

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**Efecto de la disponibilidad de agua en el crecimiento,
desarrollo, rendimiento y calidad de tomate para industria.**

Por

Daniel Gregorio ALVAREZ FACAL

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2010**

Tesis aprobada por:

Director: _____
Ing. Agr. MSc. Lucía Puppo

Director: _____
Ing. Agr. PhD. Santiago Dogliotti

Ing. Agr. MSc. Florencia Alliaume

Ing. Agr. Dr. Claudio García

Fecha: _____

Autor: _____
Daniel Gregorio Alvarez Facal

AGRADECIMIENTOS

Personal del CRS y responsables del laboratorio de suelos del INIA Las Brujas. Docentes: Raquel Hayashi, Pablo Morales, Enrique Coronel. Directores: Lucía Puppo y Santiago Dogliotti. Amigos. Familiares y todas aquellas personas que brindaron palabras de aliento.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 GENERALIDADES.....	2
2.2 CRECIMIENTO Y DESARROLLO.....	2
2.3 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	3
2.4 INCIDENCIA DE FACTORES AMBIENTALES, EDÁFICOS Y DENSIDAD DE PLANTACIÓN EN LA FLORACIÓN, CUAJADO, CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE FRUTOS.....	4
2.4.1 <u>Factores ambientales</u>	5
2.4.1.1 Temperatura y radiación.....	5
2.4.1.2 Humedad del aire.....	6
2.4.2 <u>Factores edáficos</u>	6
2.4.3 <u>Densidad de plantación</u>	7
2.5 PARTICIÓN DE MATERIA SECA.....	9
2.5.1 <u>Maduración de frutos</u>	11
2.5.2 <u>Materia seca y composición del fruto</u>	13
2.6 CALIDAD DE FRUTO.....	13
2.6.1 <u>Firmeza</u>	14
2.6.2 <u>Sólidos solubles</u>	14
2.6.3 <u>Acidez y PH</u>	15
2.7 CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVAR LOICA.....	16
2.7.1 <u>Antecedentes</u>	16
2.7.2 <u>Ficha técnica</u>	17
2.7.2.1 Crecimiento vegetativo y ciclo productivo.....	17
2.7.2.2 Tipo de fruto y aptitud industrial.....	17
2.7.3 <u>Evolución del crecimiento de la planta de tomate</u>	18
2.7.4 <u>Manejo del cultivo</u>	19
2.7.4.1 Densidad de plantación.....	19
2.7.4.2 Fechas de trasplante.....	20
2.7.4.3 Manejo del suelo y cultivo.....	20
2.7.4.4 Fertilización.....	20
2.7.5 <u>Comportamiento productivo</u>	21
2.8 RESPUESTA FRENTE A DIFERENTES DOSIS DE RIEGO.....	21

2.8.1	<u>Método de riego localizado</u>	22
2.8.1.1	Factores a tener en cuenta para realizar un correcto manejo del riego localizado.....	22
2.8.2	<u>Necesidades de agua del cultivo</u>	23
2.8.3	<u>Estimación del contenido de humedad en el suelo</u>	24
2.8.4	<u>Potencial de agua en el suelo</u>	26
2.8.5	<u>Distribución del agua en el suelo</u>	27
2.8.6	<u>Influencia de los niveles agua aplicada</u>	31
2.8.7	<u>Respuesta al riego en el Cultivar Loica</u>	31
2.8.8	<u>Eficiencia</u>	32
2.8.9	<u>Comentarios finales</u>	32
3.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	33
3.1	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	33
3.2	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	33
3.2.1	<u>Diseño experimental</u>	33
3.2.2	<u>Análisis estadístico</u>	34
3.3	SUELO.....	35
3.3.1	<u>Características físico-químicas del suelo</u>	35
3.4	SITUACIÓN AGROCLIMÁTICA.....	35
3.5	MANEJO DEL CULTIVO.....	36
3.5.1	<u>Almácigo</u>	36
3.5.2	<u>Historia de la chacra y laboreo de suelo</u>	36
3.5.3	<u>Trasplante</u>	36
3.5.4	<u>Sistema de conducción</u>	36
3.5.5	<u>Control de malezas</u>	37
3.5.6	<u>Fertilización</u>	37
3.5.7	<u>Control sanitario</u>	37
3.6	RIEGO.....	38
3.6.1	<u>Métodos de cálculo de las necesidades de riego a lo largo del ciclo</u>	38
3.6.2	<u>Contenido de agua en el suelo</u>	39
3.6.3	<u>Evaluación del contenido de agua en el suelo</u>	40
3.7	VARIABLES EVALUADAS DEL CULTIVO.....	41
3.7.1	<u>Evaluación del crecimiento y desarrollo</u>	41
3.7.2	<u>Evaluación del N° de racimos, floración y cuajado de frutos</u> ..	41
3.7.3	<u>Evaluación en cosecha</u>	42
3.8	PROBLEMAS OPERATIVOS.....	42
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	43
4.1	VARIABLES AGROCLIMATICAS.....	43
4.1.1	<u>Temperatura y radiación</u>	43
4.1.2	<u>Humedad relativa</u>	44

4.1.2 <u>Precipitaciones y Evapotranspiración</u>	45
4.2 <u>CARACTERIZACION Y ANALISIS DEL SUELO</u>	47
4.3 <u>EVOLUCION DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO</u>	48
4.3.1 <u>Balace entre demanda estimada y aporte de agua</u>	48
4.3.2 <u>Evolución de la tensión de agua en el suelo</u>	50
4.3.3 <u>Evolución del contenido de agua en el suelo expresado en % de Humedad en Volumen (HV%)</u>	51
4.3.4 <u>Calibración de la sonda de neutrones a 20 y 50 cm de profundidad</u>	55
4.3.5 <u>Evaluación de los métodos, utilizados para monitorear el contenido de agua en el suelo</u>	56
4.4 <u>DESARROLLO Y CRECIMIENTO VEGETATIVO</u>	57
4.4.1 <u>Evolución del área foliar e índice de área foliar</u>	57
4.5 <u>CRECIMIENTO Y DESARROLLO REPRODUCTIVO</u>	58
4.5.1 <u>Racimos</u>	58
4.5.2 <u>Floración</u>	59
4.5.3 <u>Cuajado de frutos</u>	61
4.6 <u>RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO</u>	62
4.6.1 <u>Fruto comercial</u>	62
4.6.2 <u>Frutos de descarte</u>	63
4.6.3 <u>Peso medio de frutos</u>	63
4.6.4 <u>Número de frutos por planta</u>	65
4.6.5 <u>Número de frutos por m²</u>	67
4.6.6 <u>Componentes del rendimiento</u>	68
4.6.7 <u>Evolución del porcentaje de materia seca en frutos</u>	69
4.7 <u>EXPLORACIÓN RADICULAR</u>	70
4.8 <u>EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA</u>	71
4.9 <u>COMENTARIOS FINALES</u>	72
5. <u>CONCLUSIONES</u>	73
6. <u>RESUMEN</u>	74
7. <u>SUMMARY</u>	75
8. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	76
9. <u>ANEXOS</u>	82

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°	Página
1 – Análisis de suelo.....	35
2 – Características físicas y parámetros hídricos del perfil del suelo del ensayo.....	48
3 – Demanda estimada, aportes y balance de agua en todo el ciclo del cultivo desde trasplante a fin de cosecha según tratamientos.....	49
4 – Análisis de la varianza de HV%, a 20 cm de profundidad en diferentes fechas de observación según tratamientos.....	52
5 – Análisis de la varianza de HV%, a 50 cm de profundidad en diferentes fechas de observación según tratamientos.....	54
6 – Tamaño inicial promedio de cinco plantas al momento del trasplante.....	57
7 – Respuesta en el tamaño de las plantas a los 21 días post-trasplante según tratamientos.....	57
8 – Respuesta en el tamaño de las plantas a los 74 días post-trasplante (inicio de cosecha) según tratamientos.....	58
9 – Análisis de la varianza del número de racimos promedio por planta para diferentes fechas según tratamientos.....	59
10 – Análisis de la varianza del número promedio de flores abiertas por planta en diferente fechas según tratamientos.....	60
11 – Análisis de la varianza del número promedio de frutos cuajados por planta en diferente fechas según tratamientos.....	61
12 - Rendimientos total, comercial y materia seca comercial por ha y por planta según tratamientos.....	62
13 – Frutos de descarte, frutos con podredumbres apical, frutos podridos y quemados por él sol, expresados en kg ha ⁻¹ y kg planta ⁻¹ (en base fresca) según tratamientos.....	63
14 – Rendimiento comercial, descartes y composición de descarte, en valores relativos respecto al rendimiento total, según tratamientos.....	63
15 – Número de frutos cosechados por planta, número de frutos comerciales, número de frutos con podredumbres apical, número de frutos podridos y quemados por él sol, expresados por planta con sus correspondientes valores relativos respecto al número de frutos total planta ⁻¹ según tratamientos.....	65
16 – Número de racimos, N° frutos total racimo ⁻¹ y N° frutos comercial racimo ⁻¹ expresados en promedios por planta según tratamientos.....	67
17 – Número de frutos cosechados por m ² para las diferentes categorías evaluadas según tratamientos.....	68

FIGURA N°

Página

1 – Modelo Cualitativo de la formación del rendimiento de un cultivo anual.....	3
2 – Factores involucrados en la formación del rendimiento.....	4
3 - Efecto de la intensidad de luz (1000, 750, 500 y 250 luxes/pie ²) y la temperatura media (15 y 25°C) en el tiempo desde emergencia a inicio del primer racimo y en el número de hojas iniciadas antes del primer racimo en plantas de tomate.....	6
4 -Evolución del área foliar por planta y del número de hojas en tomate industria.....	7
5 - Evolución del número de frutos cuajados por planta en tomate industria según 3 densidades de plantación.....	8
6 - Efecto de la concentración de azúcares reductores (afectado por la densidad de plantación) en el porcentaje de cuajado en tomate.....	9
7 - Producción acumulada de materia seca de hojas, tallos, frutos y total en función del día del año para un cultivo de tomate trasplantado el 25 de enero en invernáculo en Holanda.....	10
8 - Grados de madurez del tomate (de izquierda a derecha): 1, Verde maduro; 2, Inicio de color; 3, Pintón; 4, Rosado; 5, Rojo pálido y 6, Rojo.....	12
9 - Sólidos solubles totales promedio (°Brix) para los diferentes años de ensayo en la Estación Experimental Las Brujas.....	15
10 – Fotografía de plantas de tomate en producción “Cultivar Loica”, efectuada durante el experimento.....	17
11 - Evolución del número de frutos cuajados, n° de flores abiertas y área foliar por planta en tomate industria.....	18
12 - Evolución del crecimiento de la planta de tomate en Uruguay.....	19
13 – Esquema de los componentes a tener en cuenta para realizar un correcto diseño del riego por goteo.....	23
14 - El bulbo húmedo en función de diferentes tipos de suelos.....	27
15 - El bulbo húmedo en función del caudal del emisor y del tiempo de riego para dos tipos de suelos.....	28
16 - El bulbo húmedo con igual caudal del emisor y diferente tiempo de riego para un suelo con horizonte Bt.....	29
17 - Relación entre el consumo de agua disponible y el potencial de agua en el suelo.....	30
18 – Evolución del kc utilizado durante el ciclo del cultivo.....	38
19 – Evolución de las temperaturas medias mensuales históricas (°C) para el período 1971-2000 y temperaturas medias mensuales (°C), máximas mensuales (°C) y mínimas mensuales (°C) para el periodo de cultivo 2007-2008.....	43
20 – Evolución de la temperatura media por década (°C) y de la radiación media por década (MJ m ⁻²) durante el ciclo del cultivo.....	44

21 – Evolución de la Humedad relativa media mensual histórica (%) para el período 1971-2000 y de la humedad relativa media mensual (%), máxima mensual (%) y mínima mensual (%) para el periodo de cultivo 2007-2008.....	45
22 – Comparación entre datos históricos promedios de precipitaciones (mm mes ⁻¹) y las registradas durante el período 2007-2008.....	46
23 – Evolución de la ETc (mm d ⁻¹) estimada y las precipitaciones (mm) registradas con el pluviómetro durante el ciclo del cultivo según día de observación.....	47
24 - Déficit acumulado de agua, desde trasplante hasta fin de cosecha según tratamientos.....	50
25 – Contenido de agua en el suelo medido con tensiómetros, ubicados a 25 cm de profundidad en los 3 tratamientos evaluados y a 50 cm de profundidad en el tratamiento 100% según día de observación.....	51
26 – Contenido de agua en el suelo expresado en porcentaje en volumen (HV%), medido con sonda de neutrones a 20 cm de profundidad en diferentes momentos de observación según tratamientos.....	52
27 – Contenido de agua en el suelo expresado en porcentaje en volumen (HV%), medido con sonda de neutrones a 50 cm de profundidad en diferentes momentos de observación según tratamientos.....	53
28 – Recta de calibración a 20 cm de profundidad.....	55
29 – Recta de calibración a 50 cm de profundidad.....	56
30 – Evolución del número promedio de racimos por planta según tratamientos.....	59
31 – Evolución del número promedio de flores abiertas por planta según tratamientos.....	60
32 – Evolución del número promedio de frutos cuajados por planta según tratamientos.....	61
33 – Evolución del peso medio de fruto comercial (kg) según fecha de cosecha por tratamiento.....	64
34 - Número de frutos comercial, promedio por planta según fecha de cosecha por tratamiento.....	66
35 – Análisis estadístico entre tratamientos para los componentes del rendimiento.....	69
36 - Promedio de materia seca (%) de fruto comercial según fecha de cosecha por tratamiento.....	70
37 – Exploración radicular en el tratamiento seco.....	82
38 – Exploración radicular en el tratamiento 50% de ETc.....	83
39 – Exploración radicular en el tratamiento 100% de ETc.....	84
40 – Efecto de las láminas de riego (mm) sobre el rendimiento total y comercial de frutos.....	74
41 – Efecto de las láminas de riego (mm) sobre el rendimiento comercial de Materia seca.....	85

Tabla N°

Página

1 – Partición de la materia seca a los frutos, hojas y tallos en porcentaje para Loica y H9780.....	11
2 – Eficiencia de las hojas a distintas densidades (kg fruto m ⁻² de hoja).....	11
3 - Valores orientativos de la composición del fruto de tomate maduro según % en el peso fresco.....	13
4 – Esquema de ubicación de las parcelas en el experimento.....	34
5 – Densidad de cosecha según parcela.....	42

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El tomate en fresco se puede encontrar en todas las épocas del año; sin embargo, su condición de cultivo “de verano” hace que se presenten oscilaciones en la calidad y sobre todo, en el precio, porque fuera de temporada debe ser producido bajo abrigo o bajo invernadero. Estas oscilaciones a lo largo del año facilitaron el desarrollo de los mercados de conservas (Nuez, 1995). La producción de tomate industria en el Uruguay se concentra principalmente en la zona sur, en las áreas rurales de los departamentos de Montevideo y Canelones. Se caracteriza por ser realizada por productores familiares, con poca superficie cultivada y bajo diferentes modalidades de comercialización. Según datos divulgados por DIEA (Uruguay, 2008), para la zafra 2006/2007 en la zona sur habían 667 productores que realizaban el cultivo de tomate perita, dedicando una superficie de 483 hectáreas. La producción ascendió a 10612 toneladas, siendo el rendimiento promedio de 22 toneladas ha⁻¹. Según el programa de evaluación de cultivares de tomate para industria, realizado por INIA Las Brujas, existen materiales que presentan diferencias en cuanto a su ciclo productivo, concentración de la cosecha y su aptitud industrial, adaptándose por estas características a distintos manejos agronómicos (producción familiar y producción empresarial) y procesos industriales (González *et al.*, 2007). La producción actual es menor a la demanda, por lo tanto es necesario importar para abastecer el consumo. Por tal motivo es que el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, a través de DIGEGRA, lleva adelante el plan tomate. El objetivo de este plan es abastecer la demanda que tiene el país con producción nacional, para lograrlo, es que se está apoyando económica y técnicamente a los productores, con el fin de mejorar su productividad (Uruguay, 2009). Por otro lado debido al bajo rendimiento que se obtiene, es que se han desarrollado líneas de investigación, las cuales buscan levantar las restricciones en la producción (González, 2005). Una de las restricciones más importantes del rendimiento de este cultivo es la disponibilidad de agua manejada a través del riego localizado (Berrueta, 2008). La producción está ubicada en una región que presenta poca cantidad de agua subterráneas y escasas reservas de agua superficial por tal motivo el uso eficiente de la misma es de extrema importancia.

Este trabajo tiene por objetivo, aportar información que permita estimar con mayor exactitud, los requerimientos hídricos del cultivo en tomate para industria “cultivar Loica”, mediante la evaluación del efecto de la disponibilidad de agua en el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de frutos, en función de niveles crecientes de riego.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES

El tomate (*Lycopersicon esculentum*) es una planta dicotiledónea, autógama, perteneciente a la familia de las solanáceas. El centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina, área donde crecen espontáneamente diversas especies del mismo. Es una especie que se cultiva como anual, de porte arbustivo, que puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta, o erecta (Nuez, 1995). Este cultivo se distribuye en todo el mundo, siendo las temperaturas más aptas para su crecimiento como su producción, aquellas que están en el entorno de los 20 a 25°C. Es una especie, sensible a las heladas y bajas temperaturas. Por debajo de 13°C el cuajado de los frutos es deficiente y con temperaturas menores a 10°C no hay crecimiento. Para el tomate industria se utilizan variedades determinadas, una a dos hojas por racimo, con tendencia a la ramificación lateral desde las axilas de las hojas, baja dominancia apical y una marcada concentración en la cosecha (Aldabe, 2000).

2.2 CRECIMIENTO Y DESARROLLO

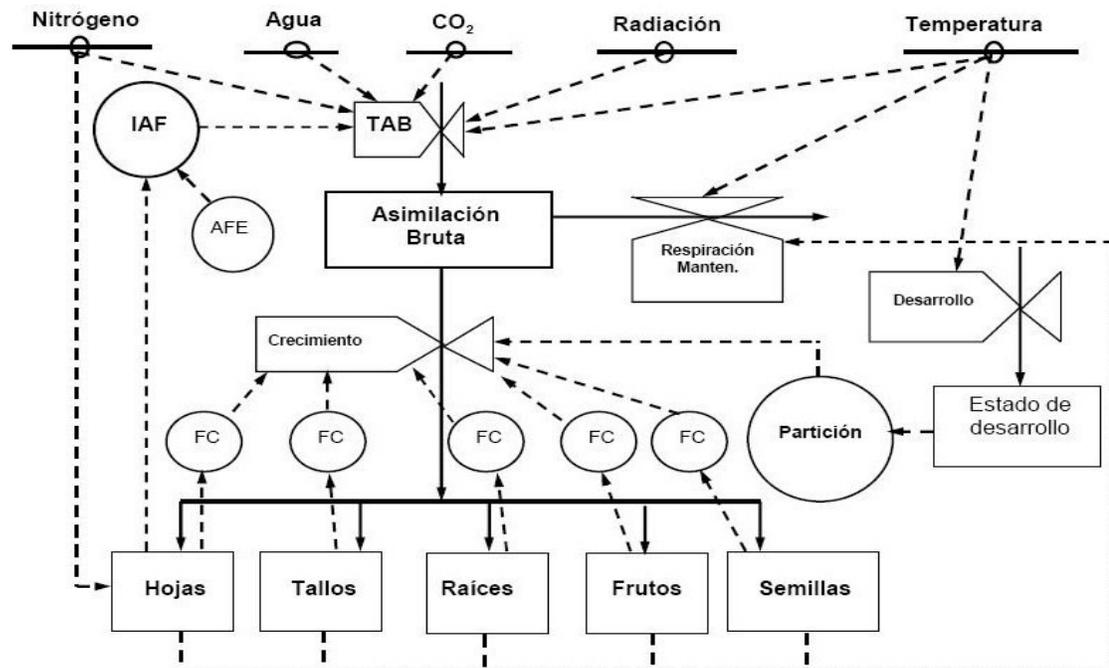
A partir de una semilla comienza el desarrollo de la planta. Esta tiene forma lenticular con unas dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm, está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. La temperatura óptima para la germinación se encuentra entre los 20°C y los 25°C, necesita de concentraciones elevadas de oxígeno y adecuada cantidad de agua. El sistema radical está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias. La raíz puede extenderse superficialmente sobre un diámetro de 1,5 m y alcanzar más de 0,5 m de profundidad. Generalmente, el 70 % de las raíces se localizan a menos de 20 cm de la superficie. El tallo principal forma de 6 a 12 hojas, que crecen lateralmente con una filotaxia de 2 a 5 hojas, antes de que la yema principal se transforme en una inflorescencia. El crecimiento subsiguiente se produce a partir de la yema axilar de la última hoja, la cual desarrolla un tallo secundario que crece como una prolongación del tallo primario y desplaza lateralmente la inflorescencia. Los sucesivos segmentos del tallo se desarrollan de forma similar, produciendo una inflorescencia cada una a cuatro hojas. Los cultivares determinados tienen un crecimiento limitado que puede extenderse unos 2 m. El sistema de ramificación lateral experimenta un crecimiento limitado dando a la planta un aspecto arbustivo con simetría circular. La floración y fructificación se produce en un período de tiempo

limitado, lo que provoca la concentración de la producción permitiendo efectuar una recolección mecánica (Nuez, 1995).

2.3 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

Una de las formas de analizar los factores involucrados en el rendimiento, es a través de un Modelo Cualitativo, a continuación en la figura N° 1 se describen los componentes involucrados y sus relaciones.

Figura N° 1 – Modelo Cualitativo de la formación del rendimiento de un cultivo anual.



Fuente: Adaptado de Lovenstein *et al.*; por Dogliotti, 2007.; citado por UdelaR, curso de horticultura, 2007.

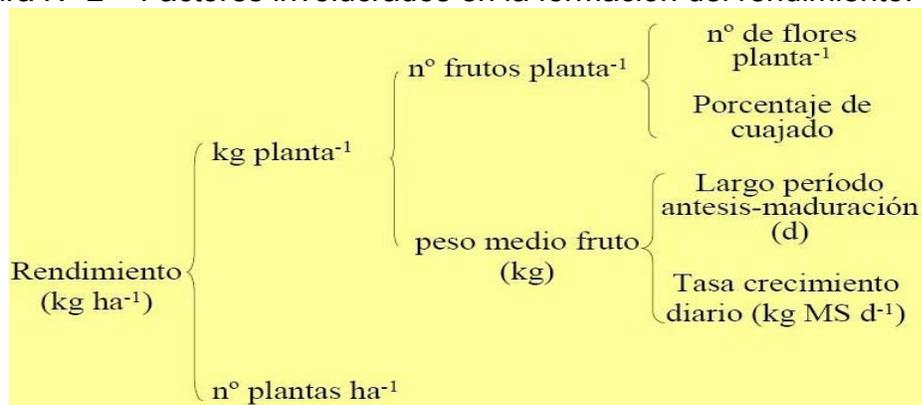
Según se puede ver en el esquema la Asimilación Bruta expresada en $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$, depende de la Tasa fotosintética, expresada en $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, la cual depende de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo y la eficiencia con que se utiliza esa radiación en la fotosíntesis. La radiación interceptada va a depender del Índice de Área Foliar (IAF) y del Área Foliar Específica (AFE). La eficiencia del proceso depende de la temperatura, de la

disponibilidad de agua, de la concentración de CO₂, de los nutrientes disponibles y del estado de desarrollo del follaje. Durante la fijación del CO₂, parte del mismo se pierde producto de la respiración de mantenimiento. El resto del CO₂ es transformado en azúcares simples, estos son medidos a través de la Asimilación Neta, expresada en kg CH₂O ha⁻¹, dichos compuestos son utilizados para el crecimiento y desarrollo de la planta. Tomando en cuenta estos factores el rendimiento potencial del cultivo (**R**), queda definido por la tasa de crecimiento del cultivo en kg ha⁻¹ d⁻¹ (TC), el largo del ciclo del cultivo en días (LC), y el índice de cosecha (IC); el cual se puede expresar a partir de la siguiente ecuación matemática: **R = TC * LC * IC** (UDELAR, curso de horticultura, 2007).

2.4 INCIDENCIA DE FACTORES AMBIENTALES, EDÁFICOS Y DENSIDAD DE PLANTACIÓN EN LA FLORACIÓN, CUAJADO, CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE FRUTOS

Conocer los factores involucrados en la formación del rendimiento, permite incidir en los mismos, para lograr obtener la productividad potencial del cultivo, a través de diferentes medidas de manejo. En la figura N° 2, se detallan los principales factores involucrados y sus relaciones.

Figura N° 2 – Factores involucrados en la formación del rendimiento.



Fuente: UDELAR, curso de horticultura, 2006.

Según se aprecia existen dos componentes principales que definen el rendimiento potencial, por un lado está la densidad, la cual es determinada arbitrariamente por el hombre y por el otro la planta, la cual está expuesta a condiciones climáticas y edáficas. La densidad y el marco de plantación son

componentes muy importantes, debido a que determinan la intercepción de luz por el cultivo. Puede ser modificada en función de los recursos con que se cuente al momento de instalar un cultivo. Con respecto a la producción por planta va a depender de la variedad y de cómo sea su crecimiento y desarrollo, el cual estará influenciado por el ambiente, por ejemplo el aporte hídrico y disponibilidad de nutrientes. Además existen factores propios de la planta, como la edad de las hojas, al envejecer éstas pueden estar afectando negativamente la producción de asimilados, ya que se vuelven ineficientes (UDELAR, curso de horticultura, 2006).

