



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

TESIS DE MAESTRÍA

**INFLUENCIA DEL DÉFICIT HÍDRICO EN DIFERENTES ETAPAS
FENOLÓGICAS SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ZAPALLO**

***Cucurbita moschata* Duch. cv. Cokena INTA**

Tesista: Ing. Agr. Julieta Dalmaso

Director: Ing. Agr. (M.Sc.) Víctor M. Lipinski

Co-Directora: Dra. Ing. Agr. M. Flavia Filippini

Mendoza, Diciembre de 2016



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TESIS DE MAESTRÍA

**INFLUENCIA DEL DÉFICIT HÍDRICO EN DIFERENTES ETAPAS
FENOLÓGICAS SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL ZAPALLO**

***Cucurbita moschata* Duch. cv. Cokena INTA**

MAGISTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE

Tesista: Ing. Agr. Julieta Dalmaso

Director: Ing. Agr. (M.Sc.) Víctor M. Lipinski

Co-Directora: Dra. Ing. Agr. M. Flavia Filippini

Mendoza, Diciembre de 2016

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi especial agradecimiento a mi director de Tesis, M.Sc. Víctor Lipinski, por su constante apoyo durante todos estos años, por las enseñanzas recibidas y por la total confianza que depositó siempre en mí. Así mismo un agradecimiento muy especial a mi co-directora, Dr. M. Flavia Filippini, por su disposición y generosas contribuciones.

Al INTA institución que me enorgullece, por darme la posibilidad de continuar con mi formación y financiar el Posgrado.

Deseo dar las gracias también a todos aquellos que han colaborado de una u otra forma a que este trabajo saliera adelante, en especial a Segundo Ramírez, mi compañero de campo y a mi actual compañera de equipo Débora Lavanderos.

Gracias a todos los integrantes de la Cátedra de Química Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agrarias, Adriana Bermejillo, Matías Venier, Daniela Consoli, Antonella Porta y Analía Valdés por abrirme las puertas del laboratorio y acompañarme en las mediciones de campo. Gracias a Martín Viani y a los alumnos Vera, Julieta, Martín y Damián por la colaboración.

A José Morábito por la buena predisposición durante el cursado del posgrado.

A Carlos Schilardi de la Cátedra de Hidrología que desinteresadamente me prestó el instrumental de medición y me ayudó en el posterior análisis de los resultados.

A Joaquín Llera por las observaciones y notables interpretaciones del trabajo.

A José Luis Burba por su invaluable sentido crítico.

Finalmente, mi más profundo agradecimiento a mi familia, sin la cual nada de esto habría sido posible, y en especial a Cristian, por toda su paciencia e infinita contención.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	11
2. RESUMEN EN INGLÉS (ABSTRACT).....	12
3. INTRODUCCIÓN.....	13
4. ANTECEDENTES.....	15
4.1. Producción y superficie a nivel mundial y nacional.....	15
4.2. Mercado en Argentina y el mundo.....	15
4.3. Generalidades del género <i>Cucurbita</i>	16
4.4. Adaptación al ambiente.....	18
4.5. Descripción botánica del género <i>Cucurbita</i>	18
4.6. Modo de multiplicación.....	19
4.7. Diversidad de <i>Cucurbita moschata</i>	20
4.8. Características de la cultivar Cokena INTA.....	20
4.9. Generalidades del riego.....	22
4.10. Efectos del Riego Deficitario Controlado (RDC).....	28
4.11. Hipótesis.....	30
4.12. Objetivos.....	30
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
5.1. Sitio y cultivo.....	31
5.2. Características edafológicas.....	32
5.3. Datos meteorológicos.....	33
5.4. Tratamientos.....	34
5.5. Diseño experimental.....	35
5.6. Necesidades hídricas del cultivo.....	35
5.7. Manejo agronómico.....	38
5.8. SUELO.....	42
5.8.1. Determinación de la capacidad de campo y agua disponible. 42	

