1 (1): 42-47. 2001

GRASSI, C. J. 2004. Fundamentos de riego. Serie riego y drenaje RD-38. Centro interamericano de desarrollo integral de aguas y tierras C.I.D.I.A.T. Medida, Venezuela

HAWKS y COLLINS. 1983. Principles of flued-cures tobacco. Circular 720, Florida Coop. Ext. Service. IFAS. University of Florida, FL

INFOSTAT (2009). InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Roma. FAO. Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Databases [En línea]. 2008. [<http://apps.fao.org>]. [Consulta 20 de marzo 2008]

ISRAELSEN y HANSEN. 1965. Principios y aplicación del riego. Editorial Reverté s.a. Bs. As. Argentina

JUAN, G. R.; Piedad Alvarez y Cruz L. R. Correlación de la evapotranspiración del tabaco Virginia con los elementos del clima. Agrotecnia de Cuba. Vol. 22(1): 65-73.1990.

JUAN, G. R. Recomendaciones sobre el riego del tabaco de las variedades que se cultivan en Cuba. Voluntad Hidráulica 67:35-40. 1985.

CARRAZÓN ALOCÉN, JULIAN. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA)

LAZO CRUZ. Riego en el cultivo del tabaco [En línea]. 2004. [<http://www.monografias.com/trabajos18/riego-tabaco/riego-tabaco.shtml>]. [Consulta 20 de marzo 2009]

LLOP, ARMANDO A. Sobre la decisión óptima entre hectárea a regar y dotación del agua.. Centro de economía, legislación y administración del agua. Mendoza, Julio de 1981.

Mc NEE et al. Influence of wáter stress on yield and quality of flue-cured tobacco. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. (18): 726-731. 1978

MORA, B. J., ORTIZ, R. C. El cultivo del tabaco en los valles de Oaxaca. Tabacos Mejicanos. Folleto de divulgación número 5, 1977.

MOUSTAKAS y NTZANIS. Dry accumulation and nutrient uptake in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). ScienceDirect. Field crop research (94): 1-13. 2005.

NIETO MARTINEZ, M., DE LA HUERTA C., M., QUINTANA, A. R., FONSECA, MACHADO, B. 2002. Efecto de dos momentos de siembra sobre el rendimiento de tabaco negro (*Nicotiana tabacum* L.) variedad Habana-92 en suelos bajo rotación de cultivos.. Revista electrónica granma Ciencia. Vol . 6, n°3 Setiembre–Diciembre 2002.

ORTEGA, A., TONCOVICH, M.E. 2008. Blanco de rendimiento en el cultivo de Tabaco Virginia. INTA-EEA, Salta. Salta. Argentina.

PAOLI H., YAÑEZ, C.- Aplicación de la informática en los sistemas de riego provinciales. Un aporte para la operación de los sistemas de riego en Salta. Proyecto CIUNSa N° 623 PROSIS INTA Salta, Argentina. 1997. 154 pag.

PAOLI, H., DIEZ, J. Programa de desarrollo para pequeños productores tabacaleros: Evaluación de riego en finca primera etapa. [en línea]: Fondo Especial del Tabaco, Estación Experimental INTA Salta, Centro Regional Salta- Jujuy, Febrero 2006. [fecha de consulta: 26 octubre 2011]

PAZ, V, VERA, A y PAEZ, A. Distribución de biomasa de *Barleria lupulina* Lindl. en respuesta a tres regímenes de riego. Rev. Fac. Agron. [online]. jul. 2003, vol.20, no.3 [citado 18 Noviembre 2011], p.273-281. <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182003000300002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-7818.

PERAMO MÉNDEZ, J. 1998. Eficiencia del riego subterráneo por goteo en el cultivo de tabaco. Horticultura: Revista de frutas, hortalizas, flores, plantas ornamentales y de viveros, (127): 42-44.

PICCOLO M. A., TONCOVICH, M. E. Producción y comercialización mundial y nacional de tabaco. INTA – EEA Salta. Cerrillos, Salta. 22 de Julio de 2008. 12 p.

PISTARIUS, J. J. Relaciones entre agua, suelo. Planta y su aplicación práctica en la irrigación. Rhodesian tobacco. 9(2):16-27, 1969.