2.4.1 Factores ambientales

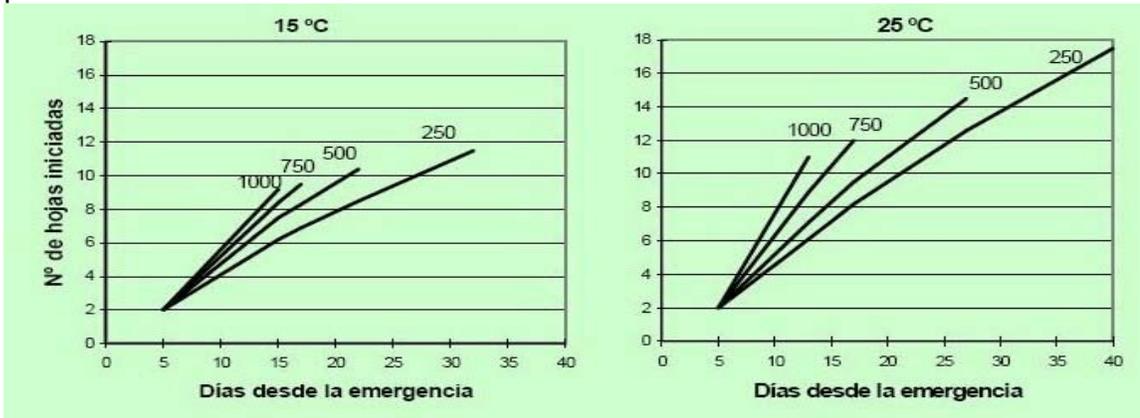
Hay que tener en cuenta que el tomate industria es un cultivo que se realiza a campo, por lo tanto está condicionado por las condiciones climáticas imperantes en la región donde se cultive el mismo, sin posibilidad de modificación de las variables que lo puedan estar afectando.

2.4.1.1 Temperatura y radiación

La temperatura es un factor del ambiente que influye a nivel de la tasa de desarrollo en el cultivo, afecta positivamente el número de hojas iniciadas antes del primer racimo. La figura N° 3, muestra que la temperatura interacciona con la luz en la determinación del número de hojas. En condiciones de alta radiación, la temperatura óptima es 25°C, pero en condiciones de baja radiación es 15°C. Con temperaturas diurnas en dicho entorno 23-25°C y nocturnas entre 13-17°C la floración se ve favorecida, mientras que temperaturas superiores a 25°C y baja intensidad de luz la floración se ve retrasada.

La radiación es otro factor importante en el desarrollo de la planta. Se consideran buenas condiciones para el trasplante cuando la radiación es alta y temperaturas en el entorno de los 22-25°C; en estas condiciones se producen racimos con mayor cantidad de yemas florales, cada racimo tiene más tiempo y mayor disponibilidad de asimilados. Los racimos comienzan a quedar con menos flores cuando aumentamos la temperatura, por encima de 28-30°C. El aborto de frutos es muy raro, salvo por problemas sanitarios o nutricionales, en tanto que temperaturas más altas dan frutos más pequeños (UDELAR, Curso de Horticultura, 2006).

Figura N° 3 - Efecto de la intensidad de luz (1000, 750, 500 y 250 luxes pie⁻²) y la temperatura media (15 y 25°C) en el tiempo desde emergencia a inicio del primer racimo y en el número de hojas iniciadas antes del primer racimo en plantas de tomate.



Fuente: Calvert, 1959, citado por UDELAR, curso de horticultura, 2007.

2.4.1.2 Humedad del aire

Valores óptimos de humedad relativa están en el entorno de 70 al 80%, valores por encima de 90% pueden traer aparejado problemas sanitarios, causando enfermedades como botrytis. Cuando se dan condiciones de baja humedad relativa, la evapotranspiración aumenta, siendo crítica la fase de fructificación, momento en el cual la actividad radicular es menor; este estrés hídrico provoca un cierre estomático y por ende una reducción de fotoasimilados. Valores extremos pueden reducir el cuajado, la viabilidad del polen, la absorción de agua y nutrientes, además de generar déficit como el calcio, induciendo a desórdenes fisiológicos, conocidos como podredumbre apical (Nuez, 1995). No todas las flores que se forman dan frutos cuajados. El aborto de flores es influenciado por condiciones no favorables durante la polinización, cuando la humedad es elevada, a los granos de polen se les dificulta realizar la fecundación (UDELAR, curso de horticultura, 2006). Según Bakker (1990), citado por Nuez (1995), la cosecha de tomate está correlacionada con la humedad relativa media en 24 horas, y que valores elevados reducen la cosecha, por lo tanto afectan el rendimiento.

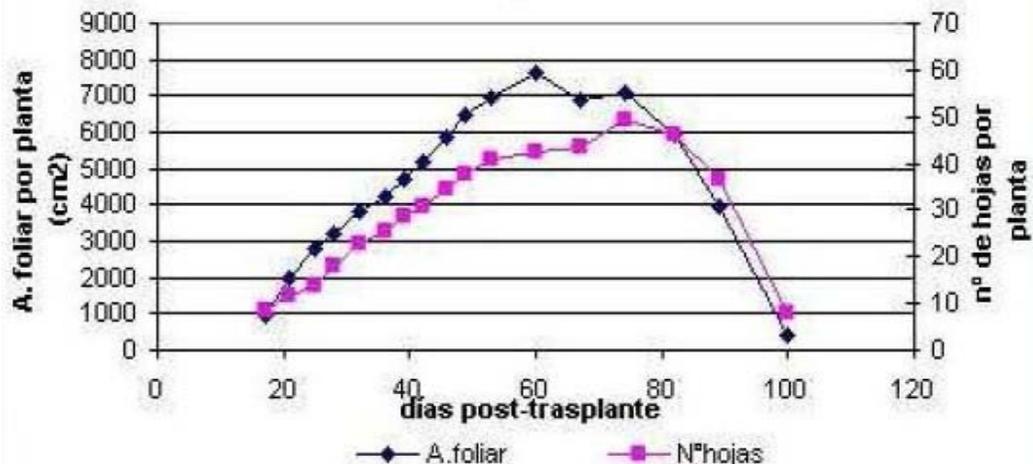
2.4.2 Factores edáficos

No es exigente en cuanto a suelos, aunque prefiere los suelos sueltos y ricos en materia orgánica. Sí es muy importante, como en todas las hortalizas, que el drenaje sea bueno, es decir, que no se encharque durante largo tiempo. Lo más destacable en cuanto al suelo es que se trata de una especie con cierta tolerancia a la salinidad. De ahí que admita el cultivo en suelos ligeramente salinos o el riego con agua algo salitrosa (SEA, 2009).

2.4.3 Densidad de plantación

Según Heuvekink *et al.*, 1996, aumentar la densidad, provoca una disminución en el área foliar, lo cual determina un menor número de inflorescencias, menor número de flores por inflorescencia, provocando un menor porcentaje de cuajado, dando menor cantidad de frutos por planta.

Figura N° 4 -Evolución del área foliar por planta y del número de hojas en tomate industria.



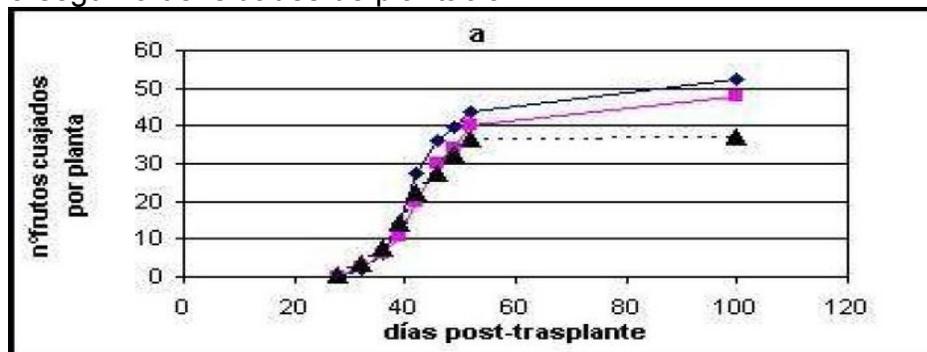
Fuente: Núñez y Palotti, 2004.

Experimentos realizados a nivel nacional, han confirmado que aumentos en la densidad de plantación, incrementaron el IAF y Duración del Área Foliar (DAF) del cultivo, pero el área foliar por planta disminuyó. No se afectó el número de hojas por planta y la altura de las mismas, pero sí disminuyó el tamaño de hojas, disminuyendo la relación Fuente/Fosa. Según se observa en la figura N° 4, el área foliar máxima se alcanza aproximadamente a los 50 días post-trasplante, mientras que el número de hojas lo hace un par de semanas después; esto se debe a que a lo largo del ciclo el tamaño de las hojas va

disminuyendo debido a la competencia por asimilados por parte de los frutos y de un creciente número de puntos de crecimiento vegetativo. Luego de los 52-60 días post-trasplante el IAF comienza a disminuir debido a que las hojas viejas y más grandes comienzan a senescer, el área no puede ser reemplazada por las hojas nuevas debido a que si bien son muchas tienen menor tamaño. En tanto el número de días desde el trasplante a inicio de floración no se ve afectado por la densidad (Núñez y Palotti, 2004).

Con respecto al número de frutos cuajados encontraron que a densidades mayores, estos disminuyen (ver figura N° 5) pero no se ve afectado el peso medio por fruto (Núñez y Palotti, 2004).

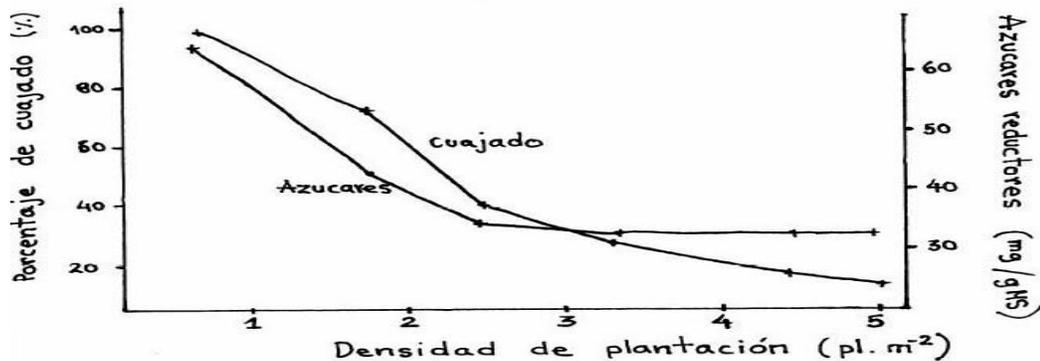
Figura N° 5 - Evolución del número de frutos cuajados por planta en tomate industria según 3 densidades de plantación.



Distancia de plantación —◆— 24 cm —■— 20 cm —▲— 15 cm
Fuente: Núñez y Palotti, 2004.

Cuando la densidad de plantación se analiza desde una perspectiva de eficiencia productiva se constata que ésta afecta la partición de asimilados a los órganos de la planta (ver tabla N° 2, página 11), a mayor número de plantas por metro cuadrado menor es el número de frutos cuajado, producto de una baja relación fuente/fosa, hay un incremento en el número de puntos de crecimiento vegetativo por unidad de área, dándose una mayor fuerza de fosa vegetativa en detrimento de la fuerza de fosa reproductiva (Núñez y Palotti, 2004). En la figura N° 6 se muestra la influencia de la disponibilidad de asimilados (azúcares reductores) en el porcentaje de cuajado.

Figura N° 6 - Efecto de la concentración de azúcares reductores (afectado por la densidad de plantación) en el porcentaje de cuajado en tomate.



Fuente: UDELAR, curso de horticultura, 2006.

2.5 PARTICIÓN DE MATERIA SECA

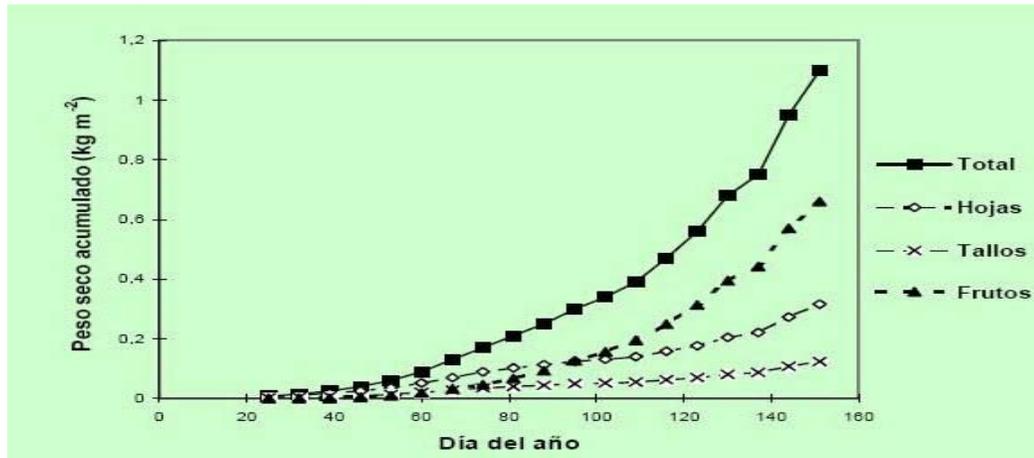
La partición depende de la relación entre las fuerzas de fosa de los distintos órganos. En condiciones de crecimiento limitado por la fuente, cada órgano recibirá asimilados en forma proporcional a su fuerza de fosa. Fosa es aquel órgano que es neto importador de asimilados, en tanto la fuerza de fosa es la habilidad competitiva o capacidad potencial de un órgano de atraer asimilados frente a otros órganos. Fuente es cualquier órgano que es neto productor de asimilados. La relación fuente fosa tiene gran influencia en el cuajado de frutos y es por esta vía indirecta que afecta la partición. No tiene un efecto directo, sino a través de la determinación del número de frutos por planta. La siguiente fórmula es utilizada para estimar la relación Fuente/Fosa = [Asimilación neta / (Fuerza de fosa frutos + Fuerza de fosa vegetativa)]. La asimilación neta depende del balance que se da en la planta y está en función de la asimilación bruta así como de la respiración (Heuvelink, 1996).

Dado que una de las formas de estimar el rendimiento es a partir de la tasa de crecimiento, el largo del ciclo y el índice de cosecha, a mayor tasa de crecimiento y mayor largo del ciclo hay mayor producción de fotoasimilados por ende mayor disponibilidad para los diferentes órganos que componen la planta (UDELAR, curso de horticultura, 2006).

Según estudios realizados en pimiento dulce y tomate, encontraron que a mayor asimilación de fotoasimilados de la oferta disponible, dio lugar a un

aumento de peso seco de las partes vegetativas de hasta 82%, mientras que la tasa de aparición de hojas fue apenas afectada, con una disminución del área foliar específica (Heuvelink et al.; 1996), entonces ante una gran oferta, durante la etapa generativa ha tenido poco efecto sobre la tasa de aparición de hojas, mientras que el tamaño de las mismas sí se ve afectada. Según se observa en la figura N° 7, el peso seco de frutos es el componente que más aporta a la producción acumulada de materia seca en el ciclo del cultivo. La baja disponibilidad de asimilados reduce el número de frutos nuevos a través de caídas de flores y aborto de frutos (Heuvelink, 1996).

Figura N° 7 - Producción acumulada de materia seca de hojas, tallos, frutos y total en función del día del año para un cultivo de tomate trasplantado el 25 de enero en invernáculo en Holanda.



Fuente: Heuvelink, E., 1996, citado por UdelaR, Facultad de Agronomía, 2007.

Resultados presentados por Heuvelink, *et al.*, 1996, muestran que al reducirse el número de frutos por racimo se incrementa la participación de asimilados hacia la parte vegetativa. La reducción en el número de frutos de 7 a 1, provocó un aumento en el peso seco vegetativo de 62 a 67%. Según estudios realizados por Núñez y Palotti (2004), la participación de materia seca a frutos estuvo en el entorno del 50%, del total en la planta (ver tabla N° 1). Loica cuando se compara con H9780, presentó mayor índice de cosecha, menor participación de materia seca a hojas y similar participación a los tallos.

Tabla N° 1 – Partición de la materia seca a los frutos, hojas y tallos en porcentaje para Loica y H9780.

Partición de materia seca (%)	Loica (%)	Heinz 9780
A frutos	52,5 a*	49,5 b*
A hojas	29,8 b	32,9 a
A tallos	17,7 a	17,6 a
TOTAL	100	100

En una misma fila valores seguidos por diferente letra con y sin asterisco, difieren significativamente al 5 y 1% respectivamente.

Fuente: Núñez y Palotti, 2004.

La mayor partición de asimilados en Loica hacia los frutos, se da por el mayor número de frutos que presenta en comparación con H9780, ejerciendo así una mayor fuerza de fosa. Si se tiene en cuenta la producción por metro cuadrado (kg de peso fresco) y el DAF (expresado como IAF en función del tiempo) se observó una tendencia a disminuir la eficiencia de las hojas a medida que aumenta la densidad, a continuación se muestra en la siguiente tabla N° 2, la eficiencia de las hojas según densidad.

Tabla N° 2 – Eficiencia de las hojas a distintas densidades (kg de fruto m⁻² de hoja).

Densidad (plantas ha ⁻¹)	27777	33333	44444
Loica	0,068	0,066	0,050
H9780	0,064	0,053	0,049

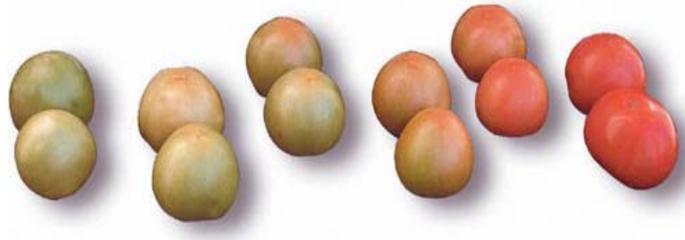
Fuente: Núñez y Palotti, 2004.

2.5.1 Maduración de frutos

El grado de madurez es el índice más usado para la cosecha de frutos pero debe diferenciarse la madurez fisiológica de la madurez comercial. La primera

es aquella que se alcanza luego que se ha completado el desarrollo mientras que la segunda se refiere al estado en el cual es requerido por el mercado. Cada fruto presenta uno o más signos inequívocos cuando ha alcanzado la madurez fisiológica, entre ellos se pueden mencionar el cambio de color y tamaño final. La sobre madurez es el estado que sigue a la madurez comercial y la preferencia por parte de los consumidores disminuye, fundamentalmente porque el fruto se ablanda y pierde parte del sabor y aroma característicos. Sin embargo, es el punto adecuado para la elaboración de dulces o salsas. La madurez comercial puede coincidir o no con la madurez fisiológica. Los frutos climatéricos, como el tomate, son capaces de generar etileno, la hormona necesaria para que el proceso de maduración continúe, aún separado de la planta. Además de ser autónomos desde el punto de vista madurativo, en este tipo de frutos los cambios en el sabor, aroma, color y textura están asociados, a un transitorio pico respiratorio, y vinculados estrechamente a la producción autocatalítica del etileno. Los frutos alcanzan el color rojo intenso cosechados aún cuando el color verde es predominante (ver figura N° 8), por ser climatérico, el tomate alcanza el grado 6 aún cuando sea cosechado en el grado 1 (Camelo, 2003).

Figura N° 8 - Grados de madurez del tomate (de izquierda a derecha): 1, Verde maduro; 2, Inicio de color; 3, Pintón; 4, Rosado; 5, Rojo pálido y 6, Rojo.



Fuente: Camelo, 2003.

Como regla general, cuanto más avanzada es la madurez menor es la vida postcosecha, por lo que para mercados distantes los frutos climatéricos deben ser cosechados lo más inmaduros posible, pero siempre luego de que han alcanzado la madurez fisiológica. El cambio de color es el síntoma externo más evidente de la maduración y se debe, en primera instancia, a la degradación de la clorofila (desaparición del color verde) y a la síntesis de los pigmentos específicos de la especie (Camelo, 2003).

El efecto que tiene la temperatura promedio en el tamaño y calidad de fruto es muy importante, a menor temperatura la maduración se realiza más lentamente, el rango más adecuado es entre 18°C y 22°C. Cuando el tomate está de color verde maduro ya se considera que está apto para ser cosechado y luego por reacciones bioquímicas culmina su maduración. El alto contenido de almidón inicial se descompone en azúcares a medida que transcurre el proceso. El licopeno y el beta caroteno son los responsables del cambio de color (UDELAR, curso de horticultura, 2006).

2.5.2 Materia seca y composición del fruto

Según se aprecia en la tabla N° 3, el contenido de materia seca de los frutos es relativamente bajo, aproximadamente 6,5 % del peso fresco.

Tabla N° 3 - Valores orientativos de la composición del fruto de tomate maduro según % en el peso fresco.

Componentes	Peso fresco en %
Materia seca	6,50
Carbohidratos totales	4,70
Grasas	0,15
Nitrógeno proteico	0,40
Azúcares reductores	3,00
Sacarosa	0,10
Sólidos solubles totales (°Brix)	4,50
Acido málico	0,10
Acido cítrico	0,20
Fibra	0,50
Vitamina C	0,02
Potasio	0,25

Fuente: (Nuez, 1995).

El contenido de Carbohidratos totales se encuentra en el entorno de 4,7 %, los Sólidos solubles totales ó °Brix cercanos al 4,5 % y los Azúcares reductores en 3 %. El resto de los componentes están por debajo del 1 %.

2.6 CALIDAD DE FRUTO

En el tomate destinado para procesado, las características de calidad externa, como forma y tamaño son importantes al igual que en el consumo en fresco. Sin embargo, son más importantes otros caracteres relativos a la calidad interna, como acidez, contenido en azúcares y viscosidad de la pulpa. Los índices de calidad industrial son el contenido en sólidos totales y sólidos solubles. Ambos índices están correlacionados; se utiliza normalmente el contenido en sólidos solubles (°Brix) por ser más fácil de determinar, es el índice que más influye sobre el rendimiento en fábrica (Nuez, 1995). A continuación se detallan los componentes a tener en cuenta en la industrialización del tomate.

2.6.1 Firmeza

La enzima poligalacturonasa es uno de los factores que determinan la firmeza, actúa sobre el tomate verde desencadenando el proceso de maduración, que se manifiesta cambiando el color y disminuyendo la firmeza. Otro factor que influye en este parámetro es la cantidad de lóculos que contienen los frutos, aquellos multiloculares aumentan el grado de firmeza, por lo tanto este parámetro está muy influenciado por la variedad a utilizar (UDELAR, curso de horticultura, 2006). Los frutos deben ser consistentes para soportar la recolección mecánica y el transporte a la fábrica sin grietas ni magulladuras. La fuerza específica para aplastamiento del fruto debe ser al menos de 60 – 80 g para cultivares de tipo grande y de 100 – 140 g para los de forma de ciruela (Nuez, 1995).

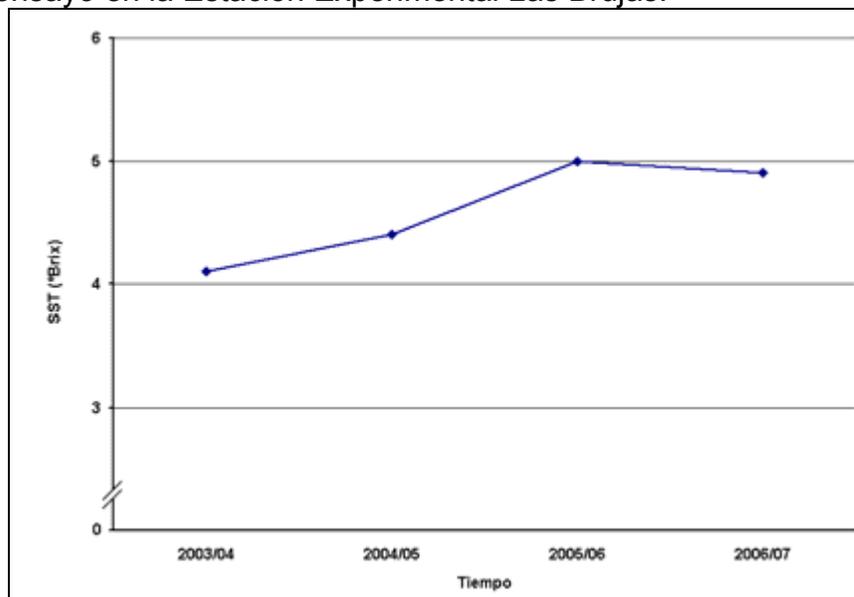
2.6.2 Sólidos solubles

Los azúcares constituyen la mayoría de los sólidos solubles totales con valores aproximados de 65%. Los azúcares libres más abundantes son la glucosa y la fructosa, que se encuentran en proporciones similares. El contenido de azúcares experimenta un brusco ascenso cuando el fruto alcanza un color amarillento y aumenta paulatinamente durante la maduración. El sombreado, el descenso en la duración de la luz y la eliminación de las hojas disminuyen el contenido de azúcares. El efecto de los macronutrientes sobre el contenido de azúcares es pequeño, si bien un exceso de nutrición nitrogenada lo afecta negativamente. Como ya se dijo se estima como °Brix y en la mayor parte de las variedades se sitúa entre 4,5 y 5,5°Brix. Sin embargo el carácter varietal influye poco sobre el contenido en sólidos solubles, y son los factores agroecológicos, especialmente algunas variables climáticas durante el período

de maduración y el riego (volumen total de agua aplicada) son quienes pueden hacer variar los °Brix para frutos de una misma variedad entre 4 y 7 (Nuez, 1995).

En Uruguay a nivel experimental se ha logrado aumentos en los solubles totales promedio (°Brix) para los últimos años según se puede ver en la figura N° 9 (González *et al.*, 2007).

Figura N° 9 - Sólidos solubles totales promedio (°Brix) para los diferentes años de ensayo en la Estación Experimental Las Brujas.