5.8.2. Infiltración.....	43
5.8.3. Densidad aparente y Porosidad.....	47
5.8.4. Análisis físico químico del suelo.....	49
5.8.5. Monitoreo de la humedad del suelo.....	50
5.8.6. Estudio del perfil del suelo y distribución de raíces.....	51
5.9. AGUA.....	52
5.9.1. Uniformidad del riego.....	52
5.9.2. Calidad del agua de riego.....	54
5.9.3. Manejo del riego deficitario controlado.....	55
5.10. PLANTA.....	55
5.10.1. Rendimiento y calidad de frutos.....	55
5.10.2. Factor respuesta del rendimiento.....	56
5.11. Análisis estadístico.....	57
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
6.1. Manejo del agua para riego.....	58
6.2. Valoración de la humedad del suelo.....	62
6.2.1. Sensores de humedad del suelo FDR.....	62
6.2.2. Bloques de resistencia sensores <i>Watermark</i>	63
6.2.3. Método gravimétrico.....	65
6.3. Producción total y comercial.....	67
6.4. Producción y calidad de semillas.....	71
6.5. Variables de calidad de los frutos.....	73
6.6. Eficiencia en el Uso del Agua.....	74
6.7. Factor de respuesta del rendimiento al estrés hídrico.....	79
7. CONCLUSIONES.....	81
8. RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	82
9. BIBLIOGRAFÍA.....	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características físico químicas del suelo correspondiente al área de estudio (La Consulta, San Carlos, Mendoza)	32
Tabla 2. Datos climáticos mensuales de la Estación Meteorológica INTA La Consulta, San Carlos, Mendoza, durante el período del ensayo	33
Tabla 3. Composición textural del suelo expresada en porcentaje (%) en cabecera y a dos profundidades.....	46
Tabla 4. Clasificación de un suelo según su porosidad total (%).....	48
Tabla 5. Evaluación de la uniformidad del equipo de riego utilizado en el ensayo.....	53
Tabla 6. Análisis químico del agua de pozo para riego	54
Tabla 7. Lámina total (riego+ppéf) en mm y relación alcanzada para cada tratamiento de riego, durante los tres períodos: crecimiento vegetativo inicial, floración, llenado y maduración de los frutos	61
Tabla 8. Promedio de producción total en $t\ ha^{-1}$, producción comercial ($t\ ha^{-1}$) número de frutos totales (NFT) y peso promedio por fruto ($kg\ fruto^{-1}$) en los diferentes tratamientos de riego para el cultivo de zapallo cultivar Cokena INTA, San Carlos, Mendoza	68
Tabla 9. Defectos en los frutos de zapallo Cokena INTA, expresados en porcentaje (%), en base al total de frutos producidos y diferenciados para cada tratamiento de riego	70

Tabla 10. Rendimiento de semillas (RS) en kg ha⁻¹ y su relación respecto del rendimiento de los frutos de zapallo Cokena INTA (RS/RF) afectados por los tratamientos de riego.....71

Tabla 11. Porcentaje de poder germinativo a los 4 días (PG4), porcentaje de poder germinativo a los 8 días (PG8) y peso de mil semillas (PMS) de zapallo C. moschata cv. Cokena INTA, para los cuatro tratamientos.....72

Tabla 12. Parámetros de calidad en frutos de zapallo cultivar Cokena INTA luego de los tratamientos de riego74

Tabla 13. Eficiencia del uso del agua (EUA) para el rendimiento total (EUA Rto Total) y comercial (EUA Rto Comercial) y número de frutos totales (EUA FT), evaluado en cada uno de los tratamientos77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Centros de origen en el Continente Americano de las especies cultivadas de <i>Cucurbita</i>	17
Figura 2. Imagen satelital del lugar del ensayo (Fuente: Google Earth). En rojo delimitación de la superficie total de la parcela donde se realizó el ensayo, ubicado en el campo experimental de la EEA INTA La Consulta.....	31
Figura 3. Representación de los tratamientos en las distintas etapas fenológicas consideradas del cultivo de zapallo: crecimiento vegetativo inicial, floración y maduración de los frutos.....	34
Figura 4. Diseño experimental del ensayo, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones.....	35
Figura 5. Coeficiente de cultivo (Kc) del zapallo en riego por goteo.....	37
Figura 6. Izquierda: Detalles de la preparación del terreno con tractor e implemento de rastra de discos. Derecha: Armado de camas con colocación simultánea de dos cintas de goteros, cubiertas por el acolchado plástico biodegradable.....	38
Figura 7. Túnel de protección antigranizo sobre el cultivo establecido de zapallo.....	40
Figura 8. Arriba: Establecimiento del cultivo y recolección durante la cosecha. Abajo: Determinación de sólidos totales y color de la pulpa del fruto.....	41