PIZARRO, Fernando. 1986. Riego localizado de alta frecuencia RLAF. 1 ed. Madrid, mundi prensa 517 p.

PIZARRO, Fernando. 1997. Riego localizado de alta frecuencia RLAF. 2 ed. Madrid, mundi prensa 405 p.

RECEP, FAKIR and ULIYE ÇEBİ. 2006. Yield and water use of fluid-cured tobacco under various regimes of irrigation in conditions of thrace region of turkey. Journal of agronomy 5 (1): 79-86. 2006

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Riego por goteo. Estudios sobre Riego y Avenamiento. Nº 14.:77-80. 2004.

RUIZ GARCIA, X., FERRER ALEGRE, F., RODRIGO VILLAR, G. La importancia de los gráficos de profundidad en la interpretación de las mediciones de la humedad del suelo. Revista enología nº3. Año IV Julio-Agosto, 2 007.

RUIZ-OCHOA, M.A., R. MELENDEZ, M. CASTELLANOS, J. POLANÍA: 2006. Aplicación de medidas repetidas a cuatro propiedades edáficas en los manglares del brazo Calancala, río Ranchería. Rev. Acad.Colomb. Cienc. 30 (115): 233-242.. ISSN 0370-3908.

SANTANA, N. BUTOROVIC y C. OLAVE. (2009). TEMPERATURA EN PUNTA ARENAS (CHILE) EN LOS ÚLTIMOS 120 AÑOS. Estación Jorge C. Schythe. Anales Instituto Patagonia (Chile). Laboratorio de Climatología. Instituto de la Patagonia. UMAG.

SIFOLA, M. I. 2005. Quality characteristic of burley tobacco irrigated with saline water. Science Direct. Field crop research 92 (2005) 75-84

SPSS, 2005. SPSS for windows v.14. Polar Engineering and consulting. SPSS Inc. Chicago, Illinois.

STARR, J., L. y Platineanu, I., C. 1998. Soil water dynamics using multisensory capacitance probes in nontrafic interrows of corn. Soil science society American (62) January-February 1998.

TONCOVICH, M. E., PICCOLO, M. A. 2008. Cadena productiva de tabaco en las provincias de Salta y Jujuy. INTA, EEA Salta. Cerrillos, Salta. 22 de Julio de 2008. 8 pag.

TORRECILLAS, ARTURO et al 2007. Utilización de las medidas de las variaciones del diámetro del tronco para la programación del riego en melocotonero temprano. En taller internacional Modernización de riegos y uso de tecnologías de información. (1º 2007, La Paz, Bolivia) Síntesis de resultados. PROCISUR-CITED. Pp: 20-22.

VARGAS Gil J. R. – 1999. Carta de suelos de la Republica Argentina, provincia de Salta- Valle del Lerma – Hoja 7 Cerrillos. INTA-EEA Salta- Macroregión NOA. Págs. 62-63.

VARGAS GIL, J. R. y BIANCHI, A.R. Regiones Naturales del NOA, 1981. Memoria Anual de Información Técnica 1981-82. Estación Experimental Regional Agropecuaria Salta. P.181-184

WAGER, M., et al. 2002. Efecto de diferentes patrones de cítricos e intervalos de riego sobre la calidad y producción de la naranja valencia. Biagro 14 (2): 71-76.

WILKINSON, C. A., REED, T.D., JHONS J.L. 2002. Flued-Cured tobacco variety information for 2002. Virginia Polytecnic Institute and State University, Tobacco, Publication. Blacksburg, Virginia. Pp: 436-447.

YAÑEZ, Carlos E. Necesidades de riego de 20 localidades de Salta y Jujuy. [cd-rom]. República Argentina, Salta. Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Cerrillos-Salta. (INTA, EEA, Cerrillos).