Fuente: González *et al.*, 2007.

A partir de una fórmula estimativa es posible determinar el rendimiento industrial: $\text{Pulpa (toneladas ha}^{-1}\text{)} = [(\text{Producción en toneladas ha}^{-1} \times 0.95) \times \text{°Brix del jugo}] / 28$. Pasar de 5 a 6 °Brix, significa incrementos de un 20% en el rendimiento industrial. Otro parámetro a tener en cuenta es la viscosidad, a mayor nivel, mayor degradación de pectinas ocurren, por ende mayor es la viscosidad de los derivados del tomate, más alto es el nivel de sólidos, lo cual determina una calidad superior (Giordano *et al.*; 2000, citado por Berrueta, 2008).

2.6.3 Acidez y PH

La acidez es importante no sólo por su efecto sobre el sabor del fruto sino, por su efecto en los procesos de industrialización. La acidez máxima durante la maduración coincide con la aparición del color rosado, descendiendo después progresivamente. Está determinada por los ácidos orgánicos, de los cuales predomina el ácido cítrico, seguido del málico. La acidez se concentra fundamentalmente en la cavidad locular y es relativamente baja en el mesocarpo externo. La acidez del tomate, así como la relación entre málico y cítrico, dependen en gran medida de la variedad. El contenido en potasio guarda una relación muy estrecha con la acidez en el tomate, ya que el jugo del tomate se comporta como un tampón constituido por ácidos débiles (cítrico y málico) y bases fuertes (fundamentalmente potasio). La acidez del tomate aumenta con la fertilización nitrogenada en la que los nitratos son más eficaces que la forma amónica y disminuye con el fósforo. La influencia del calcio y el magnesio sobre la acidez del tomate es escasa. El pH se sitúa normalmente entre 4,2 y 4,4, siendo muy raro que se superen estos valores. Si en algún caso el pH es superior se pueden presentar problemas en la esterilización, siendo necesario acidular (Nuez, 1995).

2.7 CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVAR LOICA

Se caracteriza por ser una variedad de polinización abierta que hace muchos años está siendo cultivada en el país, presenta un rendimiento alto, muy buen comportamiento sanitario, ciclo medio, cosecha escalonada, fruta tamaño medio que desprende con pedúnculo, aptitud industrial media (González *et al.*, 2007), ver ilustración en figura N° 10.

2.7.1 Antecedentes

Creada por el INTA, se origina a partir de Roma x Platense, fue introducida al país por la Estación Experimental Las Brujas del CIAAB en la década de 70. Presenta estabilidad productiva bajo diferentes ambientes, debido a su floración dilatado en el tiempo y buen comportamiento sanitario (Izquierdo, *et al.*, 1980 citado por González, 2006).

Figura N° 10 – Fotografía de plantas de tomate en producción “Cultivar Loica”, tomada durante el experimento.



2.7.2 Ficha técnica

2.7.2.1 Crecimiento vegetativo y ciclo productivo

Crecimiento: determinado.

Vigor: alto.

Tamaño de planta: grande.

Hábito de crecimiento: semierecto.

Floración: en dos o tres fases, a partir de 30-35 días pos trasplante.

Ciclo: medio-largo.

Cosecha: a partir de los 90 días pos trasplante, por un periodo de 30 a 45 días.

Fuente: González, 2006.

2.7.2.2 Tipo de fruto y aptitud industrial

Tamaño: 75 gramos.

Forma: pera.

Color del jugo: rojo intenso.

Firmeza: blando.

Desprendimiento de pedúnculo: no

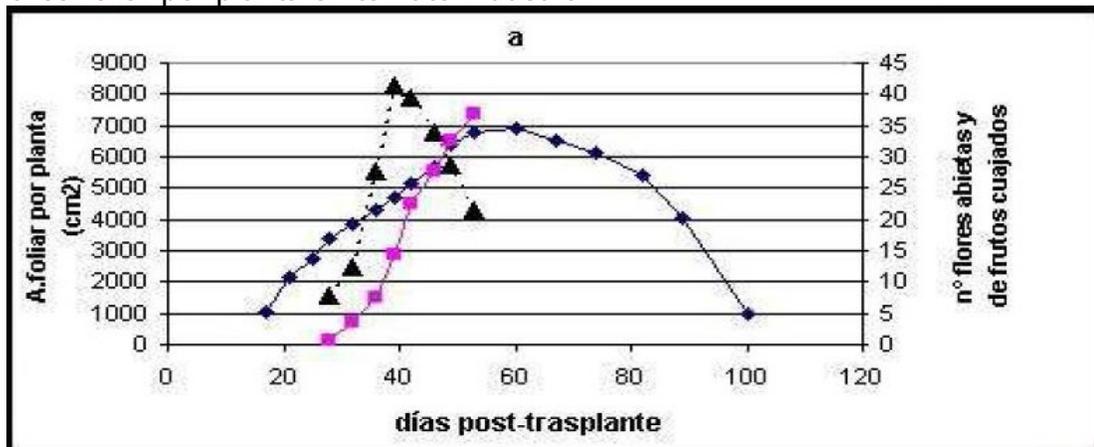
Debido a la cantidad de sólidos solubles media-alta y un color aceptable, la fruta es apta para la elaboración de pulpas concentradas y tomate triturado, producto de un buen grosor de pared en relación al tamaño del fruto.

Fuente: González, 2006.

2.7.3 Evolución del crecimiento de la planta de tomate

Según figura N° 11, se puede ver la evolución en el crecimiento y desarrollo de una planta de tomate.

Figura N° 11 - Evolución del número de frutos cuajados, n° de flores abiertas y área foliar por planta en tomate industria.

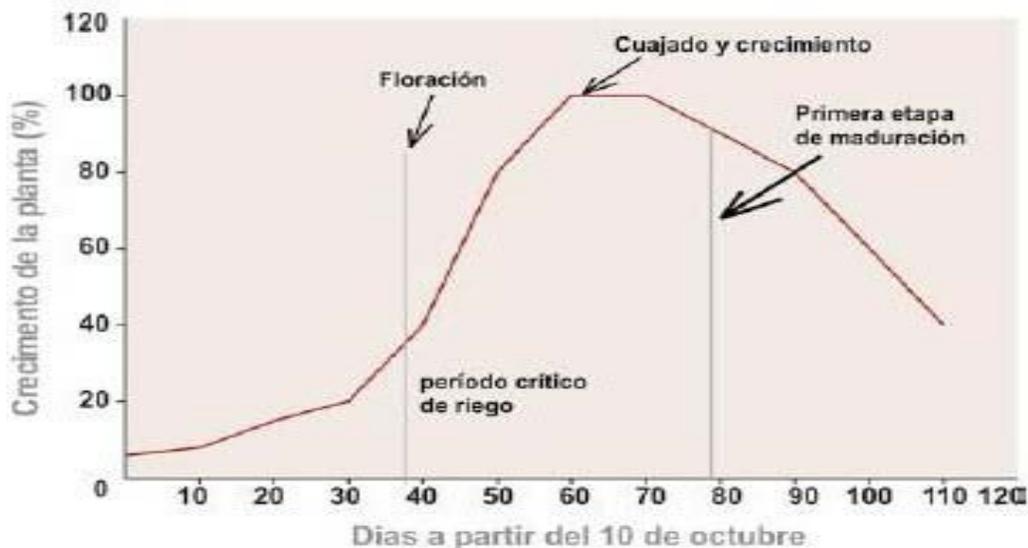


—◆— Área foliar —■— Nº fruto cuajados —▲— Nº de flores abiertas

Fuente: Núñez y Palotti, 2004.

Durante el desarrollo del cultivo se toma en cuenta la curva de crecimiento, de manera de acompañar la absorción de agua que éste realiza, a continuación se presenta en la figura N° 12, la evolución del crecimiento para el sur de nuestro país.

Figura N° 12 - Evolución del crecimiento de la planta de tomate en Uruguay.



Fuente: García, C., *et al.*; 2007.

2.7.4 Manejo del cultivo

Las siembras son variables, pudiendo mencionar la segunda quincena de setiembre como la más probable en la zona sur de Uruguay. Se recomienda en siembras tempranas de principio a mediados de setiembre para Canelones, que es conveniente la protección con nylon en estructura de tipo microtúnel, de esta manera se obtendría un plantín en unos 45-50 días listo para el trasplante. A nivel de almácigo, presenta una gran capacidad para regenerar raíces, tolerancia a enfermedades como Bacteriosis y Peste Negra, además permite un buen trasplante a raíz desnuda (González, 2006).

2.7.4.1 Densidad de plantación

La más adecuada es aquella que deje el mayor rendimiento posible. Con densidades altas se obtiene mayor rendimiento precoz por m² y mayor duración del ciclo del cultivo, a la vez que concentra la cosecha en un corto período. Los inconvenientes están ligados a una producción de frutos de menor calibre y un aumento del riesgo de tener problemas de enfermedades. Las densidades más utilizadas rondan los 30 a 35 cm entre plantas, 70 a 80 cm entre filas, y 1,2 m entre surcos. La distancia de plantación está definida por el cantero, maquinaria

disponible. Densidades de 2,5 plantas por m² son muy utilizadas, cuando se quiere aumentar a dos filas por cantero muchas veces se tiene el problema de que las plantas se caen para el costado. Los resultados obtenidos han demostrado rendimientos en el entorno de 90 toneladas por hectárea de fruto comercial, con un correcto uso del agua aplicada (Palotti y Núñez, 2004). La densidad de plantación cuando están dadas las condiciones para un correcto desarrollo debería ser de 30 a 33 mil plantas efectivas por hectárea. Densidades mayores no aumentarían significativamente el rendimiento y tendrían incidencia negativa en el tamaño de fruta (González, 2006).

2.7.4.2 Fechas de trasplante

El trasplante es llevado a cabo a mediados de noviembre y la cosecha durante todo el mes de febrero (UDELAR, 2007). Por lo general se combina con los ingresos a fábrica y se recomienda fechas tempranas, pero escapando de temperaturas menores a 10°C y heladas tardías. Para la zona de Canelones es recomendado un trasplante a partir de mediados de octubre hasta mediados de diciembre, si los trasplantes se realizan posteriormente a este período se pierde potencial de rendimiento y calidad de fruta (González, 2006).

2.7.4.3 Manejo del suelo y cultivo

No se utiliza métodos de conducción y poda, no se entutoran debido a que presenta hábito de crecimiento semierecto y crecimiento determinado. Tienen la desventaja que en condiciones de clima desfavorables, pueden tener problemas de crecimiento importantes, debido a problemas sanitarios. Por este motivo es que se hace necesario realizar laboreos verticales profundos para lograr una buena exploración radicular y encanterar alto (40-50 cm) con pendientes de 1% a 1,5% para no tener problemas de drenaje por acumulación de agua. Responde muy bien a campos nuevos, con buena estructura de suelo y menor fuente de inóculo de enfermedades, por lo tanto se recomienda el uso de rotaciones con praderas perennes, cultivos de gramíneas anuales y aporte de materia orgánica (González, 2006).

2.7.4.4 Fertilización

Es importante determinar el ciclo del cultivo para poder realizar la fertilización acorde a la demanda. La tasa de suministro de nutrientes debe estar de acuerdo con la tasa de crecimiento que demanda la planta. Para esto se tiene la ventaja del fertirriego que permite fertilizar una vez que el cultivo está instalado. El potasio es necesario fundamentalmente a partir del comienzo del crecimiento del fruto, mientras que el fósforo y el nitrógeno son necesarios durante todo el ciclo. El exceso de nitrógeno provoca un crecimiento excesivo, follaje vigoroso y competencia por calcio. El calcio es requerido mayormente en la etapa vegetativa, dado que forma parte de la estructura vegetal y además es fundamental en estadios iniciales de crecimiento y desarrollo del fruto. El aporte de este nutriente está condicionado por un adecuado contenido hídrico en el suelo, ya que ante un estrés de la planta provocado por la falta de agua no podrá ingresar y translocarse (vía xilema) hasta los frutos. Esto junto con la ocurrencia de noches muy cortas y frías provoca desórdenes fisiológicos como la podredumbre apical. Por lo general no existen problemas importantes de obtener los micro nutrientes necesarios en los suelos del Uruguay, salvo chacras hortícolas con serios problemas de erosión por estar sometidas a muchos años de laboreo sin ninguna práctica de manejo sustentable del recurso suelo (UDELAR, curso de horticultura, 2006).

2.7.5 Comportamiento productivo

La cosecha comienza a partir de los 90 días pos trasplante y se extiende por 30 a 45 días, producto de su floración escalonada. Se ha obtenido a nivel de investigación para las zafra que van del 2004 al 2007, una producción industrializable promedio de 80 toneladas por hectárea y con sólidos solubles totales que en promedio alcanzan valores de 5°Brix (González *et al.*, 2007).

2.8 RESPUESTA FRENTE A DIFERENTES DOSIS DE RIEGO

Para lograr altos rendimientos y estabilidad en la producción es necesario satisfacer la demanda de evapotranspiración máxima de los cultivos. Un correcto manejo del riego, implica acompañar el riego a las necesidades hídricas, variables a lo largo del ciclo del cultivo, de manera de maximizar la relación milímetros de agua aplicada por kilos de producto obtenido. Las necesidades hídricas son afectadas por múltiples factores: dentro de los climáticos tenemos la intensidad de la radiación, temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento; a nivel del suelo la disponibilidad de agua, la cual va a estar relacionado con el tipo de suelo, según sus características edáficas:

arcilloso, limoso, arenoso, como también el sistema de riego a utilizar, según frecuencia y porcentaje de superficie húmeda de suelo alcanzado. También va a estar afectando el tipo de cultivo, el grado de cobertura y la etapa fenológica en que se encuentre (Allen *et al.*, 1998).

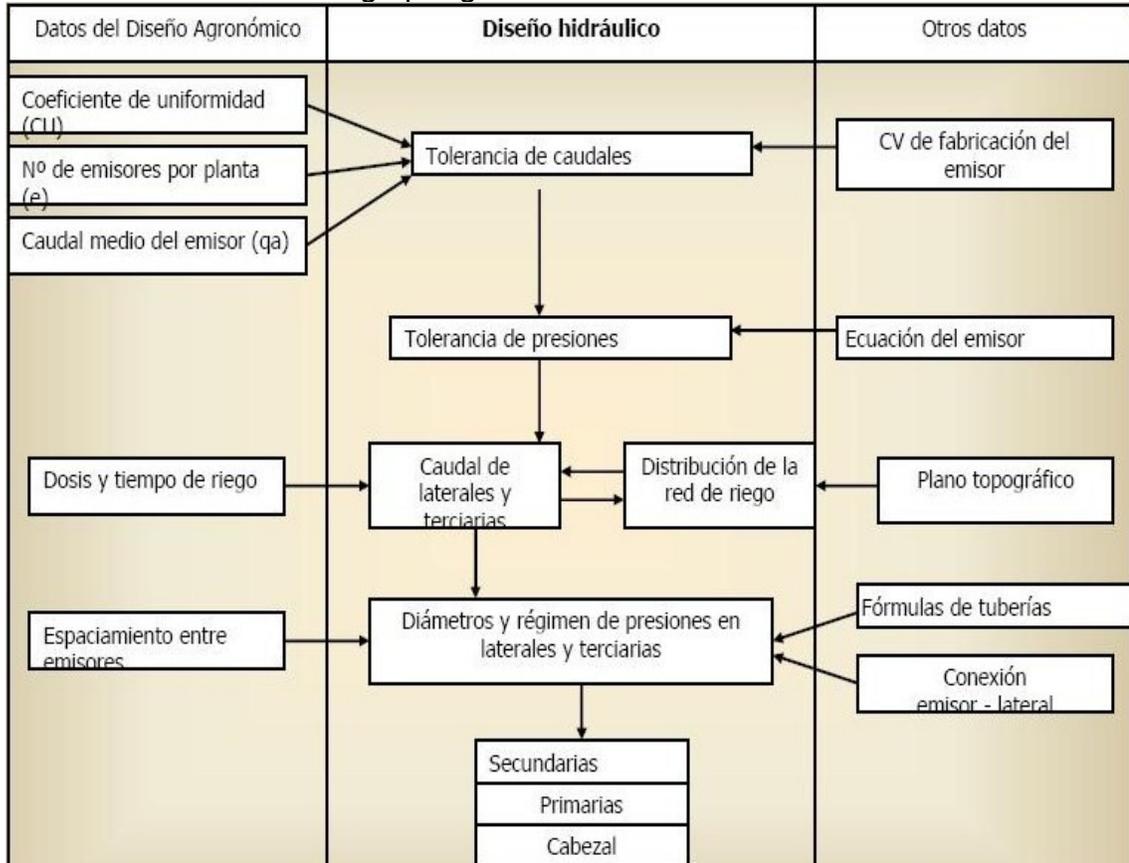
2.8.1 Método de riego localizado

El riego por goteo se caracteriza por la aplicación de dosis con bajo caudal y alta frecuencia. El suelo se mantiene cercano a capacidad de campo. Se apunta a satisfacer las necesidades de la planta y no a la recarga del suelo, por lo tanto no moja todo el sistema radicular que la planta podría explorar. Presenta las siguientes ventajas: menores pérdidas de agua, no entorpece las labores culturales, requiere poca mano de obra, permite el uso de pozos con bajos aforos y aguas salinas, posibilita la automatización, se adapta a todo tipo de suelo y topografías, además permite el uso del fertirriego el cual produce una utilización óptima y económica de los fertilizantes y como los cultivos se desarrollan en condiciones óptimas se da una menor incidencia de enfermedades. Dentro de las desventajas: mayor costo de instalación y obstrucción de emisores (Pizarro, 1990).

2.8.1.1 Factores a tener en cuenta para realizar un correcto manejo del riego localizado

Para poder realizar un correcto diseño del sistema es necesario conocer y comprender los principios del riego por goteo. En la medida que se tomen en cuenta los diferentes factores que componen el sistema se podrá diseñar equipos que funcionen de forma eficiente, para lograr el aporte adecuado de agua que permita apuntar al rendimiento potencial. A continuación se presenta en la figura N° 13 un esquema con los principales componentes a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de riego por goteo correctamente.

Figura N° 13 – Esquema de los componentes a tener en cuenta para realizar un correcto diseño del riego por goteo.



Fuente: Citado por UDELAR, curso de riego y drenaje, 2007.

Como se aprecia en el esquema, se parte del diseño agronómico, en el cual es necesario tener en cuenta los siguientes datos: coeficiente de uniformidad, número de emisores por planta, caudal medio del emisor y coeficiente de fabricación del emisor. A continuación se realiza el diseño hidráulico, a partir de la tolerancia de caudales y presiones que se haya definido previamente. Posteriormente se hacen los cálculos hidráulicos correspondientes a la red de distribución de riego, para los que se tiene en cuenta la topografía, los caudales requeridos y la ubicación de la fuente de agua. Por último se localizan los tramos, cabezal, primarios y secundarios, con sus diámetros correspondientes.

2.8.2 Necesidades de agua del cultivo

La gestión eficiente de los sistemas de riego en general y del riego localizado en particular requiere de estimaciones razonables de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Para la estimación de ETc se multiplica la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) por un coeficiente de cultivo (Kc). $ETc = ETo * Kc$. La evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), se determina a partir de la ecuación Penman-Monteith modificada por FAO. Esta fórmula ha sido utilizada en diferentes experimentos a nivel internacional (Ortega Farías y Cuenca (1996, 1998), Ortega Farías *et al.*, 2000, Scarlato (2009) y Reis *et al.*, 2009). El cultivo de referencia se define como una pastura de 0,12 m de altura en activo crecimiento, sin limitantes de agua, con una resistencia del cultivo 70 s m^{-1} y un albedo de 0,23. El Kc está influenciado por características del cultivo, fechas de plantación, condiciones climáticas y frecuencias de lluvias o de riego en la fase inicial de crecimiento del cultivo. El valor del Kc varía con las distintas fases de desarrollo de los cultivos anuales. El ciclo del cultivo se puede dividir en cuatro fases. La fase inicial, se extiende hasta que el cultivo sombrea el 10% de la superficie del suelo. La fase de rápido desarrollo, finaliza cuando el cultivo sombrea el 70 – 80% de la superficie del suelo. La fase de mediados de período, abarca el período hasta inicios de la maduración. La fase final, se extiende desde maduración a cosecha (Allen *et al.*, 1998).

Según datos obtenidos en experimentos para el lado oeste del Valle de San Joaquín, en California, Estados Unidos, coeficientes de cultivo promedio oscilan entre 0,19 en el 10% de cobertura y 1,08 para la cobertura cercana al 90% (Hanson y May, 2006).

2.8.3 Estimación del contenido de humedad en el suelo

Para analizar el contenido de agua en el suelo es necesario tener presente los siguientes parámetros (UDELAR, curso de riego y drenaje, 2007):

→ **Punto de saturación de agua:** Toda la porosidad del suelo (macroporos y microporos) está saturada con agua, no contiene aire. La tensión es de 0 kPa.

→ **Capacidad de campo:** Contenido de agua que queda en el suelo después de 24 a 72 horas. En estas condiciones los microporos están saturados de agua y los macroporos están llenos de aire. Esto es posible debido a la fuerza de gravedad, que es la encargada de que los macroporos sean drenados. El agua esta retenida a valores de tensión de 10 kPa. Estas condiciones son ideales para el crecimiento radicular de la mayoría de los cultivos.

- **Punto de marchitez permanente:** El agua esta retenida a valores de tensión de 1500 kPa. Es el límite inferior en el cual las plantas pueden utilizar el agua disponible en el suelo. Es el contenido de agua en el cual una planta marchita no recupera su turgencia, aunque después se ponga en atmósfera saturada por 12 horas.
- **Agua disponible:** Diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. El agua esta retenida a valores de tensión entre 10 kPa y 1500 kPa.

Existen diversos métodos para tener un indicador del volumen de agua contenido en un volumen de suelo. El método gravimétrico, es el estándar para determinar el contenido de humedad del suelo. Otro método es utilizar una sonda de neutrones. Para este experimento se utilizó una sonda de neutrones, la misma opera bajo el principio de termalización nuclear. La sonda presenta una fuente radiactiva que emite neutrones, que tienen alta energía y velocidad. Luego de ser emitidos y al chocar con iones hidrógenos pierden energía y velocidad, estos neutrones lentos son contados por un detector en el instrumento y su número es una medida indirecta de la cantidad de agua en el suelo, producto de los iones hidrógeno presentes en la molécula de agua. Como cuenta iones y no moléculas de agua, la sonda debe ser calibrada para cada suelo en que se vaya a utilizar. Establece un radio de influencia que es inversamente proporcional al contenido de agua en el suelo. Así por ejemplo en un suelo de textura promedio el ratio puede variar desde unos 50 cm en un suelo próximo a PMP hasta unos 20 cm en saturación (García, 2002). La exactitud de las medidas realizadas con la sonda de neutrones se apoya en la calibración, que normalmente se obtiene mediante el muestreo de suelo realizado en paralelo, utilizando el método gravimétrico, bajo distintas condiciones de contenido de humedad (Ramos *et al.*, 1985).

En las situaciones donde existe homogeneidad del sitio de observación o se tiene un gran número de puntos de muestreo, la calibración es el componente que mayor contribución realiza a la variación total. Se puede reducir al considerar el tratamiento estadístico de los datos de la sonda de neutrones a través de la curva de calibración. Mientras para casos de mayores niveles de heterogeneidad en el campo, el lugar se convierte en el componente de mayor contribución a las diferencias de valores medios, en tanto la variabilidad puede ser solo disminuida por el aumento en el número de puntos de muestreo (Haverkamp *et al.*, 1984 y Vauclin *et al.*, 1984).

Estudios realizados en la Península Ibérica (Zona de el Barranco del Aljibe), tuvieron por objetivos conocer la magnitud de las distorsiones originadas debido al principio de funcionamiento de la sonda de neutrones, en la determinación de la humedad de los horizontes más superficiales del suelo (capa arable) para, en función de esas variaciones decidir llevar a cabo calibraciones específicas. Para obtener las ecuaciones de calibración, representaron todos los pares de valores humedad del suelo-lectura de la sonda. La ecuación que mejor ajustó fue la lineal. El parámetro R^2 mostró oscilaciones dentro de valores aceptables (valores de R^2 de 0,69 hasta 0,84). Se constató que los valores de R^2 son más bajos en las capas más superficiales del suelo, producto de la heterogeneidad y el bajo contenido de agua en el suelo (el radio de influencia es mayor y la sonda explora puntos de características muy diferentes). Las mediciones de la humedad de la capa 0-10 cm de profundidad presentan parte de la esfera de influencia de la sonda en el aire, por lo que la atenuación de neutrones no responde al mismo patrón definido para los otros horizontes, cuyo frenado de neutrones se ajusta más estrictamente al contenido hídrico del suelo. Por tal motivo es conveniente considerar el horizonte superficial independiente del resto, y realizar para él un proceso de calibración específico (Gutiérrez-Ravé *et al.*, 2003).

En Uruguay la sonda de neutrones, ha sido utilizada en diferentes investigaciones. Se menciona en los siguientes trabajos: Respuesta a diferentes manejos del riego y balance hídrico de un huerto de citrus, presentada como Tesis Doctoral, en Valencia, España (García, 2002); Efecto del riego y el fertirriego en Duraznero Forastero (Morales, 2004); Efecto de diferentes niveles de estrés hídrico en el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de tomate para industria cv. Loica (Scarlato, 2009) y Respuesta del duraznero a diferentes patrones de aplicación de agua (Morales *et al.*, 2010).