Figura 9. Representación de la curva de infiltración acumulada I_{cum} (mm) y la infiltración instantánea I_i ($mm\ h^{-1}$) el primer día sobre suelo seco. Arriba: en cabecera. Abajo: al pie del ensayo.....	44
Figura 10. Representación de la curva de infiltración acumulada I_{cum} (mm) y la infiltración instantánea I_i ($mm\ h^{-1}$) al segundo día sobre el suelo húmedo. Arriba: en cabecera. Abajo: al pie del ensayo.....	45
Figura 11. Izquierda: Distribución de raíces finas $< 2\ mm$ en el perfil del suelo. Derecha: Longitud de la raíz principal medida en cm.....	52
Figura 12. Precipitación efectiva semanal (p_{pef}), Evapotranspiración de referencia (E_{to}) y del cultivo (E_{tc}) por semana, en el tratamiento testigo.....	58
Figura 13. Evapotranspiración de referencia (E_{to}) y del cultivo (E_{tc}) acumuladas, precipitación efectiva (p_{pef}) y lámina de riego acumuladas en el tratamiento testigo.....	59
Figura 14. Lámina acumulada total (riego+ p_{pef}) en mm, para cada uno de los tratamientos durante el ciclo del cultivo de zapallo.....	61
Figura 15. Contenido de humedad del suelo a una profundidad de 30 cm en testigo y T2 medido con sonda <i>FDR</i>	62
Figura 16. Tensiometría a 60 cm de profundidad para el testigo (línea azul) y el T2 (línea roja).....	63
Figura 17. Tensión del agua del suelo (kPa) medidas a dos profundidades 30 y 60 cm en cabecera y pie del ensayo, en el testigo y T2.....	64

Figura 18. Tensión del agua del suelo (kPa) medidas a dos profundidades 30 y 60 cm en cabeza y pie del ensayo, en el testigo y T3.....	64
Figura 19. Tensión del agua del suelo (kPa) medidas a dos profundidades 30 y 60 cm en cabeza y pie del ensayo, en el testigo y T4.....	65
Figura 20. Humedad gravimétrica promedio del suelo a una profundidad de 30 cm, ubicadas en la cabecera del ensayo para cada uno de los tratamientos, durante el ciclo del cultivo de zapallo cv. Cokena INTA.....	66
Figura 21. Producción comercial (kg ha ⁻¹) respecto al volumen de agua total aplicada (m ³ ha ⁻¹) para cada tratamiento, en zapallo cv. Cokena INTA.....	75
Figura 22. EUA para el rendimiento comercial, expresada en kg mm ⁻¹ en cada uno de los tratamientos.....	76
Figura 23. Eficiencia del uso del agua en número de frutos totales (EUA FT) según tratamiento.....	78
Figura 24. Efecto del estrés hídrico en zapallo cv. Cokena INTA sobre el factor de respuesta de cultivo “ky”.....	79

1. RESUMEN

En Argentina, el zapallo (*Cucurbita* spp) es una hortaliza tradicional de gran importancia económica, social y alimenticia. En las zonas regadías del país, donde la producción de hortalizas pesadas como ésta desempeña un papel clave en la producción de alimentos, uno de los principales factores limitante es el agua, por lo que surge la necesidad de establecer estrategias eficientes en el manejo del recurso.

Para contribuir a la racionalización del uso del recurso hídrico, se estableció un ensayo de riego deficitario controlado (RDC) en zapallo tipo Anco, *Cucurbita moschata* Duch. cv. Cokena INTA. Se midieron variables de producción y calidad del producto final como así también variables externas al cultivo. El mismo tuvo lugar en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA La Consulta, en el Departamento de San Carlos, Mendoza. Los tratamientos fueron: riego a plena demanda hídrica durante todo el ciclo del cultivo, Testigo = 100 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y RDC reponiendo el 50 % de la ETc con respecto al testigo, en distintas etapas fenológicas preestablecidas: 50 % ETc al inicio de la etapa de crecimiento (T2), 50 % ETc durante el pico de floración (T3) y 50 % ETc al final de la etapa, en el llenado y maduración de los frutos (T4).

Los resultados indican que el déficit hídrico programado para cada etapa fenológica del cultivo no influyó diferencialmente en el rendimiento. Tampoco hubo respuesta estadísticamente significativa en cuanto a la calidad del producto obtenido. Sin embargo, la técnica de RDC permitió en el mejor de los casos, un ahorro de agua del 21 % durante el período de floración. El mismo T3 fue quien obtuvo la mayor eficiencia en el uso del agua.

El RDC se presentaría como una estrategia de manejo del riego en zonas ó años de limitantes hídricas, por su simplicidad y posibilidad de economizar el agua, sin influir drásticamente en los rendimientos y la calidad de producto.

Palabras clave: riego, *Cucurbita* spp., eficiencia en el uso del agua, restricción parcial de agua, zonas regadías.

2. ABSTRACT

Squash in Argentina is a traditional row crop of great economic, social, and food supply importance. In the irrigated areas of the country, where fleshy row crops such as this play an important role in food production, the main limiting factor is water. Thus, the need to develop efficient water use strategies is stressed.