8.- ANEXO

Figura 1: Ficha edafología del sitio de estudio

MOSAICO:	RECORRIDO:	AEROFOTO:	FECHA:	OBSERV. N°
SERIE:	FASE:			
SÍMBOLO:	GRAN GRUPO: <i>Ustorthents. (habría q' ver Carbono orgánico total sobre el sustrato Fluvial)</i>			
CLASIFICACIÓN UTILITARIA	Limitaciones Principales:			
UBICACIÓN:				
PAISAJE	tipo:	forma:	símbolos:	
VEGETACIÓN NATURAL y CULTIVOS:	<i>Lote</i>			
MATERIAL ORIGINARIO:	<i>Aluvial</i>			
RELIEVO:	DRENAJE clases			
POSICIÓN:	PELIGRO DE ANEGAMIENTO			
PENDIENTE Clases %:	DISTRIBUCIÓN DE LA HUMEDAD			
ESCURRIMIENTO (Grados):	COBERTURA VEGETAL %			
PERMEABILIDAD (Grados):	SALES o ALCALIS			
EROSIÓN (Clases):	PEDREGOSIDAD o ROCOSIDAD			
	USO DE LA TIERRA			

HORIZONTE	PROFUND. cm.	LÍMITE tipo forma	COLOR S en seco H en húmedo	TEXTURA	ESTRUCTURA a tipo b clase c grado	CONSISTENCIA			pH	CO - 3	SOLUBLE	SOLUBLE en agua	MOTILIDAD	HUMEDAD	BANCOS	FORMACIONES ESPECIALES
						S	H	M								
Ap	0-7		# 7.5 YR 5/1 H 7.5 YR 3/2	F	a Bloques blancos, medianos, bien definidos y compactos.	Extrema Duro.		MP.								X
AC	7-29		# 7.5 YR 5/2 H 7.5 YR 3/2	F	a Bloques subangulares, mediano que alargados e a bloques finos.	Extrema Duro.		MP.								X
C	29-45		# 7.5 YR 6/2 H 7.5 YR 3/4	FL	a Masivo q' compacto e a bloques subang. medianos.			LP.		X						X
Btbcu	Bt1b 45-69	límite aluvial	# 7.5 YR 3/3 H 7.5 YR 3/3	AL	a Bloques subangulares medianos.			MP. HA		XX X	X	disoluble		X	XX	Miscela de Carbonatos
Btbcu	Bt2b 69+									XX XX XX	XX	Concha		X	XX	Abundantes Miscel. al Carbonatos.

Observaciones:
 Presencia de grietas en todo el perfil; aumentando en profundidad. Presencia de gravas en todo el perfil.
 Presenta 15 cm de material suelto; producto del arado; arriba de horizonte Ap.
 Presencia de actividad biológica (bicho bola) a 45 cm de profundidad.

Tabla 1: Cronograma de actividades y/o labores culturales en el ensayo.

DDT	Fecha	Actividad/labor	Objetivo
0	21-Sep	Transplante c/ Riego de Asiento	Implantación de ensayo
7	28-Sep	Refalle c/Riego de Asiento	Implantación de ensayo
8	29-Sep	Pulverización C/Herbicida residual	Control de Hierbas de hoja angosta
12	03-Oct	Fertilización de Base	Ajustar balance nutricional
14	05-Oct	Pulverización c/Insecticida de contacto	control de plagas claves
25	16-Oct	Riego de Tratamiento por Surco y Goteo	
29	20-Oct	Riego de Tratamiento por Goteo	
32	23-Oct	Riego de Tratamiento por Surco y Goteo	
36	27-Oct	Riego de Tratamiento por Goteo	
37	28-Oct	Pulverización c/Insecticida de contacto	control de plagas claves
39	30-Oct	Riego de Tratamiento por Surco y Goteo	
45	05-Nov	Fertilización de Repique	Ajustar balance nutricional
46	06-Nov	Medio Aporque Riego de Tratamiento por Surco y Goteo	
53	13-Nov	Riego de Tratamiento por Surco y Goteo	
58	18-Nov	Riego de Tratamiento por Surco y Goteo	
63	23-Nov	Riego de Tratamiento por Surco y Goteo	
65	25-Nov	Pulverización c/Insecticida de contacto	control de plagas claves
72	02-Dic	Aporque Riego de Tratamiento por Surco y Goteo	
84	14-Dic	Pulverización C/Herbicida contacto	Control total de hierbas a cosecha
86	16-Dic	1º Desflore y Desbrote	Redireccionar fuente-destino
91	21-Dic	2º Desflore y Desbrote	Redireccionar fuente-destino
93	23-Dic	1ª Cosecha	
108	07-Ene	2ª Cosecha	
121	20-Ene	3ª Cosecha	
129	28-Ene	4ª Cosecha	
140	08-Feb	5ª Cosecha	