2.8.4 Potencial de agua en el suelo

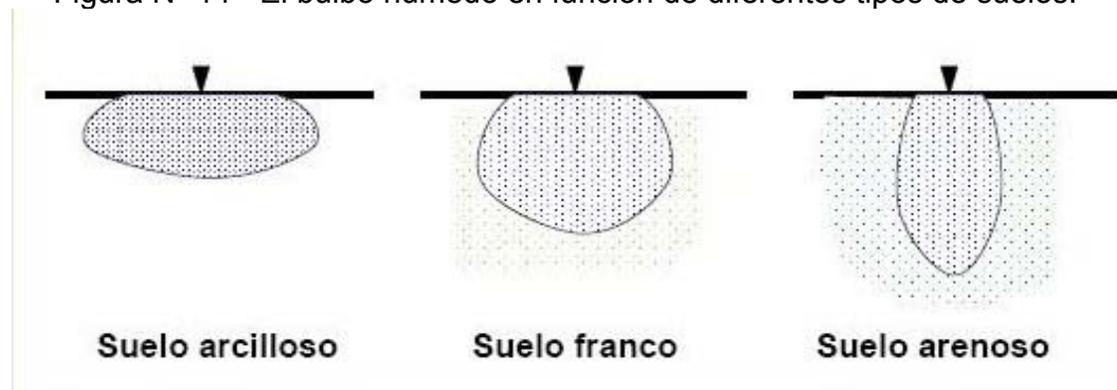
Para estimar el potencial de agua en el suelo existen varios métodos. Los tensiómetros han sido utilizados, por ser instrumentos prácticos y capaces de proveer información confiable sobre el estado hídrico del suelo y los cambios en el tiempo, al momento de operar el riego. Su rango de utilización es de 0 a – 0,08 MPa. Cuando el potencial matricial desciende por debajo de estos valores se forma una burbuja de aire y dejan de ser utilizables (García, 2002).

El tensiómetro es un tubo impermeable al agua. En la parte inferior tiene una cápsula cerámica permeable y en la parte superior un receptáculo por donde se le agrega el agua, además un indicador de vacío que permite realizar las lecturas de presión. Este instrumento permite que la solución del suelo se equilibre con el agua que contiene a través de la cápsula de cerámica permeable. Al disminuir el contenido de agua en el suelo provoca una cierta tensión que extrae el agua del tensiómetro, así el vacuómetro indica el potencial en la condición de equilibrio. Requiere mantenimiento ya que hay que ir rellenando el receptáculo con agua para evitar que se formen burbujas de aire (Martín de Santa Olalla Mañas *et al.*, 2005).

2.8.5 Distribución del agua en el suelo

Existe un patrón de humedecimiento cuando el suelo es mojado, el mismo está influenciado por el tipo de suelo, la estratificación debido a la presencia de diferente porosidad en el perfil, al caudal del emisor y al tiempo de riego (ver figuras N° 14 y N° 15).

Figura N° 14 - El bulbo húmedo en función de diferentes tipos de suelos.



Fuente: Pizarro 1990.

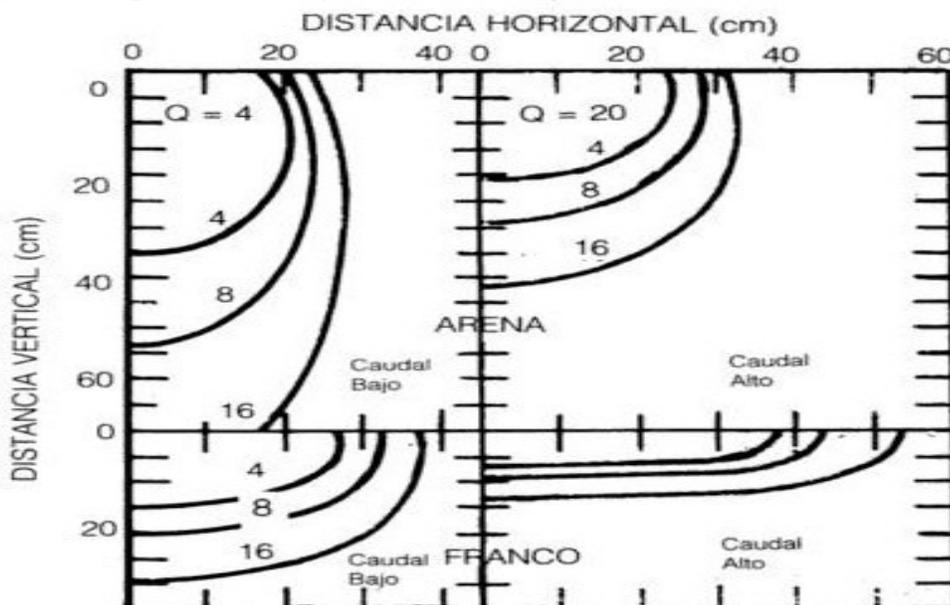
Para suelos arenosos la penetración es de forma alargada, con un radio de charco menor a suelos más pesados. En el caso de los suelos arcillosos la penetración es baja y el radio del charco es mayor al resto. En el caso de suelos franco la penetración y el radio del charco son intermedios a los suelos anteriormente mencionados.

Los suelos pesados tienen menor poder de penetración, pero mayor radio del charco, a medida que está expuesto a mayor tiempo de riego, con el mismo caudal se observa que el bulbo de mojado se ensancha, cuando aparece una capa con menor permeabilidad como un horizonte Bt (ver figura N° 16).

Con la dosis de riego se busca satisfacer la demanda del cultivo sin que haya pérdida de agua por percolación profunda. Según resultados experimentales (García *et al.*, 2005), luego de aplicar tres niveles de riego, en suelos estratificados, en el área donde se desarrolla la producción frutícola de nuestro país, en un suelo clasificado como Brunosol Eútrico, se observó el siguiente patrón para el bulbo de mojado:

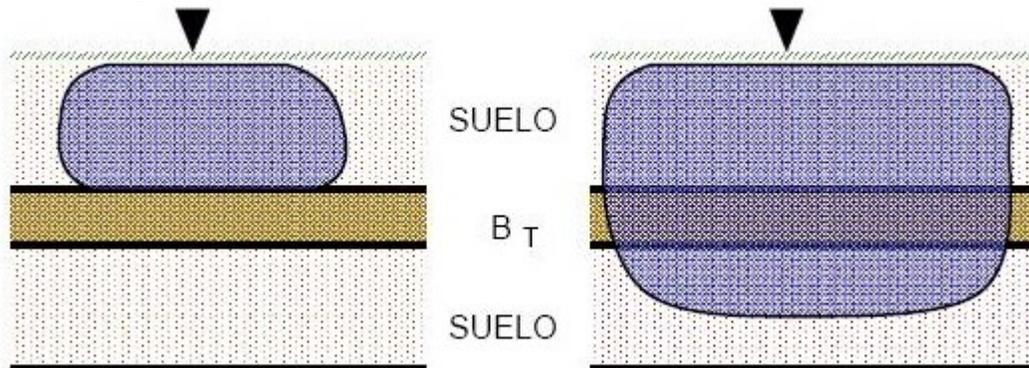
- ⇒ Emisores de $1,6 \text{ l h}^{-1}$: Los diámetros de mojado no superan los 0,55 m (3 horas de riego), el incremento en las horas de riego no se traduce en mayor área regada, pero si se observa pérdidas por percolación por lo tanto disminuye la eficiencia.

Figura N° 15 - El bulbo húmedo en función del caudal del emisor y del tiempo de riego para dos tipos de suelos.



Fuente: Bresler 1977, citado por UDELAR, curso de riego y drenaje, 2007.

Figura N° 16 - El bulbo húmedo con igual caudal del emisor y diferente tiempo de riego para un suelo con horizonte Bt.



Fuente: Pizarro 1990.

- ⇒ Emisores de 2 l h^{-1} : Los diámetros de mojado no superan los 0,60 m (7 horas de riego). El incremento de las horas de riego produce mayor área mojada, y al mismo tiempo pérdidas de agua por percolación. El uso de dos líneas de riego mejora la zona mojada, con 0,5 m de separación se logra un diámetro de mojado transversal de 1,20 m.
- ⇒ Emisores de 4 l h^{-1} : Los diámetros de mojado no superan los 0,90 m (7 horas de riego). El incremento de las horas de riego produce mayor área mojada, y al mismo tiempo pérdidas de agua por percolación.

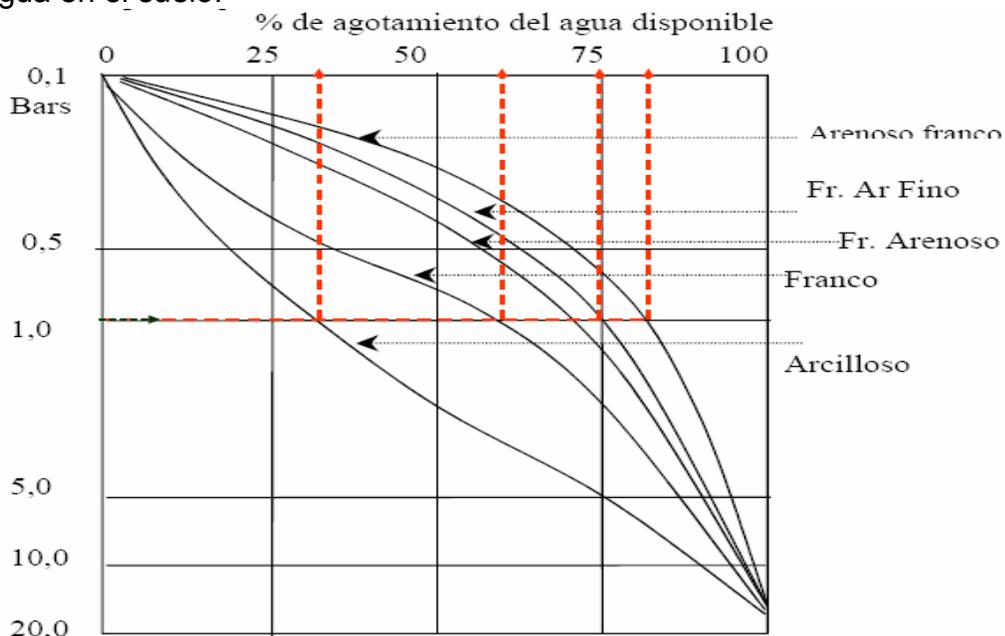
Dentro de las conclusiones obtenidas para este tipo de suelos se mencionan las siguientes: los patrones de mojado son diferentes a los esperados, el ancho de banda mojada es generalmente menor a lo esperado y las pérdidas por percolación detectadas fueron importantes. A consecuencia de estos datos se llega a que el manejo del riego que realizan los productores, muchas veces no se solapan los bulbos de mojado y se estaría sobreestimando la eficiencia de aplicación del método y por tanto sub-irrigando el cultivo (García *et al.*, 2005).

Según Santos Pereira 2004, hay que tener en cuenta que en los primeros cm de profundidad el suelo por efecto de la evaporación directa puede llegar a valores de 0,5 del PMP. Menciona que la cantidad de agua fácilmente evaporable puede estimarse en función de la textura del suelo. Plantea que si comparamos la cantidad de agua fácilmente evaporable en función de la máxima lámina de agua evaporable, esta es mayor en suelos de textura media

con fuerte capacidad de retención y conductividad hidráulica moderada (9 a 12 mm de un total de 20 a 34 mm), menor en suelos de texturas arenosas (5 a 6 mm de un total de 10 a 15 mm) y menor aun en suelos con textura arcillosa (6 a 8 mm de un total de 25 a 38 mm). Por tal motivo esto estaría influyendo en el contenido de agua del suelo y sería otro factor a tener en cuenta al momento de analizar cómo es la distribución en el contenido de agua en suelo.

Según la figura N° 17, a mayor porcentaje de agotamiento del agua disponible, mayor es el potencial de agua en el suelo. Por ejemplo un suelo Franco Arcilloso cuando presenta un 25%, 50% y 80% de agotamiento del agua disponible, el potencial de agua en el suelo es de aproximadamente 0,5, 1 y 5 Bars respectivamente. Mientras que para 0,8 Bars existe diferencia entre suelos Arcillosos, Franco y Arenosos presentando 25%, 40% y 76% de agotamiento del agua disponible. Claramente se puede ver que los suelos más livianos como los arenosos retienen el agua con menos fuerza que aquellos suelos más pesados como los arcillosos.

Figura N° 17 - Relación entre el consumo de agua disponible y el potencial de agua en el suelo.



Fuente: Citado por UDELAR, curso de riego y drenaje, 2007.

Hay que tener en cuenta que no toda el agua disponible es fácilmente disponible para las plantas. El suelo retiene el agua con más fuerza a medida que se vuelve más seco. Con el suelo próximo a CC el cultivo extrae el agua con gran facilidad. A medida que el suelo se seca, las fuerzas de retención aumentan y la planta debe realizar un esfuerzo osmótico para abastecerse de agua. En determinado momento la velocidad de transpiración es mayor que la velocidad de absorción, la planta pierde turgencia y comienza a marchitarse. Para evitar la deshidratación la planta utiliza sus mecanismos de control estomático, cerrándolos, reduciendo la transpiración y simultáneamente la fotosíntesis.

2.8.6 Influencia de los niveles de agua aplicada en tomate

En España, en la Región de Valencia, luego de realizar estudios con el objetivo de ver la influencia del riego y del potencial matricial en el rendimiento y en el rajado en tomate, han encontrado que existe gran influencia de la susceptibilidad varietal en la aparición del rajado. En los experimentos realizados con riego localizado la incidencia del rajado ha sido mayor a medida que se dan condiciones de menor nivel de agua en el suelo, apareciendo diferencias estadísticamente significativas tras períodos de varios días con el potencial matricial muy negativo o que haya tenido lugar una importante fluctuación del mismo. Además se ha observado una mayor incidencia del rajado en la última fase del período de recolección, coincidente con las épocas de temperaturas y radiaciones elevadas (Pascual *et al.*, 1998).

En trabajos realizados en Brasil, Región del Cerrado, encontraron que la mayor concentración de fruta madura al momento de la cosecha, se dio a los 122 días después de trasplantar las plantas de semillero. La concentración de frutos maduros en la cosecha aumento, mientras que la producción de biomasa y el número de frutos comerciales por plantas se redujo linealmente con el aumento del intervalo entre riegos. Además hubo respuesta lineal positiva de la acidez con el cambio de riego, por lo tanto, las plantas sometidas a restricciones de agua producen frutos más ácidos que aquellos regados en mayor frecuencia durante la fase de fructificación. Otro resultado que se obtuvo es que niveles de tensión en el rango de 10 kPa y 15 kPa, asociados con riegos frecuentes maximizarían la productividad de frutos (Marouelli y Silva, 2006).

2.8.7 Respuesta al riego en el Cultivar Loica

Según estudios sobre el rendimiento logrados por productores pertenecientes al plan tomate (zona sur de Uruguay), existe una gran variabilidad, siendo el rendimiento comercial mínimo de 20859 kg ha⁻¹ y el máximo de 92875 kg ha⁻¹ con un promedio de 42000 kg ha⁻¹. La principal causa de descarte fue la podredumbre apical, representando un 13,1% del rendimiento total promedio y los cultivos que presentaron mayores problemas fueron aquellos que tuvieron mayor déficit hídrico hasta inicio de cosecha. Con respecto al tamaño de fruto el promedio fue de 46,3 gramos, con un número promedio de 56 frutos por planta. Los valores de sólidos solubles totales oscilaron entre 4,4 y 6,6°Brix, con un promedio de 5,3°Brix, siendo los mayores valores de sólidos solubles totales y materia seca en aquellos cultivos que presentaron mayor déficit hídrico durante el periodo de crecimiento del fruto (Berrueta, 2008). En investigaciones vinculadas a evaluar la respuesta al riego en diferentes cultivares, aproximadamente el consumo de agua estuvo en el entorno de los 425 mm durante todo el ciclo del cultivo. Se observó que el Cultivar Loica, presentó un rendimiento total de 85349 kg ha⁻¹. Del total aproximadamente un 81,6% corresponde a rendimiento comercial. Mientras que el resto 18,4% corresponde a frutos de descartes, siendo un 13% frutos podridos y el resto 5.4% frutos verdes (Núñez y Palotti, 2004).

A nivel experimental para las condiciones climáticas que existen en la región (zona sur de Uruguay), el manejo realizado con aplicación de riego del 100% de la evapotranspiración máxima del cultivo fue el que presentó mayor rendimiento en los diferentes experimentos realizados. La lámina promedio de agua aplicada está en el entorno de los 200 mm, con rendimientos comparables a los de regiones tradicionales en esta producción, en el entorno de 90 a 100 toneladas por hectárea (Gonzales *et al.*, 2007). Siendo la fase crítica para el cultivo la que se da entre los 38 y 80 días desde el trasplante, que coincide entre la floración y primera etapa de maduración del tomate (García, C. *et al.*, 2007).

2.8.8 Eficiencia

Analizando la eficiencia del uso del agua, considerando el manejo más correcto, se encuentran respuestas de 30 a 52 kg base fresca de fruto comercial por m³ de agua aplicada (Gonzales *et al.*, 2007).

2.8.9 Comentarios finales

A modo de resumen, para realizar un correcto manejo del cultivo, es necesario conocer y tener en cuenta los componentes del rendimiento. Como también conocer los principios del método de riego por goteo y su implementación, para poder ser eficientes en el uso de un recurso de primera necesidad como es el agua. La disponibilidad de esta información permite diagnosticar los problemas correctamente y así superar las limitantes que permitan alcanzar el potencial productivo de este cultivo, tanto a nivel de rendimiento como de calidad de fruto comercial.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

La investigación se llevó a cabo desde finales del mes de Agosto del año 2007 hasta finales del mes de Febrero del año 2008, en el Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía, ubicado en Camino Folle Km 35,500, zona de Rincón del Gigante, (34° 36` 54`` Sur, 56° 13`25`` Oeste y 39 m de altitud sobre el nivel del mar), en el departamento de Canelones, Uruguay.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.2.1 Diseño experimental

El modelo estadístico utilizado corresponde al diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Se aplicaron tres tratamientos secano, 50% y 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc).

Modelo estadístico: $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$

Y_{ij} son las variables aleatorias observables

μ media general

T_i corresponde al efecto del i-ésimo tratamiento

β_j corresponde al efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} corresponde al error experimental, variables aleatorias no observables

En la tabla N° 4 se esquematiza la disposición de las diferentes parcelas, cuya ubicación fue realizada al azar. Las parcelas fueron de 30 metros de largo y de 1,5 m de ancho. Cada parcela quedó dividida en un cantero de 1 m de ancho y 25 cm de altura; el ancho restante de 50 cm fue utilizado para transitar. Para permitir el trabajo con maquinaria se dejaron 3 m centrales del cultivo, quedando dividido en dos cuadros, por ese motivo se instalaron 4 hileras de borde.

Tabla N° 4 – Esquema de ubicación de las parcelas en el experimento.

Hilera de borde	
Bloque N° 1	Parcela N° 1 Secano
	Parcela N° 2 50%
	Parcela N° 3 100%
Bloque N° 2	Parcela N° 4 100%
	Parcela N° 5 Secano
	Parcela N° 6 50%
Hilera de borde	
Zona para tránsito de maquinaria	
Hilera de borde	
Bloque N° 3	Parcela N° 7 100%
	Parcela N° 8 Secano
	Parcela N° 9 50%
Bloque N° 4	Parcela N° 10 Secano
	Parcela N° 11 100%
	Parcela N° 12 50%
Hilera de borde	

3.2.2 Análisis estadístico

Se aplicó un programa estadístico para analizar la significancia de los resultados obtenidos. Para ello se utilizó el programa InfoStat. Este es un software estadístico desarrollado por el *Grupo InfoStat*, un equipo de trabajo conformado por profesionales de la Estadística Aplicada con sede en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina (InfoStat, 2008). La comparación de medias se analizó a través del Test de Tukey con un nivel de significancia de 0,05 y 95% de confianza. En los casos necesarios se utilizó la comparación a través de Test de contrastes ortogonales con un nivel de significancia de 0,05 y 95% de confianza. En el

caso donde se muestra la corrida estadística a valores expresados en porcentaje, la misma se realizó a los valores obtenidos luego de aplicar la siguiente fórmula: $\text{ArcSen } \sqrt{\text{proporción} + 0,01}$.

3.3 SUELO

3.3.1 Características físico-químicas del suelo

En el área asignada para efectuarse el trasplante, se sacaron muestras de suelo. El objetivo fue determinar las características físico-químicas del suelo. El análisis químico fue realizado en el laboratorio de la División de Suelos y Aguas del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (M.G.A.P). Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1 – Análisis de suelo.

Profundidad cm	pH		M.O. %	P*	K**	Ca**	Mg**	Na**	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
	H ₂ O	KCL										
0-20	5,5	4,5	3,3	38	0,54	10,9	3,9	0,4	28	41	31	Franco Arcilloso
20-40	5,7	4,6	3,2	20	0,41	9,5	3,5	0,43	25	39	36	Franco Arcilloso

*Partes por millón

**Miliequivalentes por 100 gramos de muestra

Mayor a análisis de textura: Método Bouyoucos (1936)

Fuente: M.G.A.P; División de Suelos y Aguas.

3.4 SITUACIÓN AGROCLIMÁTICA

Los datos agroclimáticos se obtuvieron a partir de la estación meteorológica automática perteneciente a la Cátedra de Horticultura de la Facultad de Agronomía, la cual está ubicada en el CRS lugar donde fue realizado el experimento. Las variables agroclimáticas relevadas fueron las siguientes: temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento, radiación, evapotranspiración y precipitaciones. Además se registraron las precipitaciones por medio de un pluviómetro instalado en el lugar del ensayo.

3.5 MANEJO DEL CULTIVO

3.5.1 Almácigo

La preparación del cantero para realizar el almácigo fue realizada durante el verano 2007 con posterior solarización. La práctica antes mencionada no tuvo el efecto esperado sobre las malezas, probablemente porque se realizó en el mes de febrero cuando las temperaturas ya habían disminuido bastante. Se quitó el nylon el 28 de agosto del 2007 y se extrajeron las malezas existentes. Se rastrilló dejando el terreno pronto para la siembra, se colocó el nylon de cobertura, los arcos para formar el micro túnel y 2 cintas de riego por goteo. Al momento de la siembra se realizó una desinfección de las semillas con hipoclorito de sodio. Aproximadamente se sembraron 150 plantas por m lineal de almácigo.

3.5.2 Historia de la chacra y laboreo de suelo

El cuadro utilizado para instalar el cultivo fue el A72H (sector derecho). Los cultivos anteriores fueron: Pradera permanente desde el 2002 hasta el verano del 2006, momento en el que fue quemado y trabajado para implantar ajo en el otoño. El verano del 2007 fue nuevamente trabajado y plantado con papa. En los meses de setiembre y octubre se realizaron los trabajos mecánicos, los cuales consistieron en pasada de excéntrica, cincel, rastra y encanteradora. Posteriormente se aplicaron 3 bolsas por cantero de estiércol de ave, el cual fue incorporado, luego se formó nuevamente el cantero y se rastreó.

3.5.3 Trasplante

Previamente a la extracción de los plantines, el almácigo fue humedecido para facilitar la extracción del plantín, para evitar la rotura de raíces. Al momento del trasplante, el 6 de noviembre del 2007, se hicieron hoyos a mano y se procedió a colocar los plantines, a los mismos se le aplicó agua en forma manual con una regadera. Se ubicaron las plantas a 0,4 m lineal de separación y 0,4 m entre plantas en forma de tresbolillo (2 filas por cantero).

3.5.4 Sistema de conducción

A los 25 días post-trasplante se realizó la instalación de un sistema de conducción. El objetivo fue mantener las plantas erguidas y estructuradas. Se trató de evitar que volcaran, para poder transitar libremente entre las parcelas. Consistió en tender 2 cuerdas, las cuales fueron amarradas a 2 estacas, ubicadas una en cada extremo de la parcela. Cada cuerda se colocó a uno y otro lado de la parcela, posteriormente se entrelazaron en zigzag con otra cuerda.

3.5.5 Control de malezas

No existieron problemas de malezas debido a que previo al trasplante se realizó un control con herbicida no selectivo y posteriormente al mismo se aplicó un herbicida selectivo pre-emergente. Cuando fue necesario, avanzado el ciclo del cultivo, se controlaron algunas gramíneas con un graminicida.

3.5.6 Fertilización

Previo al trasplante se efectuó una fertilización de base únicamente con fósforo aproximadamente unas 80 unidades de P_2O_5 ha^{-1} (174 kg de súper-concentrado ha^{-1}). Durante el trasplante se aplicó una fertilización base de 50 kg ha^{-1} de fosfato de amonio con el agua de riego (4 kg de 18-46-0 disueltos en 400 l de agua). En la fase de crecimiento se efectuaron 2 refertilizaciones para llegar a 120 unidades de N ha^{-1} mediante la aplicación de urea (46-0-0), la misma se hizo en forma manual dirigida a la base de la planta.

3.5.7 Control sanitario

Con respecto a la condición sanitaria del cultivo, no se registraron problemas importantes. Se realizó un seguimiento semanal de la condición sanitaria del cultivo. Se efectuaron los controles preventivos, siempre que fue necesario de acuerdo al monitoreo de enfermedades y plagas correspondiente. A fines del mes de diciembre, producto de las condiciones imperantes, de alta temperatura y baja humedad relativa, se dio un aumento en las poblaciones de insectos.

Debido a esas condiciones fue necesario realizar los controles correspondientes, se realizó la aplicación de Clorpirifos (Lorsban) con el objetivo de bajar la población de insectos. A los 66 días post-trasplante, luego de una lluvia se efectuó un tratamiento preventivo. El principio activo utilizado fue Oxicloruro de cobre.