In order to contribute to the rationing of water, an experiment in controlled deficit irrigation (DI) was designed in butternut squash (*Curcubita moschata* Duch.) cv. Cokena INTA. Quality and productivity variables were measured as well as external variables of the crop. The experiment took place in the Agropecuary Experimental Station INTA La Consulta, in the county of San Carlos, Mendoza. The treatments were: complete satisfaction of crop water demand during the entire crop cycle, DI supplying 50 % crop evapotranspiration (ET_c) of water demand during the initial phenological growth stage (T2), DI supplying 50 % ET_c of water demand during main flowering period (T3), and DI supplying 50 % ET_c of water demand during the later phenological stage of fruit maturation (T4).

The results indicate that DI had no effect on yield in any of the growth stages. Neither was there any statistically significant response in fruit quality among treatments. Never the less, the technique of DI provided a water savings, in the best case, of 21% during the flowering period. This treatment (T3) had the highest water use efficiency.

Due to its simplicity and opportunity to save water without influencing fruit quality, DI should be suggested as a water management strategy in regions or years with water limitations.

Key Words: Deficit Irrigation, *Cucurbita* spp., water use efficiency, irrigated regions.

3. INTRODUCCIÓN

La agricultura regadía desempeña un papel clave en la producción de alimentos. Los enormes progresos en la producción alimentaria en los últimos años han hecho posible proporcionar alimentos de mejor calidad. Sin embargo, frecuentemente, esto se logra a expensas de los recursos hídricos y de la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Una de las hortalizas más difundidas y cultivadas mundialmente es el zapallo. Desde el punto de vista socio-económico, el género *Cucurbita* es importante por formar parte de la alimentación básica en muchas regiones de América, Asia y Europa. A nivel mundial esta importancia se refleja en el aumento del área sembrada (Vallejo Cabrera y Estrada Salazar 2004).

En Argentina cada año se cultivan alrededor de 37.000 ha, con posibilidades de abastecer el mercado nacional durante todo el año y se estima que toda la cadena moviliza cuatrocientos treinta y cuatro millones de dólares al año. La superficie con zapallo en el país varía significativamente, influida por los cambios en los hábitos de producción y consumo. Esto se ve reflejado en el aumento de los rendimientos por unidad de superficie y la revalorización de la producción, por difusión de nuevas cultivares, de mayor uniformidad y mejores características de los frutos (Della Gaspera 2013).

En el medio rural, el agua es el factor de producción de mayor relevancia. Es por ello que se requiere la gestión para su uso agrícola, empleando prácticas fácilmente asequibles que incrementen los ingresos de los productores y la seguridad alimentaria (www.fao.org/water/es).

En Mendoza, la agricultura depende del riego integral, debido a las escasas precipitaciones. Mayoritariamente en la provincia, los productores hortícolas utilizan sistemas de riego gravitacionales, tales como los métodos por surco ó melga. En estos sistemas la eficiencia de uso del agua es baja (Schilardi 2009; Ortiz Maldonado *et al.* 2005) con valores que varían en términos generales entre el 40 al 50 %. Esto ocasiona importantes pérdidas por desagüe al pie, percolación profunda, generación y sostenimiento de freáticas, con la consecuente disminución de rendimientos y calidad de los productos.

La creciente escasez de agua obliga a buscar estrategias para hacer un uso más eficiente de este valioso recurso. El riego localizado en la provincia

de Mendoza es una herramienta muy importante del "paquete" tecnológico necesario para obtener rendimientos competitivos, en calidad y cantidad (Morábito *et al.* 2006). La adopción de métodos presurizados como el mencionado anteriormente, combinado con el acolchado plástico, permite el ahorro de agua y mejora la rentabilidad de las actividades agrícolas en climas áridos (Della Gaspera 2005).

Con el fin de aumentar la productividad del agua de riego, surge la técnica de riego deficitario controlado (RDC), basado en la idea de reducir los aportes hídricos en momentos fenológicos en los cuales un déficit hídrico parcial, no afecta sensiblemente la producción y/o la calidad del producto obtenido.

De esta manera, existe un creciente interés por el RDC, ya que el mismo permite un ahorro importante de agua, capaz de aumentar la eficiencia en el uso del agua (EUA) por parte de los cultivos, admitiendo un cierto nivel de estrés hídrico durante determinados períodos del ciclo de las plantas (Rázuri *et al.* 2008).

Investigaciones locales han evaluado regímenes de riego deficitarios principalmente en vitivinicultura, con el propósito de racionalizar el uso del agua, mejorar la calidad de los vinos y evaluar respuestas fisiológicas en correspondencia con la tendencia mundial (Vallone 1998; Perez Peña 2000; Kaiser 2003).