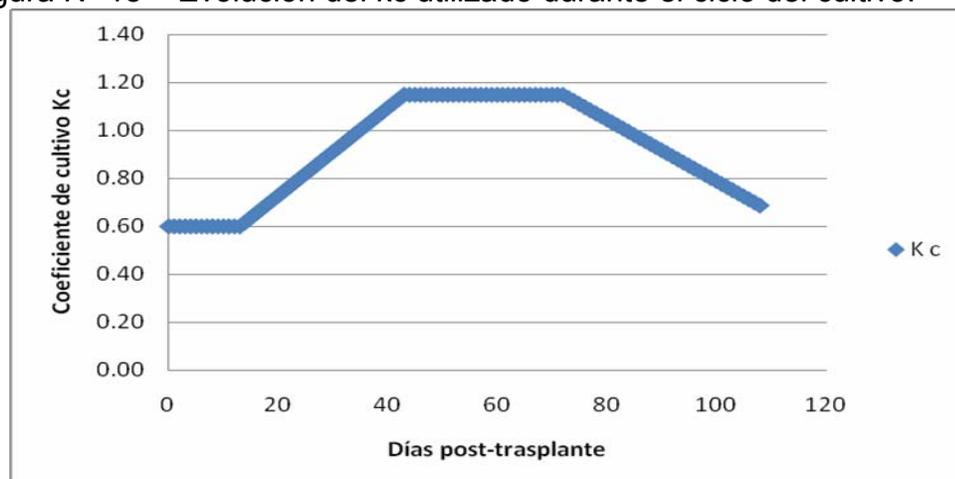
3.6 RIEGO

El método utilizado para aplicar agua, correspondió al riego localizado por goteo. Las cintas fueron ubicadas espaciadas a 1,5 m entre sí y 0,30 m entre emisores. El caudal del emisor fue de $1,4 \text{ l h}^{-1}$ a 10 m de presión, siendo el caudal por m lineal de tubería de $4,67 \text{ l h}^{-1}$.

3.6.1 Métodos de cálculo de las necesidades de riego a lo largo del ciclo

Para estimar la evapotranspiración se usaron los datos medidos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación aportados por la estación meteorológica ubicada en el CRS. Partiendo de estos datos se utilizó la fórmula de Penman-Montieth modificada por FAO para estimar la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}). El valor de E_{To} se corrigió por los coeficientes de cultivo (K_c) propuestos por la FAO (Allen *et al.*, 1998).

Figura N° 18 – Evolución del K_c utilizado durante el ciclo del cultivo.



Fuente: Allen *et al.*, 1998.

Como se aprecia en la figura N° 18, se ve la evolución del kc a lo largo del ciclo del cultivo. Los valores del kc para las distintas fases de desarrollo son los siguientes: fase inicial con una duración de 13 días le corresponde un $kc = 0,60$, la fase de rápido crecimiento del área foliar tiene una duración de 30 días, la fase de mediados de período una duración de 29 días con un $kc = 1,15$ y para la fase final una duración de 36 días con un $kc = 0,70$.

A partir de estos coeficientes se estimó la ETc, para ello se multiplicó la ETo por el kc correspondiente. Luego se multiplicó la ETc por el ancho de cantero, obteniéndose así la Dosis Neta en $l\ m^{-1}$ lineal de cantero. Posteriormente se dividió este último dato sobre el producto de multiplicar la eficiencia de aplicación estimada (0,90) por el coeficiente de uniformidad del sistema estimado (0,90) obteniendo así la Dosis Bruta en $l\ m^{-1}$ lineal de cantero. Por último se dividió la Dosis Bruta entre el caudal por m lineal de tubería, multiplicando el resultado obtenido por 60 para de esta forma determinar el Tiempo de riego en minutos. Diariamente se realizaron estos cálculos con el fin de minimizar las pérdidas de agua y nutrientes por percolación profunda y evitar cualquier estrés hídrico por parte del cultivo.

3.6.2 Contenido de agua en el suelo

Se midió diariamente desde el día 16 post-trasplante hasta el día 87 post-trasplante la evolución del potencial matricial del suelo. Para ello se realizó la instalación de 4 tensiómetros a la profundidad radicular. Fueron instalados 3 tensiómetros (uno en cada tratamiento) aproximadamente a 25 cm de profundidad y 1 tensiómetro por debajo de las raíces, aproximadamente a 50 cm de profundidad en el tratamiento 100% de ETc. Los mismos se colocaron entre las filas de plantación, equidistantes entre plantas y emisores. Además se instalaron doce tubos de acceso para la sonda de neutrones, un tubo por cantero de 1 m de longitud. Se efectuaron medidas los días 16, 24, 29, 35, 41, 51, 59, 64, 70, 77, 84 y 92 post-trasplante en el contenido de humedad del suelo con la sonda de neutrones a 20 cm y 50 cm de profundidad. Para este experimento se utilizó una sonda de neutrones marca CPN, modelo 503DR HYDROPROBE, con fuente de neutrones de 1,85 G Bq (50 m Ci) Americio-241: Berilio y cabezal de 2". Este mismo modelo de sonda fue utilizado por García, 2002 y Morales, 2004. Además se sacaron 5 muestras imperturbadas de suelo, a 2 profundidades (20 y 50 cm) para estimar densidad aparente.

Se estimaron los valores de CC y PMP utilizando las fórmulas de cálculo propuesta por Silva *et al.*, 1988. Para el Horizonte A se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\%ps \text{ CC} = 21,977 - 0,186 (\text{ARENA } \%) + 2,601 (\text{MATERIA ORGANICA } \%) + 0,127 (\text{ARCILLA } \%)$$

$$\%vol \text{ CC} = \%ps \text{ CC} \times \text{Densidad Aparente}$$

$$\%ps \text{ PMP} = - 5 + 0,74 \%ps \text{ CC}$$

$$\%vol \text{ PMP} = \%ps \text{ PMP} \times \text{Densidad Aparente}$$

Para el Horizonte B se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\%ps \text{ CC} = 9,879 + 3,558 (\text{MATERIA ORGANICA } \%) + 0,336 (\text{ARCILLA } \%)$$

$$\%vol \text{ CC} = \%ps \text{ CC} \times \text{Densidad Aparente}$$

$$\%ps \text{ PMP} = - 5 + 0,74 \%ps \text{ CC}$$

$$\%vol \text{ PMP} = \%ps \text{ PMP} \times \text{Densidad Aparente}$$

El valor de Agua Disponible (AD) es posible estimarlo efectuando el siguiente cálculo: $\% vol \text{ AD} = \%vol \text{ CC} - \%vol \text{ PMP}$

3.6.3 Evaluación del contenido de agua en el suelo

Los tensiómetros permitieron observar la evolución del contenido de agua en el suelo. Principalmente el tensiómetro ubicado en el tratamiento 100% a 25 cm de profundidad, fue utilizado para confirmar diariamente si los niveles de riego eran los adecuados para la demanda existente, debido a que en este tratamiento el contenido de agua debía estar a capacidad de campo. En tanto el tensiómetro ubicado a 50 cm, fue utilizado para monitorear lo que ocurría en profundidad como forma de verificar la existencia o no de percolación profunda. Para convertir las lecturas de la sonda a contenido de humedad volumétrica, se procedió a efectuar la calibración de la sonda. Para ello, se realizaron en paralelo lecturas con la sonda y se tomaron muestras para determinar la humedad por el método gravimétrico. Las muestras para el método gravimétrico se tomaron del suelo próximo al tubo. Las rectas de calibración para 20 y 50 cm de profundidad, se efectuaron con las lecturas de la sonda, convertidas a ratios y el contenido de humedad expresado como % en volumen, luego de multiplicar el contenido de humedad en base a peso seco, resultado del método gravimétrico, por la densidad aparente. El ratio se obtuvo al dividir la lectura de sonda por la lectura estándar, realizada con el sensor dentro del blindaje protector de la sonda, antes de efectuar la serie de medidas semanales. Con estos valores se realizó el monitoreo de la humedad a 20 y 50 cm de profundidad en diferentes momentos de observación según tratamientos. Por último se realizó el análisis de la varianza del %HV a 20 y 50 cm por observación según tratamientos.

3.7 VARIABLES EVALUADAS DEL CULTIVO

3.7.1 Evaluación del crecimiento y desarrollo

Al realizarse el trasplante se efectuó un muestreo de cinco plantas al azar para el primer análisis destructivo, las que se separaron en hojas y tallos. Algunas hojas fueron pesadas, fotocopiadas a escala 1 a 1, luego escaneadas, y posteriormente secadas a estufa por 48 horas a una temperatura de 60 Grados Celsius (°C). Los tallos y hojas fueron pesados antes de entrar a la estufa y luego de ser secados en la misma para la determinación de la materia seca (MS). Este mismo análisis se efectuó a los días 21 y 74 post-trasplante, pero solo sobre 2 plantas seleccionadas al azar por parcela. En la última evaluación también se separó en frutos y se determinó la MS midiendo la diferencia entre el peso fresco de 5 frutos cortados en tajadas y el peso seco, luego de ser secados por 72 horas en estufa a 60 °C. Los datos del análisis destructivo permitieron analizar el crecimiento y desarrollo vegetativo, así como la evolución del área foliar e índice de área foliar en diferentes momentos a lo largo del ciclo del cultivo. Las hojas escaneadas fueron digitalizadas y se midió el área foliar, con un programa informático adecuado (Image J-140). Este programa fue desarrollado en los United State por National Institutes of Health. A partir del área de las hojas escaneadas y su peso, se pudo extrapolar los resultados a toda la planta. Utilizando esta herramienta se pudo determinar el área foliar, para los diferentes momentos de observación. Al efectuarse el trasplante se analizó el tamaño inicial de las plantas, utilizando los siguientes parámetros: peso seco de hoja, peso seco de tallo, área foliar, materia seca total, % MS de hoja, % MS de tallo. Además se obtuvieron los datos correspondientes al área foliar específica y el índice de área foliar inicial. Con los datos obtenidos en el análisis destructivo se analizaron los promedios, de los parámetros antes mencionados según tratamientos en las tres fechas de determinación. Para el análisis de inicio de cosecha se analizó además la materia seca de frutos comerciales, promedio según tratamientos. Por último se registró y analizó el crecimiento radicular alcanzado por el cultivo para cada tratamiento realizando 3 calicatas aproximadamente a 0,90 m de profundidad.

3.7.2 Evaluación del N° de racimos, floración y cuajado de frutos

El crecimiento y desarrollo reproductivo se evaluó los días 21, 29, 36, 43, 53, 60 y 68 post-trasplante. Se relevaron los siguientes datos: N° de racimos, N° de flores abiertas y N° de frutos cuajados por planta mediante el conteo realizado

en dos plantas marcadas por parcela. Posteriormente se graficó y analizó la evolución de cada una de las variables.

3.7.3 Evaluación en cosecha

Se efectuaron 5 cosechas, comenzando el 21 de enero y finalizando el 22 de febrero del 2008. Se realizó una por semana, los días 76, 83, 90, 98 y 108 post-trasplante. Para la evaluación de cosecha se utilizaron las plantas ubicadas en los 4 metros centrales de las unidades experimentales. Los datos relevados fueron N° de frutos totales, N° de frutos comercial, N° de frutos con podredumbre apical, N° de frutos podridos, N° de frutos quemados de sol, kg de frutos total, kg de frutos comercial, kg de frutos con podredumbre apical, kg de frutos podridos y quemados de sol y MS de frutos comercial. Los datos fueron corregidos por la densidad como se puede ver en la tabla N° 5.

Tabla N° 5 – Densidad de cosecha según parcela.

Número de parcela	Área cosechada m ²	N° de plantas cosechadas	Área m ² por planta	Densidad Plantas m ⁻²	Densidad Plantas ha ⁻¹
1	6	21	0,286	3,5	35000
5	6	21	0,286	3,5	35000
8	6	18	0,333	3,0	30000
10	6	20	0,300	3,3	33333
2	6	21	0,286	3,5	35000
6	6	20	0,300	3,3	33333
9	6	20	0,300	3,3	33333
12	6	20	0,300	3,3	33333
3	6	21	0,286	3,5	35000
4	6	21	0,286	3,5	35000
7	6	20	0,300	3,3	33333
11	6	20	0,300	3,3	33333

3.8 PROBLEMAS OPERATIVOS

Errores cometidos en el 3^{er} análisis destructivo impidieron obtener valores correspondientes al crecimiento del cultivo para ese momento.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

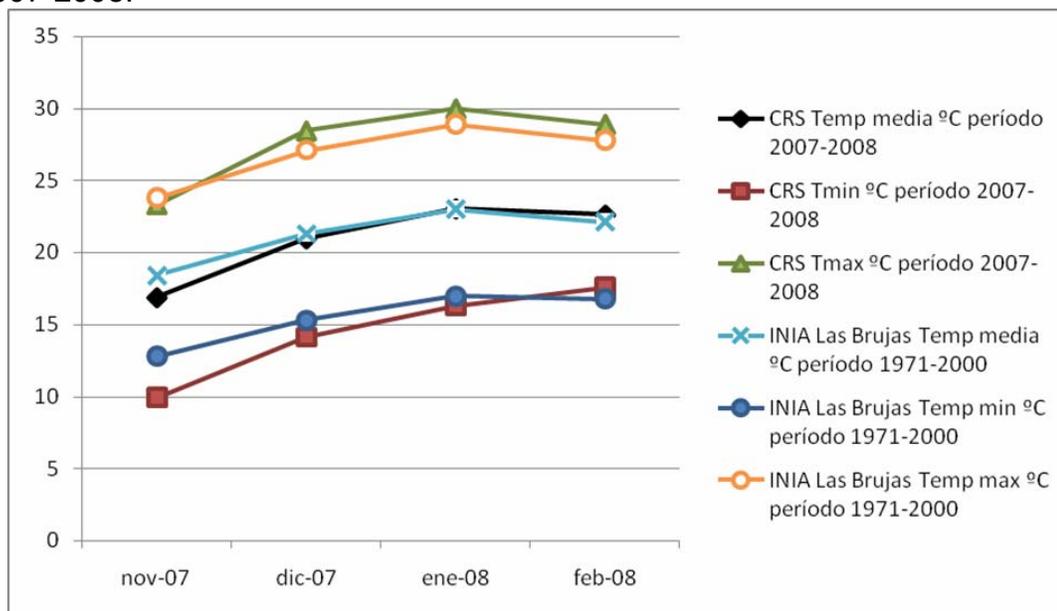
4.1 VARIABLES AGROCLIMATICAS

Los datos presentados a continuación fueron obtenidos a partir de la Estación Automática de Facultad de Agronomía, ubicada en el CRS.

4.1.1 Temperatura y radiación

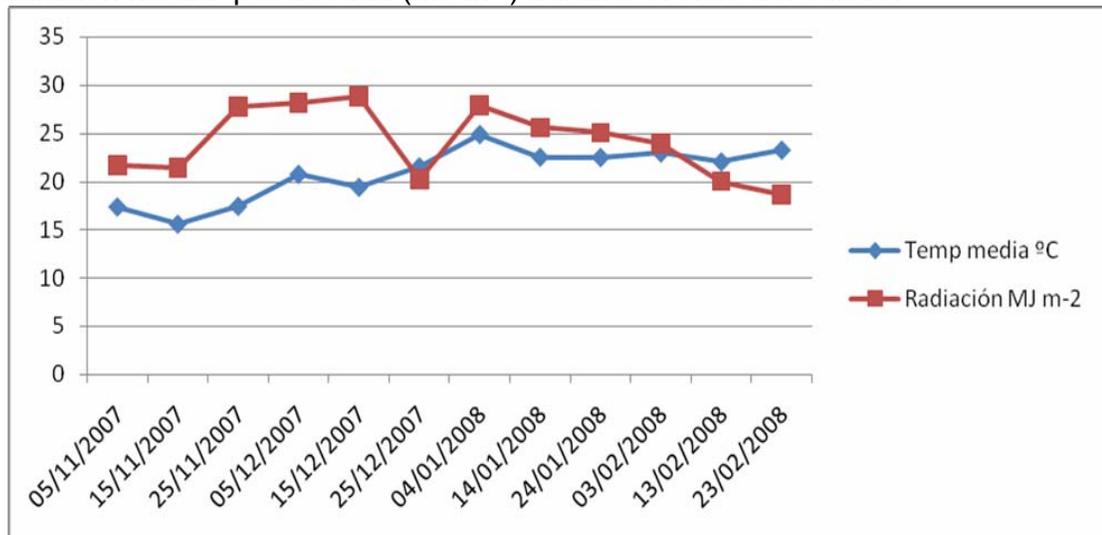
La figura N° 19 muestra que las temperaturas medias estuvieron entre los 18°C a los 22°C durante el ciclo del cultivo, en el entorno de las medias históricas. Según Nuez (1995), estos valores son los adecuados para un correcto desarrollo y crecimiento del cultivo.

Figura N° 19 – Evolución de las temperaturas medias mensuales históricas (°C) para el período 1971-2000 y temperaturas medias mensuales (°C), máximas mensuales (°C) y mínimas mensuales (°C) para el periodo de cultivo 2007-2008.



La figura 20 muestra que las radiaciones medias decádicas alcanzaron valores por encima de 25 MJ m² desde el 25/11 al 25/12 y durante la 2^{da} década de enero, mientras que las temperaturas medias decádicas luego del 15/12 superaron los 20°C hasta el finalizar el ciclo del cultivo.

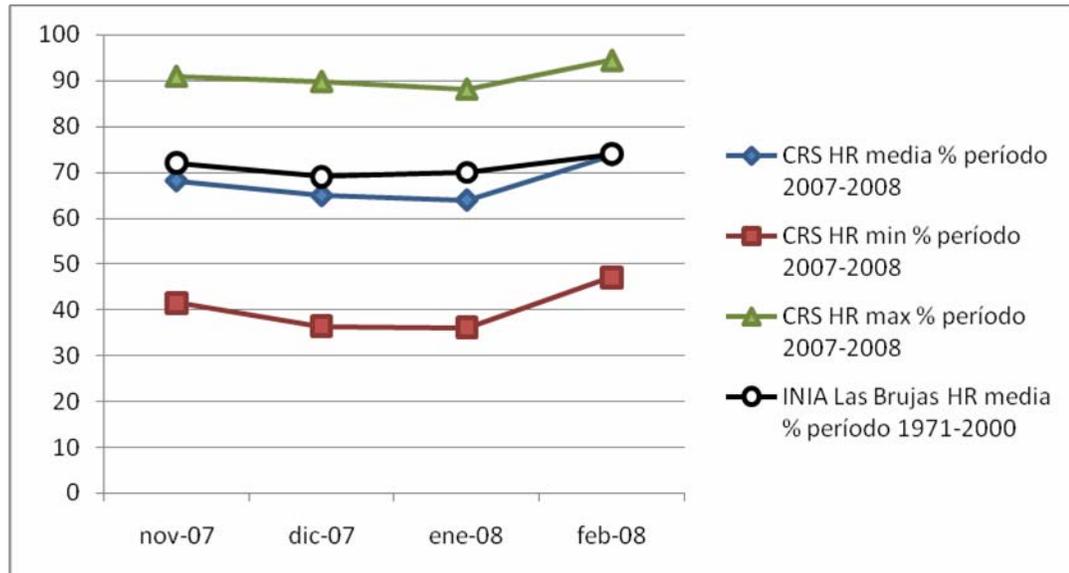
Figura N° 20 – Evolución de la temperatura media por década (°C) y de la radiación media por década (MJ m⁻²) durante el ciclo del cultivo.



4.1.2 Humedad relativa

Como se aprecia en la figura N° 21, la humedad relativa media estuvo por debajo de los registros históricos. La humedad relativa media presentó valores cercanos al 60% para los periodos que van desde los días 29 a 39 y 59 a 80 post-trasplante. Mientras que los valores estuvieron cercanos al 70% para los periodos que van desde los días post-trasplante 6 al 12, del 45 al 52 y del 91 hasta el final del cultivo. El resto de los días estuvo en el rango del 60% al 70%, salvo en febrero que fue mayor al 70%. Según Nuez (1995), estos valores están aproximadamente un 10% por debajo del óptimo para un adecuado desarrollo del cultivo. La baja humedad relativa causa un aumento en la evapotranspiración. Se menciona como crítica la fase de fructificación, debido a que en ese momento la actividad radicular es menor. Un estrés hídrico en esta etapa provocaría un cierre estomático y por ende una reducción de fotoasimilados. Estas son condiciones que reducen la absorción de agua y nutrientes, además de generar déficit como el calcio, induciendo a desordenes fisiológicos, conocidos como podredumbre apical.

Figura N° 21 – Evolución de la Humedad relativa media mensual histórica (%) para el período 1971-2000 y de la humedad relativa media mensual (%), máxima mensual (%) y mínima mensual (%) para el periodo de cultivo 2007-2008.

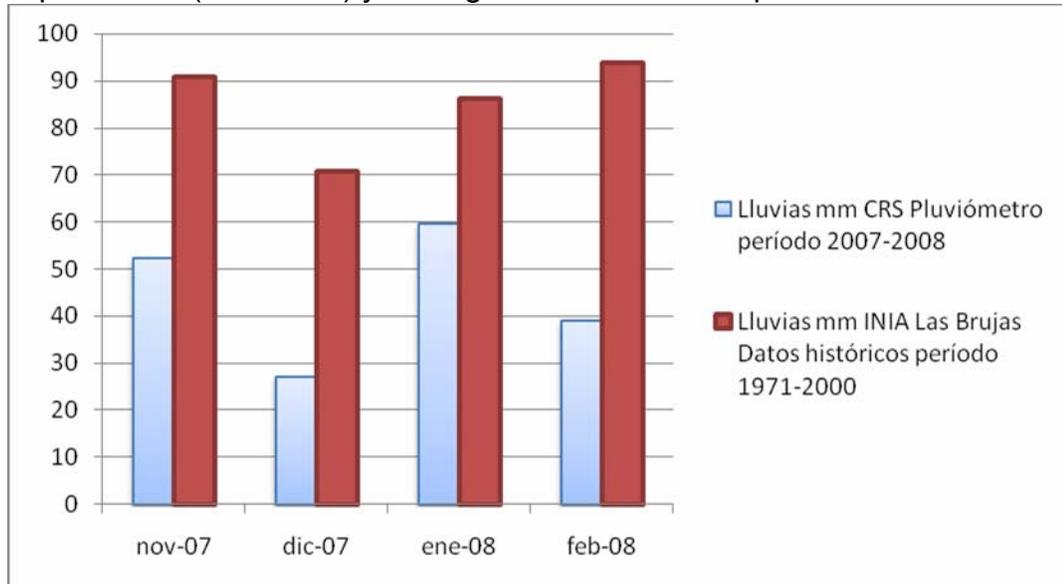


4.1.2 Precipitaciones y Evapotranspiración

Según registros de la estación meteorológica, la evapotranspiración estuvo en el entorno de los 6 a 7 mm en los meses de diciembre y enero, estos valores determinaron una alta demanda atmosférica. Las precipitaciones registraron un total de 570 mm durante el periodo que va desde el 1 de septiembre del 2007 hasta el 23 de febrero del 2008. Las mismas ocurrieron en pocos eventos de lluvia, siendo el registro máximo de 66,3 mm (5 de octubre). Por lo tanto al momento de instalar el cultivo el suelo presentaba reservas de agua. Durante el ciclo del cultivo se registraron precipitaciones en el entorno de 220 mm de agua.

Como muestra la figura N° 22, si comparamos estos datos con la serie histórica, se desprende que fue un período más seco de lo normal, con un registro pluviométrico de noviembre a febrero en el entorno al 50% del promedio histórico.

Figura N° 22 – Comparación entre datos históricos promedios de precipitaciones (mm mes^{-1}) y las registradas durante el período 2007-2008.

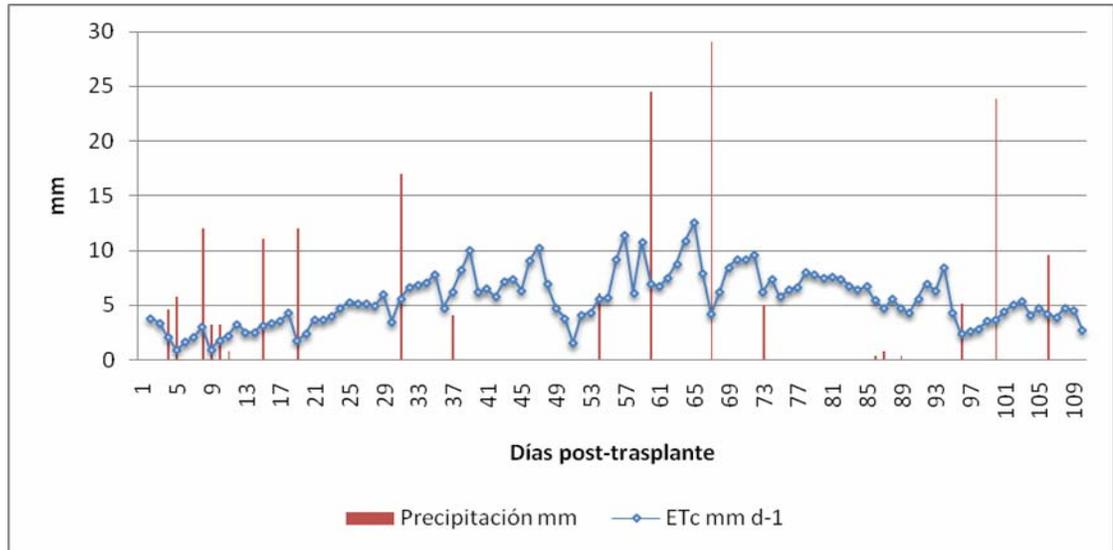


Otro factor que influye aumentando la demanda atmosférica, debido al efecto que produce removiendo el follaje es la velocidad del viento. El mismo presentó un promedio de $2,87 \text{ m s}^{-1}$, un mínimo de $0,81 \text{ m s}^{-1}$ y un máximo de $6,5 \text{ m s}^{-1}$.

La ETC y la precipitación son presentadas en una misma figura debido a la relación importante que presentan. Por un lado tenemos la demanda del cultivo y por otro el aporte natural de agua a través de las precipitaciones.

Según muestra la figura N° 23 durante el ciclo del cultivo, la ETC máxima se registró a los 63 días post-trasplante presentando un valor de 12,5 mm de ETC. Los valores altos de ETC estuvieron dados por el máximo desarrollo y crecimiento del cultivo, expuesto a altos valores de demanda atmosférica. Con respecto a los registros de precipitaciones según el pluviómetro, se ubicaron en 178 mm durante el ciclo del cultivo.

Figura N° 23 – Evolución de la ETc (mm d⁻¹) estimada y las precipitaciones (mm) registradas con el pluviómetro durante el ciclo del cultivo según día de observación.



Los bajos registros pluviométricos así como la alta demanda atmosférica determinaron que se dieran las condiciones ideales para realizar un ensayo de respuesta al riego.

4.2 CARACTERIZACION Y ANALISIS DEL SUELO

El suelo corresponde a un Brunosol. Las características físicas e hídricas son presentadas en el cuadro N° 2. El suelo presenta una Textura Franco Arcillosa, con un horizonte transicional entre A y B. La Densidad Aparente en los primeros 20 cm es similar a la citada en bibliografía para esta textura. Mientras que en el rango de 20 a 50 cm, presenta un valor de 1,49 g cm⁻³ el cual es levemente superior al registrado en otros suelos similares. Con respecto a los valores de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Agua Disponible, presentan niveles superiores a los registrados y citados para otros suelos con iguales características. Estos valores son posibles debido a que se trata de un suelo con niveles adecuados de Materia Orgánica (3,3%). Los canchales fueron realizados con 20-25 cm de altura, siendo prácticamente todo el perfil un Horizonte A, con niveles promedio de Agua Disponible en el entorno de los 18,8 mm 10 cm⁻¹ de suelo.

Cuadro N° 2 – Características físicas y parámetros hídricos del perfil del suelo del ensayo.

Profundidad cm	Horizonte	Textura	Densidad Aparente g cm ⁻³	Capacidad de Campo mm 10 cm ⁻¹	Punto de Marchitez Permanente mm 10 cm ⁻¹	Agua Disponible mm 10 cm ⁻¹
0 - 20	A	Franco Arcilloso	1,30	38,1	21,7	16,4
20 - 50	AB	Franco Arcilloso	1,49	49,7	29,3	20,4

4.3 EVOLUCION DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO

El periodo de riego trascurió entre el 22 de Noviembre del 2007 (16 días post-trasplante) y el 1 de Febrero del 2008 (87 días post-trasplante). La evolución del nivel hídrico en el suelo se analizó a partir del déficit acumulado de agua mediante el balance entre demanda estimada y aporte de agua, de las lecturas de los tensiómetros así como del contenido de agua en el suelo expresado en % de Humedad en Volumen a 20 y 50 cm de profundidad.

4.3.1 Balance entre demanda estimada y aporte de agua

El aporte de agua tiene dos orígenes, por un lado los tratamientos aplicados a través del riego localizado y por otro las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo.

A partir del cuadro N° 3, se puede ver que durante el ciclo del cultivo la demanda estimada fue de 601 mm. Queda claro que el aporte de agua en el tratamiento secano fue solo por precipitaciones, las mismas fueron aproximadamente de 178 mm según pluviómetro instalado en el lugar del ensayo. Por lo tanto en el tratamiento secano hubo un déficit de 423 mm, cubriendo tan solo 30% de la demanda estimada. Para el tratamiento 50%, el aporte de agua por riego fue de 207 mm, siendo el total de agua recibida 385 mm. En este caso hubo un déficit de 216 mm, cubriendo un 64% de la demanda estimada.

Cuadro N° 3 – Demanda estimada, aportes y balance de agua en todo el ciclo del cultivo desde trasplante a fin de cosecha según tratamientos.

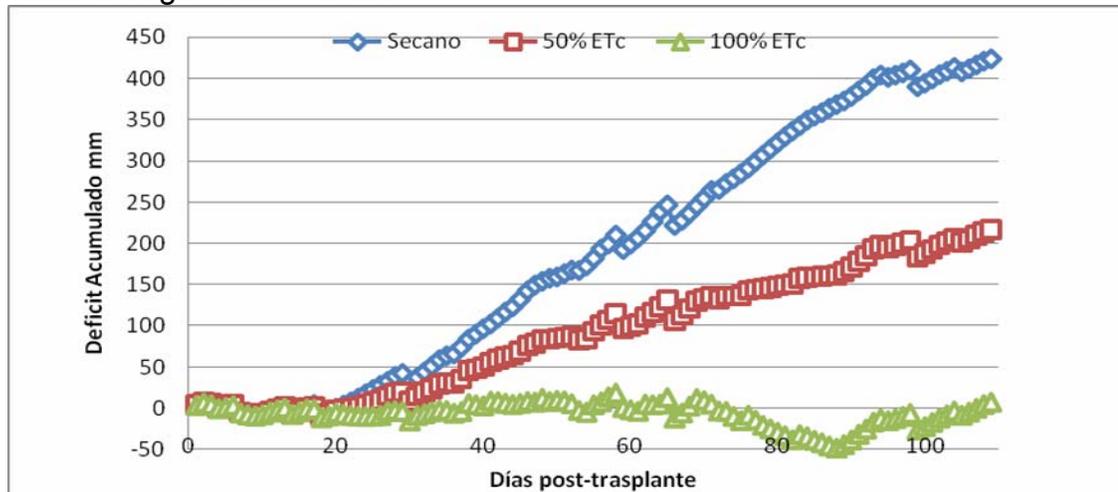
Tratamiento	Demanda estimada (mm)	Aportes (mm)		Balance	
		Lluvias	Riego	Déficit (mm)	%Cubierto
Secano	601	178	0	423	30
50%	601	178	207	216	64
100%	601	178	416	7	99

Para el tratamiento 100%, el aporte de agua por riego fue de 416 mm, siendo el total de aplicación 594 mm. En este caso hubo un déficit de 7 mm, cubriendo un 99% de la demanda estimada. En el análisis anterior se supuso que las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo fueron 100% efectivas. Las precipitaciones fueron en su mayoría de escasa magnitud, en solo tres eventos llovió más de 20 mm, lo cual permitiría sostener la validez del supuesto. También es esperable que las mismas hayan sido menos efectivas en el tratamiento con riego 100% que en el tratamiento seco, donde el suelo estuvo a PMP casi durante todo el ciclo del cultivo.

En la figura N° 24, claramente se ve la evolución en el déficit acumulado de agua en el suelo para los diferentes tratamientos.

En pleno cuajado (50 días post-trasplante) el déficit alcanzó para el tratamiento seco aproximadamente los 163 mm, en tanto para el tratamiento 50% fue de 86 mm. Al inicio de cosecha el déficit alcanzado para el tratamiento seco fue aproximadamente los 299 mm, mientras que para el tratamiento 50% fue de 144 mm. A los 92 días post-trasplante (pico de cosecha) el déficit alcanzó para el tratamiento seco aproximadamente los 399 mm, en tanto para el tratamiento 50% fue de 193 mm.

Figura N° 24 - Déficit acumulado de agua, desde trasplante hasta fin de cosecha según tratamientos.

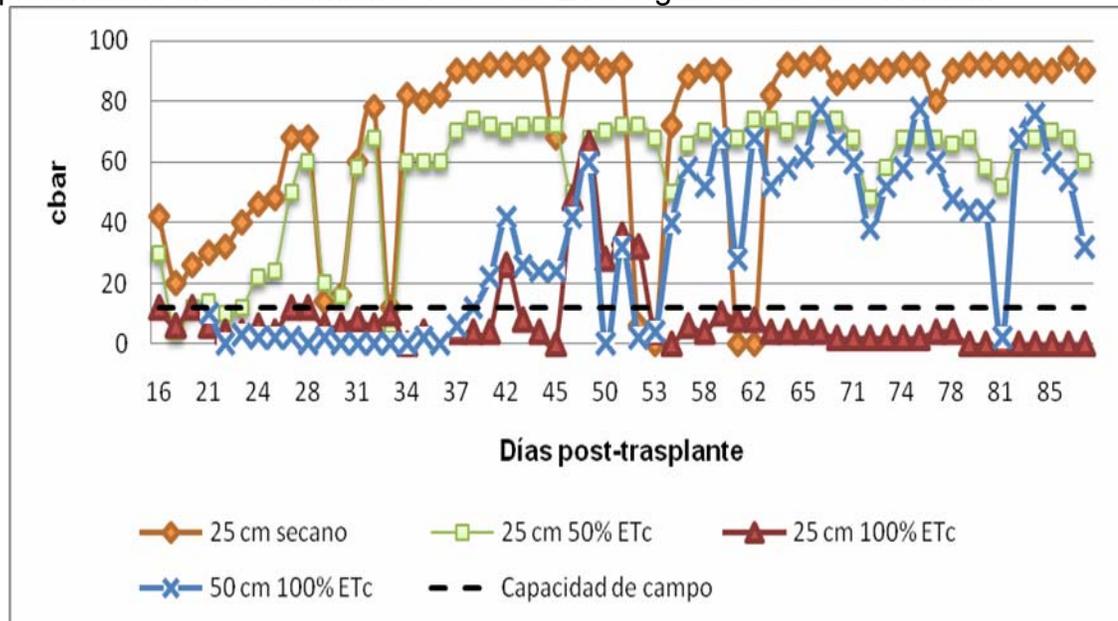


4.3.2 Evolución de la tensión de agua en el suelo

En la figura N° 25 se muestra, la tensión de agua en el suelo medido a través de tensiómetros. En los tratamientos secano y 50% de ETC, se observa una tendencia clara a presentar niveles de tensión en el entorno de 70 cbar a 90 cbar. Claramente quedó de manifiesto el poco nivel de agua que presentó el suelo y lo fuertemente retenida que estuvo en los primeros 25 cm de profundidad. Dado que estos aparatos no efectúan medidas por encima de 80 cbar es válido suponer que los niveles de tensión hayan estado por encima de los registrados.

En el tratamiento 100% de ETC, en la profundidad de 25 cm, la tensión se mantuvo cercana a valores de Capacidad de Campo durante todo el ciclo del cultivo. Para el tensiómetro ubicado a 50 cm de profundidad, hasta los 40 días post-trasplante se mantuvo cercano a Capacidad de Campo. Luego ascendió a valores promedios en el entorno de 55 cbar a 60 cbar hasta los 56 días post-trasplante, posteriormente los valores de tensión estuvieron en el entorno de los 80 cbar. En ese momento comenzó a extraer toda el agua en profundidad, observándose tensiones altas hasta el final de las observaciones a los 87 días post-trasplante. Hay que tener en cuenta que son medidas diarias a escasa profundidad que detectan las lluvias, por lo tanto los valores de tensión que presentan bruscos descenso en diferentes momentos se deben a precipitaciones ocurridas durante el ciclo de cultivo.

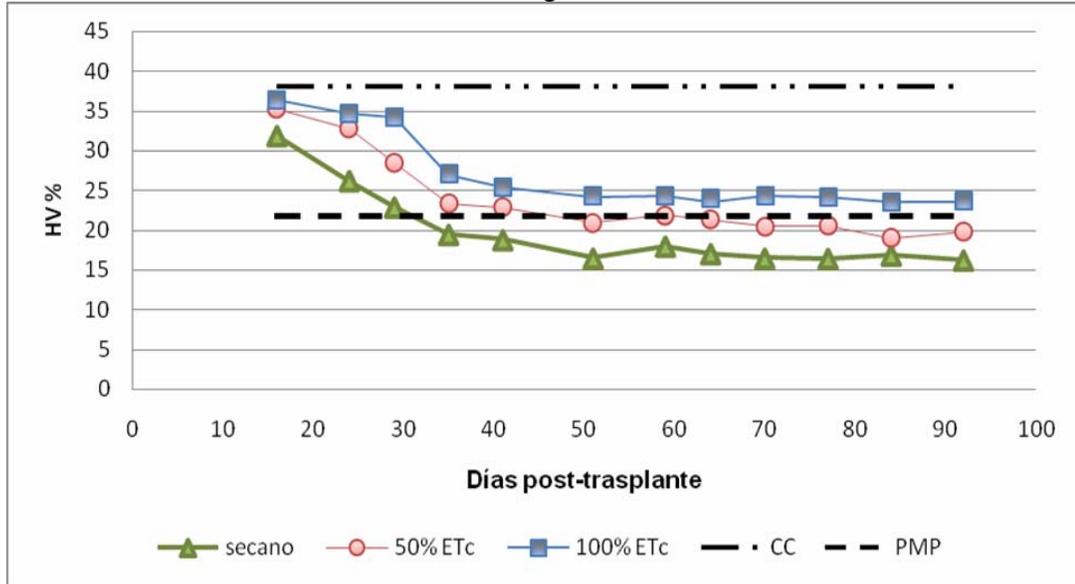
Figura N° 25 – Tensión de agua en el suelo medido con tensiómetros, ubicados a 25 cm de profundidad en los 3 tratamientos evaluados y a 50 cm de profundidad en el tratamiento 100% de ETc según día de observación.



4.3.3 Evolución del contenido de agua en el suelo expresado en % de Humedad en Volumen (HV%)

Según muestra la figura N° 26, a los 16 días post-trasplante, para los tratamientos 50% y 100% de ETc, las medidas del contenido de agua estaban próximas a CC y el tratamiento seco con un nivel cercano al 60% del Ad. El tratamiento 100% de ETc se mantuvo cercano a CC pero comenzó un leve descenso hasta los 30 días post-trasplante, luego sufre una caída importante hasta los 41 días post-trasplante y nuevamente se estabilizó próximo a PMP. Para los tratamientos seco y 50% de ETc existió una caída en los valores de Ad importante, hasta llegar a valores de agua en el suelo después de los días 30 y 47 post-trasplante que estuvieron por debajo de los niveles de PMP para los tratamientos seco y 50% de ETc respectivamente, posteriormente los valores se estabilizaron por debajo de PMP.

Figura N° 26 – Contenido de agua en el suelo expresado en porcentaje en volumen (HV%), medido con sonda de neutrones a 20 cm de profundidad en diferentes momentos de observación según tratamientos.



A esta profundidad el cultivo extrae toda el agua de riego que quedó almacenada y aplicada. La extracción del cultivo a 20 cm no es suficiente para compensar los niveles de consumo, completando el mismo con la absorción a mayor profundidad. A partir de los resultados es posible inferir que en el entorno de los días 20, 30 y 35 post-trasplante para los tratamientos seco, 50% y 100% de ETc respectivamente debió haberse producido un crecimiento radicular importante para aumentar la exploración en busca de agua.

Cuadro N° 4 – Análisis de la varianza de HV%, a 20 cm de profundidad en diferentes fechas de observación según tratamientos.

Tratamiento	Días post-trasplante											
	16	24	29	35	41	51	59	64	70	77	84	92
Secano.	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
50%	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
100%	b	b	c	c	b	b	b	b	c	c	c	b

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

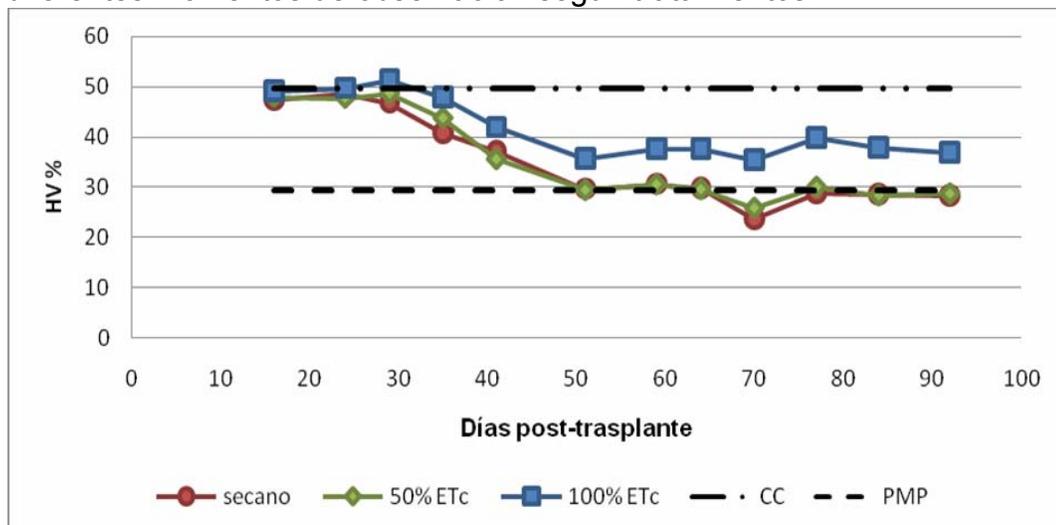
Como se aprecia en el cuadro N° 4, el tratamiento seco se comportó estadísticamente diferente a los demás tratamientos en todo el período de

observación. El tratamiento 100% de ETc en las observaciones realizadas en los días post-trasplante 16, 24, 41, 51, 59, 64 y 92, se comportó estadísticamente igual al tratamiento 50%, solo se diferenció estadísticamente del resto de los tratamientos en las observaciones realizadas los días 29, 35, 70, 77 y 84 post-trasplante.

Según Santos Pereira 2004, en los primeros 20 cm de profundidad, el suelo puede llegar a valores de 0,5 del PMP por efecto de la evaporación directa, de ahí los resultados obtenidos en los primeros 20 cm.

Como se aprecia en la figura N° 27, a partir de los 48 días post-trasplante los valores de HV% para los tratamientos secano y 50% estuvieron a nivel de PMP. Para el tratamiento 100% se aprecia claramente que a partir de los días 37 y hasta los 51 post-trasplante comenzó una alta extracción por parte del cultivo. En ese momento el cultivo está en la fase de rápido crecimiento y claramente se puede concluir que el consumo de agua es superior al que se aporta. Una vez completado el crecimiento del cultivo (día 51 post-trasplante) el contenido de agua se mantiene estable, indicando que la demanda del cultivo fue satisfecha por el riego.

Figura N° 27 – Contenido de agua en el suelo expresado en porcentaje en volumen (HV%), medido con sonda de neutrones a 50 cm de profundidad en diferentes momentos de observación según tratamientos.



Hasta los 29 días post-trasplante en los 3 tratamientos evaluados el contenido de agua estuvo en el entorno de CC. Luego comenzó a descender hasta los 50 días post-trasplante. Los tratamientos secano y 50% de ETc llegaron a valores de PMP. A partir de los resultados es posible inferir que a alrededor del día 40 post-trasplante, para los tratamientos secano y 50% de ETc, debió haberse producido un crecimiento radicular importante en profundidad para aumentar la exploración en busca de agua.

Asimismo estudios anteriores en tomate industria (cv. Loica) han confirmado que este cultivo es capaz de extraer agua a 70 cm de profundidad (Scarlato, 2009).

Cuadro N° 5 – Análisis de la varianza de HV%, a 50 cm de profundidad en diferentes fechas de observación según tratamientos.

Tratamiento	Días post-trasplante											
	16	24	29	35	41	51	59	64	70	77	84	92
Secano	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
50%	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
100%	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

Según muestra el cuadro N° 5, los tratamientos secano y 50% de ETc se comportaron estadísticamente iguales en todo el período de observación. El tratamiento 100% de ETc en las observaciones realizadas los días post-trasplante 16, 24, 29, 35 y 41 se comportó estadísticamente igual a los tratamientos secano y 50% de ETc. Sin embargo se diferenció estadísticamente del resto de los tratamientos en las observaciones realizadas los días 51, 59, 64, 70, 77, 84 y 92 post-trasplante.

Para el tratamiento 100% de ETc el contenido de agua quedó en el entorno del 50% del agua disponible, desde los 50 días post-trasplante y hasta el final del ciclo. El contenido constante de agua a partir de esta fecha permite inferir que existió una paridad entre agua aplicada y demanda del cultivo.

Al analizar la evolución del contenido de agua en el suelo, los resultados muestran que no existió percolación profunda, el cultivo absorbió toda el agua aportada, por lo tanto hubo una alta eficiencia en el uso del agua. Sin embargo

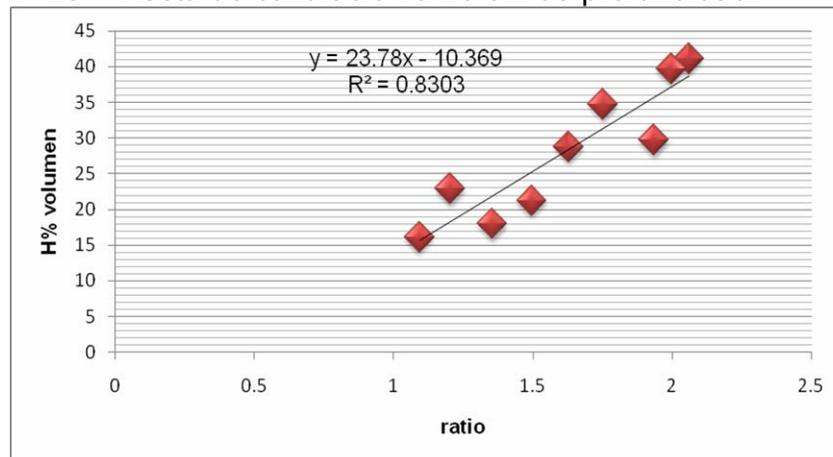
esto valores indican que al momento de efectuar los cálculos de necesidad diaria de riego, los valores de kc utilizados estuvieron por debajo de los niveles adecuados sobretodo en la etapa de rápido crecimiento.

4.3.4 Calibración de la sonda de neutrones a 20 y 50 cm de profundidad

La calibración de la sonda de neutrones fue realizada a 20 y 50 cm de profundidad. Se tomaron 18 muestras de suelo en diferentes oportunidades; de esta forma se pudo monitorear diferentes niveles de humedad en el suelo. Posteriormente se graficaron los pares de datos (H%vol – ratio), ajustándose una recta de calibración para cada profundidad.

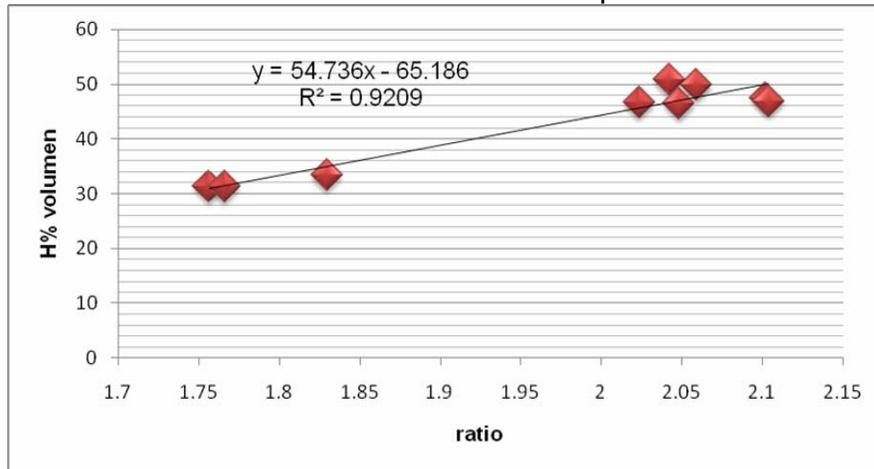
La figura N° 28 muestra la recta de calibración de la sonda de neutrones a 20 cm de profundidad. Presenta un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0,83$), adecuada distribución de puntos a lo largo de la recta. Los mismos corresponden a rangos de humedad que van desde valores próximos a CC hasta contenidos próximos e incluso por debajo de PMP.

Figura N° 28 – Recta de calibración a 20 cm de profundidad.



La figura N° 29 muestra la recta de calibración de la sonda de neutrones a 50 cm de profundidad. Presenta un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0,92$), mientras que los puntos están ubicados en los extremos de la recta.

Figura N° 29 – Recta de calibración a 50 cm de profundidad.



4.3.5 Evaluación de los métodos, utilizados para monitorear el contenido de agua en el suelo

El contenido de humedad registrada por los tensiómetros difiere en forma importante de la registrada por la sonda de neutrones. En cuanto a la medida de los tensiómetros hay que tener presente que fueron medidas diarias, a escasa profundidad, que monitorean un escaso volumen de suelo junto a la cápsula porosa. Las mismas permitieron detectar rápidamente los cambios de humedad resultantes de las lluvias. No hubo repeticiones en estas medidas. En cambio las medidas de la sonda fueron semanales por tal motivo no manifestaron en forma tan clara las lluvias, más aún si se tiene en cuenta la escasa magnitud de cada una de las mismas. Asimismo las medidas de la sonda corresponden a un promedio de cuatro puntos. En cuanto a los bajos contenidos de humedad registrados por este instrumento a los 20 cm de profundidad podrían deberse a la incertidumbre que presenta el método en la determinación de la humedad de los horizontes más superficiales del suelo (Gutiérrez-Ravé *et al.*, 2003). La sonda establece un radio de influencia que es inversamente proporcional al contenido de agua en el suelo. Así por ejemplo en un suelo de textura promedio el ratio puede variar desde unos 50 cm en un suelo próximo a PMP hasta unos 20 cm en saturación; por tal motivo puede que a 20 cm de profundidad escapen los neutrones al aire. Sin embargo al momento de analizar la calibración se puede ver que presentan alto coeficiente de determinación en las dos rectas de calibración. A 20 cm existe adecuada distribución de puntos a lo largo de la recta. A diferencia de la recta anterior los puntos en la recta a 50 cm están ubicados en los extremos, lo cual es un elemento de debilidad en la calibración.