Los programas de riego tienen un papel fundamental en la eficiencia de uso del agua y en el ahorro energético, principalmente en la producción de cultivos hortícolas y frutícolas (Evans *et al.* 1996; Zotarelli *et al.* 2008)

En cuanto al cultivo de zapallo en zonas regadías, no existen criterios claros sobre la cantidad de agua necesaria durante su ciclo, en relación con sistemas de riego y frecuencia de aplicación del agua. Esto trae como consecuencia una baja eficiencia del uso de este recurso, acompañada de la disminución en la calidad y rendimiento del producto comercial, con la consecuente pérdida de rentabilidad del productor.

En base a lo expresado anteriormente, se desprende la importancia de ajustar las dosis de riego a las necesidades reales del cultivo durante todo el ciclo y obtener información confiable que permita calcular la cantidad óptima de agua a incorporar, según las condiciones edafoclimáticas y ambientales del agrosistema, donde se desea establecer un régimen de riego deficitario.

4. ANTECEDENTES

4.1. Producción y superficie a nivel mundial y nacional

Según datos publicados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP 2013), el cultivo mundial de zapallo (*Cucurbita spp.*) se desarrolla en una superficie de 1.775.000 hectáreas con una producción de 24,3 millones de toneladas. A partir del año 2000 se ha registrado un incremento del 36,5 % pasando de 17,8 a 24,3 millones de toneladas. El 48 % del total es producido en dos países, China con el 28,7 % e India con el 19,3 % FAO (2005).

En Argentina, la media nacional del rendimiento de zapallo es de 18 t ha⁻¹, con una gran brecha que va de 15 t ha⁻¹, en los cultivos sin irrigación complementaria o cultivos de “secanos”, a 60 t ha⁻¹ cuando se emplea alta tecnología de riego por goteo y fertirrigación (Della Gaspera 2013).

Si bien el cultivo se desarrolla prácticamente en todas las provincias del país, se destacan entre las principales: Buenos Aires, Mendoza y Santiago del Estero. En Mendoza la superficie cultivada de zapallo alcanza las 4.300 ha, constituyendo el segundo cultivo de verano más importante en superficie después de la papa, siendo su destino final el consumo en fresco ó la industria (www.idr.org.ar).

El consumo promedio nacional de esta hortaliza es de 22 kg *per cápita* por año. Los frutos son una importante fuente de hidratos de carbono, vitaminas A y C y aminoácidos esenciales (Della Gaspera 2013).

4.2. Mercado en Argentina y el mundo

El principal destino de la producción nacional es el mercado interno, el cual se encuentra abastecido durante todo el año con productos de origen nacional, debido principalmente al escalonamiento de la cosecha en las distintas regiones productoras del país, como así también a la posibilidad de almacenamiento del fruto (Della Gaspera 2013).

Entre las exportaciones hortícolas, el zapallo tiene gran importancia especialmente en los mercados del hemisferio norte, favorecida por su buena resistencia al almacenaje y muy buena calidad, en las cuales se incluyen

algunas partidas de producción orgánica. La exportación de productos de esta hortaliza se ha transformado en un mercado prometedor e incipiente.

En las últimas dos décadas se han observado variaciones muy marcadas en los hábitos de producción y de consumo. En un primer momento, las variedades tradicionales de zapallo "Valenciano", "Plomo", "Criollo" o "Del año" (*C. maxima*) perdieron representatividad en el mercado. Esto se debe fundamentalmente a la susceptibilidad a enfermedades que presenta esta especie en particular. También ha influido el cambio en la modalidad de comercialización regida por normas de higiene, las que proponen eliminar el trozado de frutos de gran tamaño y la excesiva manipulación (altas cargas de inóculo).

Las variedades mencionadas fueron remplazadas por cultivares del tipo Anco, "Calabaza", "Calabacita" o "Anquitos" (*C. moschata* Duch.). Éstas poseen frutos de menor tamaño, entre 1 y 2 kg, siendo preferidos por los consumidores ya que les permite adquirir frutos enteros, asegurando la inocuidad. Paralelamente, los productores se vieron beneficiados por la resistencia horizontal a la mayoría de las plagas y enfermedades, además de la prolongada conservación de los frutos (Della Gaspera 2008, comunicación personal).

Una pequeña parte de la producción provincial es destinada a la industria del deshidratado. Se buscan variedades con altos sólidos totales. La materia prima obtenida por la industria es empleada en la elaboración de caldos y sopas. Cuando el mercado cambiario favorece la exportación, un importante volumen es comercializado a los países del Norte, quienes la emplean para la elaboración de productos alimenticios para bebés y niños por su fácil digestibilidad (Della Gaspera 2013).

4.3. Generalidades del género *Cucurbita*

Taxonómicamente, *Cucurbita spp.* se ubica en la Familia Cucurbitaceae. De acuerdo con la clasificación más reciente, dentro de esta familia se incluyen 118 géneros y alrededor de 825 especies (Lira-Saade 1995). Comúnmente conocidas en los países de habla hispana con nombres como "calabazas", "zapallos" o mediante numerosos nombres en lenguas indígenas, mientras que en los países anglosajones se les denomina "squashes", "pumpkins" o "gourds" (Lira 1992).

El género *Cucurbita* es nativo del continente americano, a partir de ahí las especies domesticadas fueron distribuidas en todo el mundo (Smith 1997, Piperno y Stothert 2003). Se cree que cada especie cultivada ha sido domesticada independientemente en distintas regiones del continente, pero todas en la era precolombina.

Las especies cultivadas de *Cucurbita* tienen dos centros de origen en el Continente Americano (Figura 1). Para *Cucurbita pepo*, *C. moschata*, *C. mixta* y posiblemente para *C. ficifolia*, el centro de origen es México y para *C. maxima* el Sur de Perú, Bolivia y el Norte de Argentina. Si bien no han sido precisados con exactitud los descubrimientos arqueológicos, se cree que se relaciona con el hombre desde 1800 a. C. (Galmarini 1991).

Estas especies fueron introducidas en Europa luego del descubrimiento de América. Los centros secundarios de distribución citados fueron Turquía para *C. pepo*, India y Burma para *C. maxima*; China y Japón para *C. moschata* (Esquinas Alcazar y Gulick 1983).

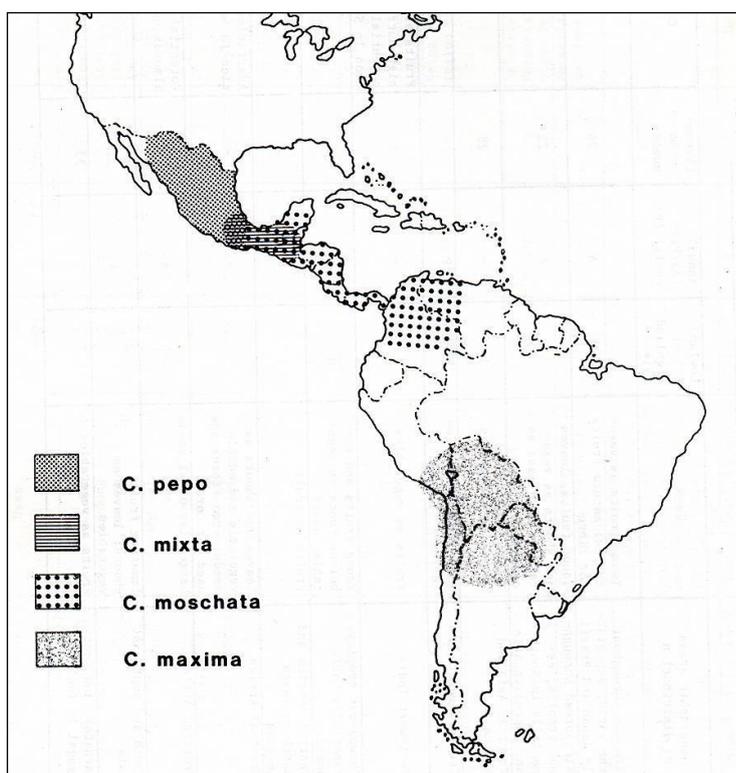


Figura 1. Centros de origen en el Continente Americano de las especies cultivadas de Cucurbita (adaptado de Esquinas Alcazar y Gulick 1983).

Una de las especies domesticadas más importante para Argentina ha sido *Cucurbita moschata* Duch. El cultivo se caracteriza por su amplia dispersión en todo el país con gran variabilidad en cuanto a tamaño, forma y color de fruto, grosor y textura de la pulpa, color y tamaño de la semilla (Piperno *et al.* 2000).

4.4. Adaptación al ambiente

Dentro de la clasificación térmica de hortalizas (MacGillivray 1961; Rudich 1985) el zapallo es una especie de estación cálida. Se adapta a temperaturas que van entre los 18 y 27 °C y no toleran heladas en ningún momento de su desarrollo.

En general las cucurbitáceas desarrollan mejor con temperatura entre 25 y 30 °C. Las cultivares de *C. moschata* Duch. junto con *C. argyrosperma* son más tolerantes a las temperaturas más altas, mientras que *C. maxima* y *C. pepo* poseen cultivares tolerantes a temperaturas más bajas (Paris y Maynard 2008).

Es frecuente encontrar en la literatura que se trata de un cultivo que se maneja principalmente en zonas de baja altitud y de clima cálido con alta humedad (Esquinas-Alcazar y Gulick 1983; Whitaker 1968). Sin embargo, no parece ser tan estricto, por ejemplo Bukasov (1981) en México y Colombia fija los 2.200 a 2.300 m como el límite altitudinal superior para el cultivo de *Cucurbita moschata* Duch. Esto último ha sido recientemente corroborado mediante colectas de frutos y semillas de variantes que se cultivan a más de 2.200 m dentro de la región de la Mixteca Alta en el estado de Oaxaca, México.