4.4 DESARROLLO Y CRECIMIENTO VEGETATIVO

4.4.1 Evolución del área foliar e índice de área foliar

Cuadro N° 6 – Tamaño inicial promedio de cinco plantas al momento del trasplante.

Variables relevadas	MS hojas g planta ⁻¹	MS tallos g planta ⁻¹	Área foliar cm ² planta ⁻¹	MS total g planta ⁻¹	Hojas %	Tallos %	IAF	Área foliar específica cm ² gMS ⁻¹
Promedios	1,13	0,47	214	1,6	70,1	29,9	0,071	190

Según el cuadro N° 7, no se observaron diferencias estadísticas significativas en peso de hojas y tallos, en IAF, en área foliar, ni en área foliar específica, a los 21 días post-trasplante. Todos los tratamientos se comportaron estadísticamente iguales.

Cuadro N° 7 – Respuesta en el tamaño de las plantas a los 21 días post-trasplante según tratamientos.

Tratamiento	MS hojas g planta ⁻¹	MS tallos g planta ⁻¹	IAF	Área foliar cm ² planta ⁻¹	Área foliar específica cm ² gMS ⁻¹	Hojas %	Tallos %
Secano	4,6 a	2,5 a	0,24 a	729 a	157 a	65	35
50%	6,0 a	3,1 a	0,30 a	913 a	153 a	66	34
100%	4,9 a	2,5 a	0,24 a	724 a	154 a	66	34

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

Si bien a los 74 días post-trasplante (cuadro N° 8), no se observaron diferencias estadísticas significativas en peso de hojas, tallos y frutos, en IAF, en área foliar, ni en área foliar específica, todos los tratamientos se comportaron estadísticamente iguales, el IAF y el AF mostraron una tendencia a ser mayor en el tratamiento 100% de ETC.

Cuadro N° 8 – Respuesta en el tamaño de las plantas a los 74 días post-trasplante (inicio de cosecha) según tratamientos.

Tratamiento	MS hojas g planta ⁻¹	MS tallos g planta ⁻¹	MS frutos g planta ⁻¹	IAF	Área foliar cm ² planta ⁻¹	Área foliar específica cm ² gMS ⁻¹	Hojas %	Tallos %	Frutos %
Secano	61,5 a	34,2 a	94,2 a	2,96 a	8882 a	136,7 a	32	18	50
50%	53,2 a	37,3 a	101,6 a	2,65 a	7945 a	149,3 a	28	19	53
100%	63,8 a	39,4 a	102,4 a	3,50 a	10488 a	160,9 a	31	19	50

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

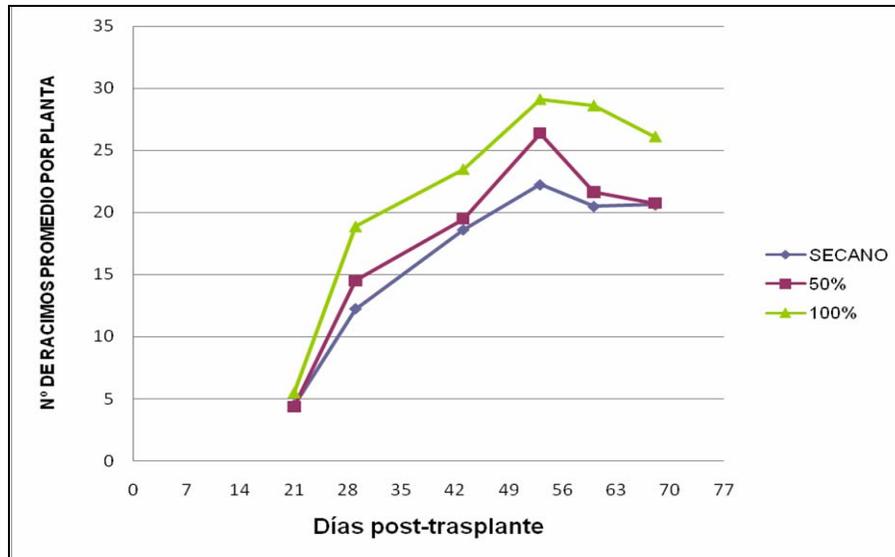
El AFE presentó una tendencia a ser mayor al agregar más agua y superior a otras investigaciones realizadas. Analizando la partición de MS a los diferentes órganos, se puede ver que fue similar para todos los tratamientos. El nivel de MS en hojas estuvo en el entorno del 30%, el nivel de MS de tallos en 19% y el nivel de MS de frutos en 51%. Estos valores son similares a los citados por Núñez y Palloti, 2004. Las mediciones y cálculos correspondientes confirmaron lo que era apreciable en el campo a simple vista y es que el crecimiento vegetativo fue similar para todos los tratamientos.

4.5 CRECIMIENTO Y DESARROLLO REPRODUCTIVO

4.5.1 Racimos

En la figura N° 30, se muestra la evolución del número de racimos promedios por planta según tratamientos. El máximo número de racimos por planta se alcanzó a los 53 días post-trasplante. Para los tratamientos secano, 50% y 100% de ETc dicho número fue 23, 26 y 28 respectivamente. Estos valores son superiores a los citados (16 racimos por planta) por Núñez y Palotti (2004).

Figura N° 30 – Evolución del número promedio de racimos por planta según tratamientos.



En las observaciones realizadas en los días 21, 43 y 68 post-trasplante, no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro N° 9). En los días 53 post-trasplante el secano mostró diferencias significativas con los tratamientos regados. En los días 29 y 60 post-trasplante los tres tratamientos mostraron diferencias significativas entre sí.

Cuadro N° 9 – Análisis de la varianza del número de racimos promedio por planta para diferentes fechas según tratamientos.

Tratamientos	Días post-trasplante					
	21	29	43	53	60	68
Secano	a	a	a	a	a	a
50%	a	b	a	b	b	a
100%	a	c	a	b	c	a

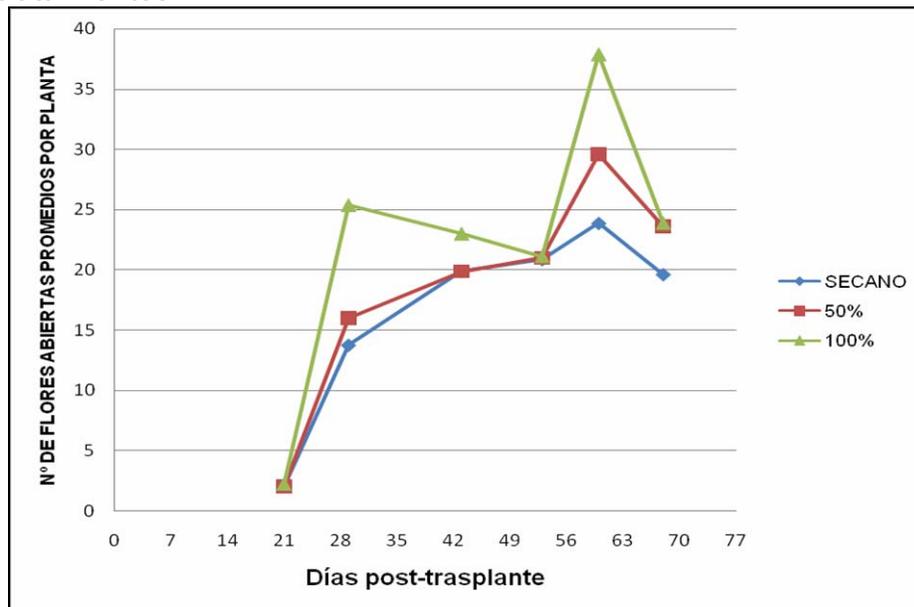
Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

4.5.2 Floración

En la figura N° 31, se puede ver la evolución del número de flores abiertas en función del tiempo. El inicio de la floración empezó para todos los

tratamientos aproximadamente a los 24 días post-trasplante y la plena floración se alcanzó entre los días 30 y 45 post-trasplante. Se observó otro pico de floración a los 60 días post-trasplante, no teniendo importancia desde el punto de vista productivo, pero sí desde el balance energético, debido al necesario consumo de fotoasimilados para que pueda ocurrir la misma.

Figura N° 31 – Evolución del número promedio de flores abiertas por planta según tratamientos.



Cuadro N° 10 – Análisis de la varianza del número promedio de flores abiertas por planta en diferente fechas según tratamientos.

Tratamientos	Días post-trasplante					
	21	29	43	53	60	68
Secano	a	a	a	a	a	a
50%	a	b	a	a	b	a
100%	a	c	a	a	c	a

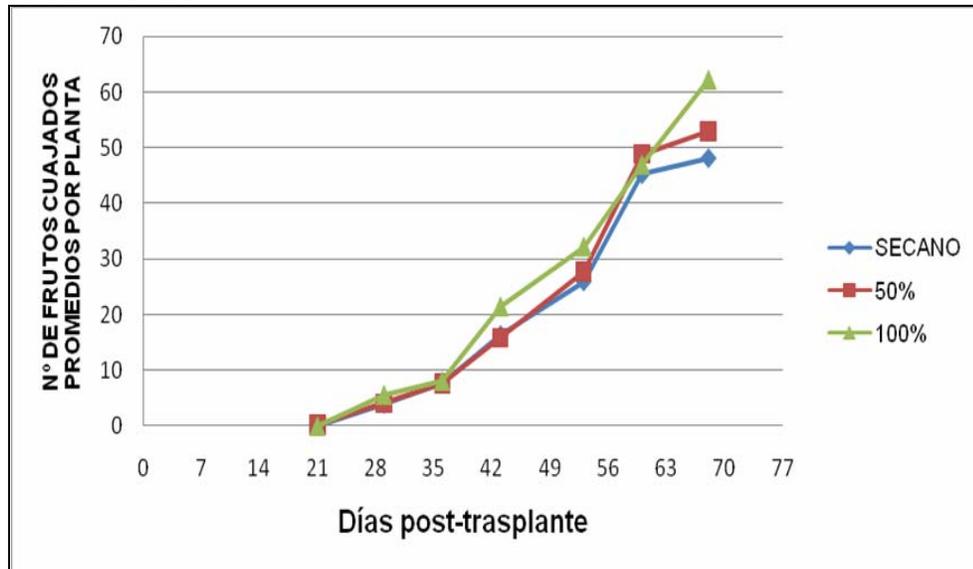
Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

No presentan diferencias estadísticas significativas, (Cuadro N° 10) en las observaciones realizadas los días post-trasplante 21, 43, 53 y 68, todos los tratamientos se comportaron estadísticamente iguales. En cambio sí hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos en las determinaciones correspondientes a los días 29 y 60 post-trasplante.

4.5.3 Cuajado de frutos

En la figura N° 32, se ve la evolución del número de frutos cuajados promedios por planta según tratamientos. El inicio de cuajado ocurrió aproximadamente en todos los tratamientos a los 29 días post-trasplante. El pleno cuajado se alcanzó entre los días 40 y 60 post-trasplante para todos los tratamientos.

Figura N° 32 – Evolución del número promedio de frutos cuajados por planta según tratamientos.



Cuadro N° 11 – Análisis de la varianza del número promedio de frutos cuajados por planta en diferente fechas según tratamientos.

Tratamientos	Días post-trasplante						
	21	29	36	43	53	60	68
Secano	a	a	a	a	a	a	a
50%	a	a	a	a	a	a	a
100%	a	a	a	a	b	a	a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$)

Únicamente en la observación realizada el día 53 post-trasplante, los tratamientos secano y 50% de ETC fueron estadísticamente iguales y diferentes

al tratamiento 100% de ETc. Para el resto de las observaciones todos los tratamientos se comportaron estadísticamente iguales. El número promedio de frutos en los días 52 y 62 post-trasplante fue aproximadamente 27 y 48 frutos respectivamente. Núñez y Palloti (2004), citan valores a los 52 y 62 post-trasplante de aproximadamente 40 y 45 frutos respectivamente.

4.6 RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO

El sistema de conducción propuesto dio muy buenos resultados. Mantuvo las plantas erguidas permitiendo el libre tránsito entre las parcelas.

4.6.1 Fruto comercial

Cuadro N° 12 - Rendimientos total, comercial y materia seca comercial por ha y por planta según tratamientos.

Tratamiento	kg ha ⁻¹			kg planta ⁻¹		
	Rendimiento total	Rendimiento comercial	Rendimiento comercial Materia seca	Rendimiento total	Rendimiento comercial *	Rendimiento comercial Materia seca
Secano	42717 a	35414 a	4076 a	1,283 a	1,063 a	0,122 a
50%	71475 b	65009 b	6091 b	2,119 b	1,926 b	0,181 b
100%	94083 c	86080 c	7290 b	2,758 c	2,524 b	0,214 b

* DMS = 0.64366

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

Las variables de producción analizadas: rendimiento total en kg planta⁻¹ y en kg ha⁻¹, así como el rendimiento de fruto comercial en kg ha⁻¹, expresados en base fresca tuvieron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro N° 12). Mientras que el rendimiento comercial en materia seca en kg planta⁻¹ y en kg ha⁻¹, al igual que el rendimiento comercial en kg planta⁻¹, tuvieron diferencias significativas entre el secano y los tratamientos regados. Los tratamientos regados no difirieron estadísticamente entre sí, en el análisis de estas variables. Estos valores son superiores a los obtenidos por los productores a nivel del país, a los registrados por Núñez y Palotti (2004), y similares a los citados por González *et al.*, 2007.

4.6.2 Frutos de descarte

Cuadro N° 13 – Frutos de descarte, frutos con podredumbres apical, frutos podridos y quemados por él sol, expresados en kg ha⁻¹ y kg planta⁻¹ (en base fresca) según tratamientos.

Tratamiento	kg ha ⁻¹			kg planta ⁻¹		
	Descartes	Podredumbre apical	Podridos y quemados por él sol	Descartes	Podredumbre apical	Podridos y quemados por él sol
Secano	7303 a	5982 a	1321 a	0,221 a	0,181 a	0,040 a
50%	6466 a	4872 a	1594 a	0,193 a	0,145 a	0,048 a
100%	8003 a	6183 a	1820 a	0,234 a	0,181 a	0,053 a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey p<=0.05)

No hubo diferencias significativas en los kg ha⁻¹ y kg planta⁻¹ de los frutos de descarte, con podredumbres apical, podridos y quemados por él sol (Cuadro N° 13).

Cuadro N° 14 – Rendimiento comercial, descartes y composición de descarte, en valores relativos respecto al rendimiento total, según tratamientos.

Tratamiento	Rendimiento comercial	Total descartes	Podredumbre apical	Podridos y quemados por el sol
Secano	81,07% a	18,93% a	15,48% a	3,46% a
50%	90,73% a	9,27% a	6,96% a	2,30% a
100%	91,35% a	8,65% a	6,71% a	1,95% a

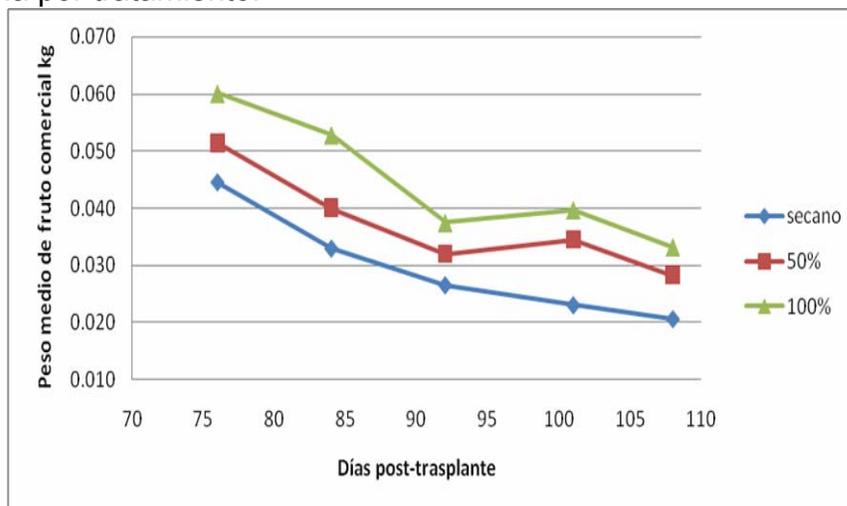
Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey p<=0.05)

Si bien no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, se observa una tendencia clara a favor del mayor agregado de agua, es mayor el rendimiento comercial y a su vez menor la cantidad de descarte (Cuadro N° 14). El tratamiento secano presentó un 18,93% de descartes, siendo el principal problema la podredumbre apical representado un 15,48%, en tanto los frutos podridos y quemados por el sol fueron 3,46% de la producción total.

4.6.3 Peso medio de frutos

Según se aprecia en la figura N° 33, la evolución del peso medio de fruto comercial fue disminuyendo hacia el final del ciclo del cultivo. Esto se debe a que los frutos cosechados al comienzo no sufrieron la competencia, por eso son más grandes. Luego hacia el final del ciclo, producto de la alta competencia de frutos y senescencia del aparato fotosintético hubo una disminución del peso medio. Solo se mantuvo estable en los tratamientos 50% y 100% de ETC para la 3^{er} y 4^{ta} cosecha, en los días 92 y 101 post-trasplante respectivamente. Las cosechas 3 y 5 no presentaron diferencias significativas. Para las cosechas 1 y 2 los tratamientos secano y 50% de ETC son iguales y diferentes al 100% de ETC. Mientras que para la cosecha 4 el tratamiento 50% y 100% de ETC son iguales y diferentes del secano.

Figura N° 33 – Evolución del peso medio de fruto comercial (kg) según fecha de cosecha por tratamiento.



El peso medio promedio del fruto comercial con su respectivo análisis estadístico, fue para el tratamiento secano 0,030 kg (a), para el tratamiento 50% de ETC fue 0,037 kg (ab) y para el tratamiento 100% de ETC fue mayor, 0,045 kg (b). Por lo tanto los tratamientos secano y 100% de ETC se comportaron estadísticamente diferentes, mientras que el 50% de ETC tiene la misma probabilidad de ser igual a los restantes. Estos valores de peso medio concuerdan con las características del cultivar Loica y con los resultados encontrados por Núñez y Palotti, 2004.

El peso medio de fruto con podredumbre apical para las cosechas 1 y 3 no presentó diferencias estadísticas significativas. Para la cosecha 2 todos los

tratamientos son diferentes. La cosecha 4 presenta los tratamientos seco y 50% de ETc iguales y diferentes al 100% de ETc. Por último la cosecha 5 el tratamiento seco y 100% de ETc, se comportan estadísticamente diferentes, en tanto el tratamiento 50% de ETc es estadísticamente igual al resto de los tratamientos.

Analizando el peso medio promedio de frutos con podredumbre apical y su correspondiente corrida estadística para el tratamiento seco, correspondió a 0,017 kg (a), para el tratamiento 50% de ETc estuvo en el entorno de 0,023 kg (b) y para el tratamiento 100% de ETc ascendió a 0,030 kg (c). Todos los tratamientos se comportaron diferentes. Estos valores son producto de que cuando se formaron y comenzaron a crecer esos frutos hubo un déficit importante de agua impidiendo que se incorporara correctamente el calcio hacia los mismos. El peso medio de fruto podrido y quemado por él sol, no presentaron diferencias estadísticas significativas, todos los tratamientos fueron iguales. Mientras que analizando el peso medio promedio de fruto podrido y quemado por él sol y su correspondiente corrida estadística para el tratamiento seco, correspondió a 0,013 kg (a), para el tratamiento 50% de ETc estuvo en el entorno de 0,019 kg (ab) y para el tratamiento 100% de ETc ascendió a 0,021 kg (b). Por lo tanto los tratamientos seco y 100% de ETc se comportaron estadísticamente diferentes, mientras que 50% de ETc tiene la misma probabilidad de ser igual a los restantes.

4.6.4 Número de frutos por planta

Cuadro N° 15 – Número de frutos cosechados por planta, número de frutos comerciales, número de frutos con podredumbres apical, número de frutos podridos y quemados por él sol, expresados por planta con sus correspondientes valores relativos respecto al número de frutos total planta⁻¹ según tratamientos.

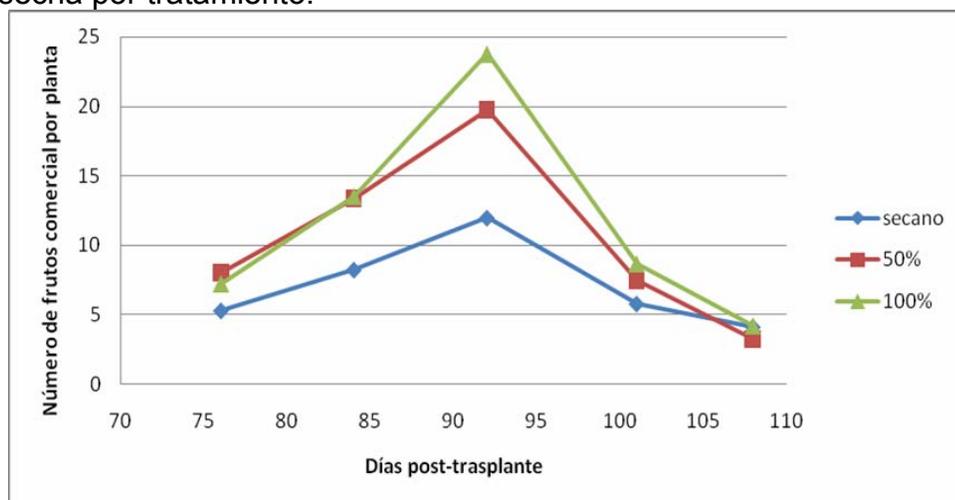
TRATAMIENTO	Frutos total planta ⁻¹		Frutos comercial planta ⁻¹		Frutos podredumbre apical planta ⁻¹		Frutos quemados por sol planta ⁻¹		Frutos podridos planta ⁻¹	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Secano	49 a	100	35 a	72	10 a	21	2 a	3	2 a	3
50%	61 ab	100	52 ab	85	6 a	10	1 a	2	1 a	2
100%	66 b	100	57 b	87	6 a	8	1 a	2	2 a	2

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey p<=0.05)

Según el cuadro N° 15, el número de frutos total planta⁻¹ y el número de frutos comercial planta⁻¹, presentan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos secano y 100% de ETc, en tanto para el tratamiento 50% de ETc es estadísticamente igual al resto de los tratamientos. El resto de las variables no presentan diferencias significativas. En cambio para el número de frutos con podredumbre apical se puede observar una tendencia a valores superiores al aumentar el déficit de agua. El mayor porcentaje de frutos cosechados se da en la 3^{er} cosecha, a los 92 días post-trasplante, momento en que se da el pico de producción de frutos. Presentan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos secano y 100% de ETc, en tanto para el tratamiento 50% de ETc es estadísticamente igual al resto de los tratamientos. En el resto de las cosechas no hay diferencias, todos los tratamientos son estadísticamente iguales, para las dos variables mencionadas anteriormente. La evolución del número de frutos total, promedio por planta, según fecha de cosecha por tratamiento fue igual a la de frutos comerciales.

Como se puede ver en la figura N° 34, para el número de frutos comerciales las cosechas 1, 4 y 5 no hay diferencias estadísticas entre tratamientos. En la cosecha 2 el tratamiento secano es diferente al resto, mientras los tratamientos 50% y 100% de ETc son iguales. Para la cosecha 3 el tratamiento secano y 100% de ETc, se comportan estadísticamente diferentes, en tanto el tratamiento 50% de ETc es estadísticamente igual al resto de los tratamientos.

Figura N° 34 - Número de frutos comercial, promedio por planta según fecha de cosecha por tratamiento.



Analizando los componentes del rendimiento, (Cuadro N° 16) vemos que las diferencias en el número de frutos por planta estuvieron dadas por el número de racimos por planta. El número de frutos por racimo no presentó diferencias estadísticas significativas, comportándose todos los tratamientos estadísticamente iguales.

Cuadro N° 16 – Número de racimos, N° frutos total racimo⁻¹ y N° frutos comercial racimo⁻¹ expresados en promedios por planta según tratamientos.

Tratamiento	Promedios por planta		
	Nº Racimos	Nº Frutos total racimo ⁻¹	Nº Frutos comercial racimo ⁻¹
Secano	20,5 a	2,4 a	1,7 a
50%	21,6 b	3,0 a	2,5 a
100%	28,6 c	2,3 a	2,0 a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

Para el número de frutos por racimo los datos son similares a los resultados encontrados por Núñez y Palotti, 2004 y similares a los citados por Berrueta, 2008. En cambio para el número de racimos por planta estos mismos autores citan valores que van entre 16 y 19 racimos por planta, como se puede apreciar son valores inferiores a los de este ensayo.

Analizando el número de frutos con podredumbre apical para la cosecha 1, el tratamiento seco fue diferente al resto, mientras los tratamientos 50% y 100% de ETc son iguales. La cosecha 2 no presentó diferencias estadísticas. Las cosechas 3 y 5 el tratamiento seco y 100% de ETc, se comportaron estadísticamente diferentes, en tanto el tratamiento 50% de ETc fue estadísticamente igual al resto de los tratamientos. Por último la cosecha 4 presenta todos los tratamientos diferentes. Mientras que el número de frutos quemados por el sol y el número de frutos podridos no presentaron diferencia estadísticas significativas, todos los tratamientos se comportan iguales para todas las cosechas.

4.6.5 Número de frutos por m²

En el cuadro N° 17, se puede observar que el número de frutos total y comercial por m², presentó una tendencia a aumentar debido al agregado de agua. En ambos casos el tratamiento seco es diferente a los tratamientos con riego, los cuales son estadísticamente iguales.

Cuadro N° 17 – Número de frutos cosechados por m² para las diferentes categorías evaluadas según tratamientos.