Las numerosas especies que integran la gran familia de las Cucurbitáceas, han desarrollado largas guías o ramas con zarcillos para adaptarse a la competencia por la luz (Nayar y More 1998).

4.5. Descripción botánica del género *Cucurbita*

Los miembros que constituyen a este grupo vegetal se distinguen, entre otras características, por su hábito rastrero o trepador, la presencia de zarcillos, flores unisexuales, no aromáticas, con unos cuantos casos de bisexualidad, polinización entomófila y por presentar una gran diversidad

estructural, tanto en el androceo como en el ovario ínfero de las flores femeninas, del cual se pueden desarrollar las más diversas e interesantes formas de frutos (Lira-Saade 1995).

La diferenciación de las flores está determinada genéticamente pero hay factores externos que pueden influir, así como el clima, las fertilizaciones, las hormonas, etc. (Whitaker y Davis 1962; Loy 2004).

Poseen un sistema radical muy profundo que suele alcanzar 1,80 m de profundidad, pero la mayor parte de las raíces se encuentra en los primeros 60 cm del perfil del suelo. Los tallos son rugosos y angulosos y en los nudos de las guías nacen raíces adventicias que penetran a más de 1 m de profundidad (Weaver y Burner 1927).

Las especies de *Cucurbita* pueden ser anuales o perennes y son cultivadas principalmente para el consumo de sus frutos al estado maduro o inmaduro. Pero también se consumen otras partes de la planta como las hojas, las flores y las semillas de los frutos (Whitaker y Davis 1962; Robinson y Decker Walkers 1997; Nayar y More 1998).

4.6. Modo de multiplicación

Las especies de *Cucurbita* se propagan mediante semillas. La selección de los materiales destinados a sembrarse en el siguiente ciclo es de gran importancia para el éxito en las cosechas subsecuentes. Las características consideradas por los agricultores al efectuar dicha selección, aunque muy diversas, en general incluyen rasgos tales como el tamaño de los frutos, el color y sabor de la pulpa, la cantidad y tamaño de las semillas, la capacidad de los frutos para permanecer bajo condiciones de almacenamiento, así como también la adaptación general de las plantas a las más diversas y contrastantes condiciones ecológicas (Lira-Saade 1995).

El cultivo de las cucurbitáceas es fundamental en la agricultura tradicional de subsistencia que se practica en Latinoamérica. En México y gran parte de Centroamérica se utilizan sistemas de policultivos. La asociación de una o más especies con otros cultivos, como el maíz y otras hortalizas, es común en estos campos agrícolas tradicionales, en contraste con lo que se observa en plantaciones comerciales ubicadas generalmente en sitios con condiciones ecológicas más favorables. En estas últimas se emplea

el riego presurizado, la diversidad es mucho menor, siendo la producción más estable y predecible (Lira-Saade 1995).

En los países desarrollados la mayor parte de las siembras se realizan en invernáculo, en bandejas con pequeñas celdas para obtener primicia en el mercado y plántulas libres de virus u otras enfermedades. En estas condiciones ambientales las plántulas se desarrollan rápidamente formando un gran sistema radicular. La época más apropiada para la siembra es inmediatamente después del peligro de heladas. Se debe seleccionar siempre semilla de alta calidad.

En Argentina la siembra se realiza directamente en el campo, ya que difícilmente resiste el trasplante a raíz desnuda por carecer de raíces adventicias (Della Gaspera 2008, comunicación personal).

4.7. Diversidad de *Cucurbita moschata*

Cucurbita moschata es una especie que posee una gran variabilidad genética y una notable capacidad de adaptación en un amplio intervalo altitudinal. Esto ha dado como resultado numerosos cultivares con características agronómicas sobresalientes en otras partes del mundo, con interesantes variantes locales.

La diversidad morfológica de sus semillas y frutos (color, forma, dureza y grosor de la cáscara, etc.), como así también la diversa duración de los ciclos de cultivo, son una expresión de la plasticidad que posee esta especie (Whitaker y Bemis 1975; Lira y Montes-Hernandez 1992; Lira 1995). Ejemplos de algunas variantes regionales interesantes para América Latina son las existentes en la Península de Yucatán con dos ciclos de diferente duración (Lira 1985, 1988). Se destacan también las variantes cultivadas en Guanajuato y Chiapas (México), en las que recientemente se han encontrado resistencia a algunas enfermedades virales, las cuales han sido empleadas con cierto éxito en programas de mejoramiento (Garzón-Tiznado 1989; Gallegos 1990).