TRATAMIENTO	Nº frutos total por m ²	Nº frutos comercial por m ²	Nº frutos con podredumbre apical por m ²	Nº frutos quemados por el sol por m ²	Nº frutos podridos por m ²
Secano	162 a	117 a	34 a	5 a	5 a
50%	206 b	175 b	21 a	5 a	4 a
100%	225 b	196 b	19 a	4 a	5 a

Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

Con respecto al número de frutos comerciales por m², el tratamiento 50% de ETc superó al seco en un 50%. El tratamiento 100% de ETc superó al tratamiento seco y al 50% de ETc en 68% y 12% respectivamente. También se desprende que no hay diferencias estadísticas significativas para las variables número de frutos con podredumbre apical, número de frutos quemados por el sol y número de frutos podridos, todas en promedios por m² según tratamiento. Los valores de número de frutos total y comercial por m², fueron superiores a los citados, mientras que la cantidad de frutos podridos fue menor respecto a otros ensayos Núñez y Palotti, 2004.

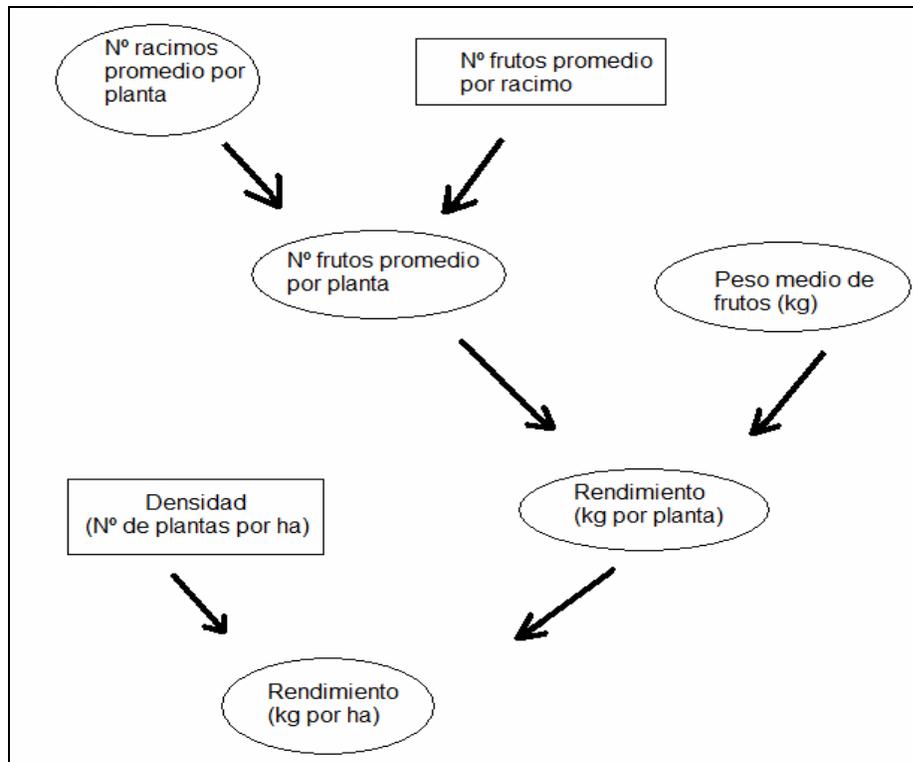
4.6.6 Componentes del rendimiento

Los componentes del rendimiento que presentaron diferencias significativas entre los tratamientos son los ubicados en las elipses (figura N° 35).

Luego de analizar la información fue posible determinar cuáles fueron los componentes del rendimiento que explicaron las diferencias estadísticas encontradas entre los diferentes rendimientos alcanzados para cada tratamiento. El componente que explicó en mayor medida los rendimientos logrados fue el N° de frutos promedio por planta, el cual es explicado por un mayor N° de racimos promedio por planta. Coinciden con otros resultados encontrados (Berrueta, 2008). Otro componente que presentó diferencias estadísticas

significativas fue el peso medio de fruto, el cual se diferenció de otros ensayos (Scarlato, 2009).

Figura N° 35 – Análisis estadístico entre tratamientos para los componentes del rendimiento.



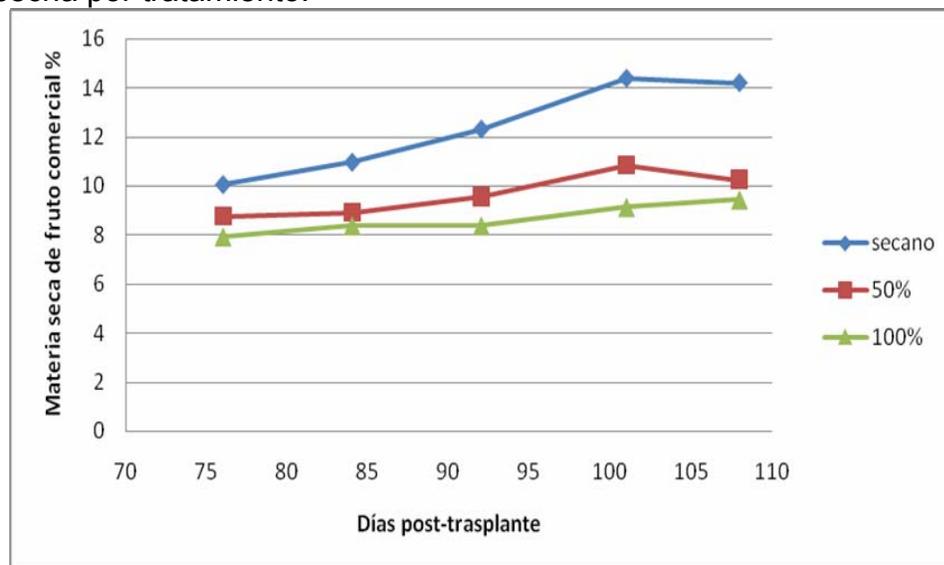
Elipses indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

4.6.7 Evolución del porcentaje de materia seca en frutos

En la figura N° 36, se muestran los valores de MS, estos aumentaron en todos los casos hacia el final del ciclo, observándose una relación inversa entre MS y agregado de agua. Estadísticamente el tratamiento seco se comportó diferente a los regados presento mayor nivel llegando a un promedio 12,38% de MS. En tanto los tratamientos 50% y 100% de ETC presentaron promedios de 9,67% y 8,64% de MS respectivamente, no se diferenciaron significativamente entre sí.

Analizando estadísticamente por cosecha, el tratamiento seco (a) se comportó diferente a los tratamientos regados (b) en la 1^{era}, 2^{da}, 3^{era} y 5^{ta} cosecha. En tanto los tratamientos 50% (b) y 100% (b) de ETc para las anteriores cosechas no presentaron diferencias significativas. En la 4^{ta} cosecha, el tratamiento seco (a) se comportó diferente del 100% (b) de ETc, mientras que el tratamiento 50% (ab) de ETc, presentó la misma probabilidad de ser igual a los restantes tratamientos.

Figura N° 36 - Promedio de materia seca (%) de fruto comercial según fecha de cosecha por tratamiento.



Estos valores son superiores a los citados en otras investigaciones González *et al.*, 2007.

4.7 EXPLORACIÓN RADICULAR

Según la figura N° 37 (anexo N° 1, página 82) en el tratamiento seco las raíces son de mayor diámetro que el resto de los tratamientos, presentando solo un sistema fibroso en los primeros 10 cm de profundidad. La mayoría de las raíces están en el entorno de los 25 a 30 cm, existiendo algunas raíces que exploran hasta los 40 cm de profundidad en busca de agua.

Como muestra la figura N° 38 (anexo N° 2, página 83) en el tratamiento 50% de ETc la profundidad radicular es intermedia, entre la de los tratamientos secano y 100% de ETc. Existe un sistema fibroso con diámetros en el entorno de 1 a 2 mm en los primeros 15 cm de profundidad y otras raíces de mayor diámetro aproximadamente de 2 a 3 mm que llegan hasta los 35 cm de profundidad en busca de agua. En este caso existe una diferencia importante con el tratamiento secano y es que para el tratamiento 50% de ETc la densidad de raíces en profundidad es mayor. Es posible inferir que probablemente esto se deba a que al disponer de más agua pudo generar y disponer de más energía para el crecimiento radicular.

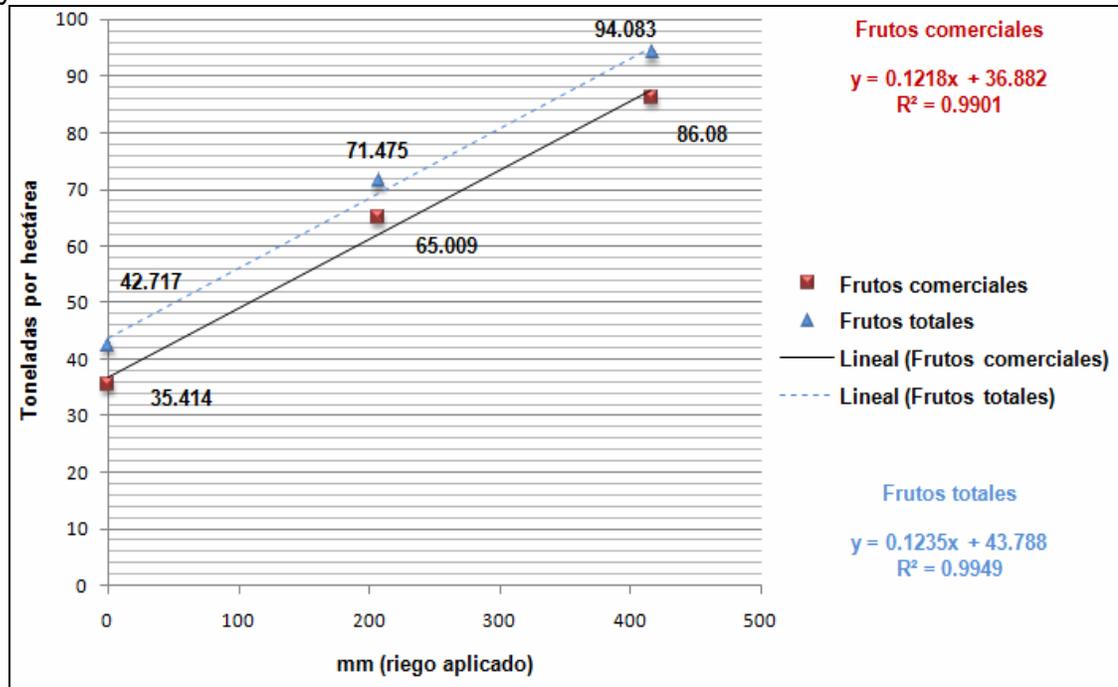
Mientras que para el tratamiento 100% de ETc, según se puede observar en la figura N° 39 (anexo N° 3, página 84) el crecimiento radicular se da en los primeros 20 cm de profundidad, llegando algunas a diámetros en el entorno de los 2 a 3 mm hasta los 30 cm de profundidad. El mismo está compuesto por un sistema fibroso, donde la mayoría de las raíces tienen igual diámetro, aproximadamente en el entorno de 1 a 2 mm.

4.8 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

A continuación se presenta a modo ilustrativo la relación entre el riego aplicado y el rendimiento total y comercial. Como se aprecia en la figura N° 40, el rendimiento comercial y total expresado en toneladas ha^{-1} presentan un comportamiento lineal respecto a los mm de agua aplicada, siendo el coeficiente de determinación alto y positivo ($R= 0,99$). Similar comportamiento se registro al analizar el efecto de las láminas de riego sobre el rendimiento comercial de materia seca (Anexo N° 4, Figura N° 41, página 85).

No fue objetivo de este experimento analizar la eficiencia en el uso del agua. Para poder analizar correctamente el nivel de eficiencia en el uso del agua, se debería contabilizar la totalidad del agua utilizada por el cultivo mediante un balance diario entre entradas y salidas del sistema suelo-planta-atmósfera. Este balance debería realizarse en forma separada para los tres tratamientos de riego, dado que la efectividad de las lluvias va a depender, entre otros, del contenido de humedad del suelo en el momento del evento de precipitación el cual será diferente en los tres tratamientos.

Figura N° 40 – Efecto de las láminas de riego (mm) sobre el rendimiento total y comercial de frutos.



Dado los resultados obtenidos es posible sacar algunas conclusiones al respecto. Hay que tener en cuenta que no toda el agua que llovió fue utilizada, por lo tanto para el agua de lluvia la eficiencia fue menor al 100%. Con respecto a la eficiencia de aplicación del agua de riego si bien no se midió, se puede afirmar que fue cercana al 100%, debido a que no ocurrió percolación profunda y el cultivo utilizó toda el agua aplicada. Al contrario de lo hallado por García (2002), el cual plantea que el riego localizado en montes frutales presenta baja eficiencia en el uso del agua debido a la percolación profunda. Para las condiciones del experimento, el máximo rendimiento comercial (86 toneladas ha^{-1}) se obtuvo con 416 mm aplicados. La relación entre rendimiento y mm aplicados fue lineal en el rango de observación (0 – 416 mm).

4.9 COMENTARIOS FINALES

Para finalizar es importante dar algunas recomendaciones, a aquellos productores interesados en ser más eficientes en el manejo del agua para riego. Ya que para muchos de ellos el recurso agua con que cuentan, es limitante y les impide poder llevar adelante sus cultivos correctamente. La selección del

área donde se va a desarrollar el cultivo es fundamental, es necesario que el suelo sea estructurado y tenga adecuados niveles de materia orgánica. Para la labranza es conveniente el uso de herramientas verticales (cincel) para asegurar un adecuado movimiento del suelo en profundidad. Esto permitirá que las raíces tengan mayor crecimiento y exploración radicular. Otro factor a tener en cuenta es la densidad de plantación. Esto quedó de manifiesto en el ensayo, un suelo Brunosol de textura franco arcillosa con 3,3% de materia orgánica y con una densidad de plantación de 33333 plantas ha⁻¹ fue posible obtener para el tratamiento seco 35414 kg ha⁻¹ de rendimiento de fruto comercial (aproximadamente un rendimiento 66% superior al promedio del país). Hay que destacar que el cultivo de tomate puede ser trasplantado para la región sur desde mediados del mes de octubre hasta mediados de diciembre sin comprometer rendimiento y calidad de frutos (González, 2006). Es necesario tener en cuenta el momento crítico que va desde floración hasta 1^{er} cosecha según García, C., *et al.*, 2007, (en este ensayo el período de riego fue entre los días 16 hasta los 87 post-trasplante). Conocidas estas condiciones es posible implementar el riego de modo escalonado lo que permitiría el ahorro de agua, ya que algunos de esos cultivos escaparían a la máxima demanda atmosférica, que se da como ocurrió en este experimento en el mes de enero. La planificación es la siguiente, tratar de que en cada cuadro el cultivo o los cultivos estén en diferentes fases de crecimiento (siembra, trasplante, estado vegetativo, estado reproductivo y cosecha). Esto evitaría que ocurriera un pico de demanda y que la misma fuera de menor magnitud y más desplazada en el tiempo. Además permitiría que eventuales lluvias puedan ser utilizadas por los cultivos y recargar fuentes de agua existentes (principalmente cañadas y arroyos). A partir de los resultados obtenidos queda claro que no es necesario cubrir un 100% de la demanda de agua que requiere el cultivo. En este trabajo cubriendo un 64% de la demanda se obtuvo un rendimiento comercial por encima de las 65 toneladas ha⁻¹, casi un 300% superior al rendimiento promedio del país. Quedó de manifiesto en este experimento, que con estos valores de demanda cubierta se logran importantes rendimientos y además una alta eficiencia en el uso del agua.

5. CONCLUSIONES

No se observaron diferencias estadísticas significativas en crecimiento vegetativo. El IAF y el AF presentaron una tendencia a ser mayor en el tratamiento 100% de ETc. En tanto el AFE presentó una tendencia a ser mayor al agregar más agua y superó a otras investigaciones realizadas. La partición de MS a los diferentes órganos no fue influenciada por los distintos niveles de riego. Los rendimientos fueron superiores a los promedios obtenidos a nivel del

país por los productores aún en el tratamiento seco y similares a los obtenidos a nivel de la investigación en todos los tratamientos de riego. A mayor agua aportada se obtuvo mayor rendimiento total y comercial, mayor número de frutos por planta, mayor número de frutos por m^2 , y una tendencia a menor cantidad de descartes y menor número de frutos con podredumbre apical. El peso medio de los frutos cosechados disminuyó hacia las últimas cosechas. Los frutos comerciales presentaron bajo peso medio y niveles de materia seca superiores a los citados en otros experimentos. Los componentes que explicaron en mayor medida los rendimientos logrados fueron el N° de frutos promedio por planta, el cual es explicado por un mayor N° de racimos promedio por planta, y el peso medio de fruto que también presentó diferencias significativas entre el seco y el 100% de ETc. El nivel de MS de frutos comerciales fue significativamente superior en el tratamiento seco respecto a los tratamientos regados, aumentaron hacia el final del ciclo del cultivo, e igual tendencia se observó al disminuir el aporte de agua. Un suelo estructurado y con adecuados niveles de materia orgánica no presenta limitantes para obtener altos rendimientos y calidad de frutos aún en seco. El crecimiento radicular en el tratamiento 100% de ETc presentó una alta densidad en los primeros 20 cm de suelo, en tanto para el resto de los tratamientos hubo una exploración mayor con menor densidad de raíces y de mayor diámetro. No existió percolación profunda, el cultivo absorbió toda el agua aportada, por lo tanto hubo una alta eficiencia de aplicación en el agua de riego. El rápido aumento de tensión que se da entre los días 29 y 51 post-trasplante podría indicar que la fase de rápido crecimiento utilizada en la estimación de las necesidades de riego tuvo una duración menor de los 30 días propuestos. Asimismo el valor del kc máximo podría llegar a ser mayor al 1,15 propuesto por FAO. La diferencia entre la demanda del cultivo y el aporte del agua realizada por el riego ocasionó un estrés suave en esta etapa que contribuyó al desarrollo radicular del cultivo lo cual favoreció el aprovechamiento del agua almacenada en el suelo a lo largo del ciclo.

8. BIBLIOGRAFIA

ALDABE DINI, L. 2000. Producción de hortalizas en Uruguay. Epsilon. 269 p.

ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration. FAO. Irrigation and Drainage. Paper N° 56. United Nations, Rome, Italy. 300 p.

BERRUETA, M. C. 2008. Análisis de los principales factores que afectaron el rendimiento en tomate para industria en la zafra 2007-2008. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 82 p.

BOUYOUCOS, G. S. 1936. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. Soil Science 4: 225-228.

CAMELO, A. 2003. Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas. FAO. Boletín de servicios agrícolas N° 151. United Nations, Rome, Italy. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4893S/y4893s04.htm>

GARCÍA, M. 2002. Respuesta a diferentes manejos del riego y balance hídrico de un huerto de citrus. Tesis Doctoral. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. 194 p.

_____; HAYASHI, R.; PUPPO, L. Y MORALES, P. 2005. Desarrollo del bulbo húmedo bajo riego localizado en suelos estratificados del Uruguay. Congreso Internacional de Riego y Drenaje. Cuba-Riego, la Habana, Cuba. 25-28 de octubre.

GARCIA, C.; VILARÓ, F.; GONZALEZ, M. 2007. Manejo del riego en el cultivo de tomate industria. Canelones, Uruguay, INIA. 48 p. (Actividades de difusión, N° 12).

GONZÁLEZ ARCOS, M. 2005. La cadena agroindustrial del tomate: El caso VALENTIN MARTINES & CÍA S.A. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 118 p.

_____.; 2006. Cultivar loica: Una alternativa en el cultivo de tomate para industria. Canelones, Uruguay. INIA. 4 p. (Hoja de divulgación, N° 95).

_____.; BERRUELA, C., CARBALLO, S. 2007. Evaluación de cultivares de Tomate para Industria. Canelones, Uruguay. INIA. 15 p. (Actividades de difusión, N° 494).

GUTIÉRREZ-RAVÉ, J.; PÁRRAGA, J.; DÍAZ, J. 2003. Determinación de la humedad de la capa arable del suelo en zonas semiáridas. España. Estudios de la zona no saturada del suelo. J. Álvarez-Benedí y P. Marinero. VI: 181-184.

HANSON, B.; MAY, D. 2006. Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management* 81: 381-399.

HAVERKAMP, R.; VAUCLIN, M.; VACHAUD, G. 1984. Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements: 1. Local standpoint. *Soil Science* 137(2): 78-90.

HEUVELINK, E. 1996. Dry Matter Partitioning in Tomato: Validation of a Dynamic Simulation Model. *Journal of Horticultural Science* 77: 71-80.

_____.; MARCELIS, M. 1996. Influence of assimilate supply on leaf formation in sweet pepper and tomato. *Journal of Horticultural Science* 71 (3): 405-414.

INIA, ESTACION EXPERIMENTAL LAS BRUJAS, 2009. Serie histórica climática para el periodo 1971-2001 (en línea). Montevideo. Disponible en <http://www.inia.org.uy/gras/>

INFOSTAT. 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

IMAGE J-140. 2007. National Institutes of Health. United State. Disponible en: <http://rsb.info.nih.gov/ij>

NUEZ, F. 1995. El Cultivo del Tomate. Madrid, Mundi-Prensa. 793 p.

NÚÑEZ F. A.; PALOTTI L. J. 2004. Efecto de la densidad en la productividad de tres cultivares de tomate para industria. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 63 p.

MAROUELLI, W.; SILVA, W. 2006. Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região de Cerrado. *In*: Embrapa Hortaliças, Brasília, DF, Brasil. Volumen 24, N° 3. Páginas 342-346.

MARTÍN DE SANTA OLALLA MAÑAS, F.; LOPEZ FUSTER, P.; CALERA BELMONTE, A. 2005. Agua y Agronomía. Madrid, España. Universidad de Castilla-La Mancha. Mundi-Prensa. 606 p.

MORALES, P. 2004. Efecto del riego y el fertirriego en Duraznero Forastero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 73 p.

_____; GARCIA, M.; HAYASHI, R.; PUPPO, L. 2010. Respuesta del duraznero a diferentes patrones de aplicación de agua. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 14(1).

ORTEGA FARIÁS, S.; CUENCA, R. 1996. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 81(12): 131 – 143.

_____. _____. 1998. Estimation of crop evapotranspiration by using the Penman-Monteith method with a variable canopy resistance. *Water Resources Engineering* 98, edited by Abt, S. R.; Young-Pezeshk, J.; Watson, C. C. American Society of Civil Engineers. v. 2, pp. 1806 – 1811.

_____; CALDERON, R.; ACEVEDO, C.; FUENTES, S. 2000. Estimación de la evapotranspiración real diaria de un cultivo de tomates usando la ecuación de Penman-Monteith. *Ciencia Investigacao Agraria* 27(2): 91 – 96.

- PASCUAL, B.; BARDISI, A.; LOPEZ GALARZA, S.; ALAGARDA, J.; MAROTO, J. 1998. Influencia del riego y del potencial matricial en el rendimiento y en el rajado del tomate. (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Fawell). In: Departamento de Producción Vegetal. ETSIA. Universidad Politécnica de Valencia. España. 19 p.
- PIZARRO, F. Riegos Localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. 2ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. 1990.
- RAMOS, C.; CASTEL, J.; GOMEZ DE BARREDA, D. 1985. La calibración de la sonda de neutrones en estudios de riego y evapotranspiración. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Moncada, España. In: Presentado en las IV Jornadas Técnicas sobre Riego. Murcia 1985. España. 8 p.
- REIS, L.; SOUZA, J.; AZEVEDO, C. 2009. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 13(3): 289 – 296.
- RICHARDS, L. A. 1947. Pressure-membrane apparatus construction and use. Agricultural Engineering 28: 451 – 454.
- SANTOS PEREIRA, L. 2004. Necesidades de água e métodos de rega. Publicações Europa-América. 312 p.
- SCARLATO, M. 2009. Efecto de diferentes niveles de estrés hídrico en el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de tomate para industria cv. Loica Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 84 p.
- SEA, 2009. REPÚBLICA DOMINICANA. Secretaria de estado de agricultura. Cultivos de tomate. Disponible en:
<http://www.agricultura.gob.do/Perfiles/Vegetales/tabid/80/language/es-DO/Default.aspx?PageContentID=133>

SILVA, A.; PONCE DE LEÓN, J.; GARCÍA, F., DURÁN, A. 1988. Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía. Boletín de Investigación N° 10. 20p.

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMÍA. 2006. Curso de horticultura 2006. (en línea). Montevideo. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~prodveg/index.html>

_____. _____. 2007. Introducción y ecofisiología de los cultivos de Tomate y Pimiento 2007. (en línea). Montevideo. Consultado 19 de abril de 2009. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~prodveg/index.html>

_____. _____. 2007. Curso de riego y drenaje 2007. (en línea). Montevideo. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/>

URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. DIEA, Anuario. 2008. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2008/Anuario2008/pages/DIEA-Anuario-2008-cd_122.html

URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. DIGEGRA. 2009. Plan tomate. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/Digegra>

VAUCLIN, M.; HAVERKAMP, R.; VACHAUD, G. 1984. Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements: 2. Spatial standpoint. Institut de Mécanique. Université Scientifique et Médicale de Grenoble. Cedex, France. In: Soil Science. The Williams & Wilkins Co. USA. Volume 137, N° 3. Pages 141-148.

9. ANEXOS

Anexo N° 1 - Figura N° 37 – Exploración radicular en el tratamiento seco.



Anexo N° 2 - Figura N° 38 – Exploración radicular en el tratamiento 50% de ETC.



Anexo N° 3 - Figura N° 39 – Exploración radicular en el tratamiento 100% de ETC.



Anexo N° 4 - Figura N° 41 – Efecto de las láminas de riego (mm) sobre el rendimiento comercial de Materia seca.