4.8. Características de la cultivar Cokena INTA

La cultivar Cokena INTA fue desarrollada en la Estación Experimental Agropecuaria INTA La Consulta. Proviene de la selección y descendencia del

cruzamiento de líneas avanzadas de *C. moschata* de una población local de frutos grandes por el cultivar Anquito INTA, una combinación de selección genealógica y recurrente (Della Gaspera 2013).

Las plantas son guiadoras, rastreras y muy expansivas con vástagos de color verde oscuro. La guía principal tiene una longitud promedio de 7 m con muchas guías de diferentes órdenes que terminan por formar una enredadera de excelente cobertura de la cama de siembra o camellón. Las hojas son cordiformes, de color verde oscuro con manchas grisáceas entre las nervaduras.

Se destaca de otras variedades de su misma especie por el excelente vigor de la planta, que soporta entre 8 y 10 frutos con un peso medio de 1,7 kg, de forma piriforme y cilíndrica con cuello ancho. Los rendimientos medios obtenidos en los ensayos comparativos realizados en la EEA INTA La Consulta son de 35 t ha⁻¹ (Lipinski *et al.* 2014, comunicación personal).

El color de la corteza del fruto es anaranjado con tenues bandas irregulares más claras ubicadas longitudinalmente. La pulpa es de color anaranjado intenso y sabor dulce. Posee una pequeña cavidad seminal ubicada en el ápice del fruto. De conservación intermedia, presenta excelentes características para el consumo y aptitudes para la industria del deshidratado por el alto contenido de sólidos totales (Della Gaspera 2013).

Es un cultivar de ciclo largo, 130 a 150 días desde siembra hasta alcanzar un 50 % de maduración comercial. La floración se inicia entre los 60 y 70 días desde la emergencia dependiendo de la cantidad de grados días por encima de la temperatura base de crecimiento (10 °C).

Se adapta a la mayoría de las zonas productoras del país pero rinde más en las áreas con períodos más largos libres de heladas. Prefiere terrenos franco-arenosos, profundos y bien aireados. También se obtienen buenos rendimientos tanto en terrenos arenosos como en los arcillosos. Es resistente al marchitamiento causado por hongos del suelo (*Phytophthora capsici* Leon) y es tolerante al oídio del zapallo (*Erysiphe cichoracearum*) (<http://inta.gob.ar/variedades/cokena-inta>).

4.9. Generalidades del riego

El objetivo básico del riego es compensar el déficit de humedad del suelo para satisfacer el requerimiento de los cultivos que se desarrollan en él.

El método de riego de superficie es el más ampliamente utilizado en todo el mundo (Mustafa *et al.* 2003); a pesar que la mayor proporción de agua se pierde por evaporación y percolación profunda, dando lugar a eficiencias de riego inferiores. Además, existe una tendencia por parte de los agricultores de aplicar agua en exceso cuando está disponible (Jain *et al.* 2000).

El método habitualmente utilizado por los productores para un mejor aprovechamiento del agua es el riego por goteo, que proporciona pequeños volúmenes de agua y altas frecuencias directamente en las proximidades de la zona de raíces de las plantas. Este sistema ha despertado el interés debido a la disminución de demanda de agua y el posible aumento de la producción (Darwish *et al.* 2003; Janat 2003).

El control de las fuentes de agua en áreas donde las lluvias no son suficientes, involucra el desarrollo de complejos sistemas de riego. El conocimiento de los factores involucrados, tales como el suelo, el requerimiento hídrico de los cultivos y los problemas de salinidad, constituyen la base de la funcionalidad del sistema y su desconocimiento puede conducir a desastres ecológicos (FAO 2013). A medida que el costo del agua se incrementa, el uso eficiente de la misma será determinante para el éxito económico del cultivo.

La adopción de nuevos sistemas de riego requiere inversiones significativas y habilidades especializadas por parte de los agricultores. Asimismo, obliga a los usuarios a elaborar estrategias modernas de entrega de agua, con caudales más reducidos y con mayor frecuencia de riegos. Los métodos de riego localizado permiten la aplicación de caudales controlados, asegurando un mejor acoplamiento de la aplicación del riego según las necesidades hídricas de los cultivos (Morábito *et al.* 2009).

Sin embargo, Chambouleyron (1993) realizó una evaluación general sobre sistemas de riego presurizado en diferentes cultivos, en el oeste semiárido de Argentina, en la que se evaluaron diferentes parámetros. El estudio revela el bajo coeficiente de uniformidad (en varios casos inferior al 70

%) de los distintos sistemas, así como también los elevados consumos de energía (1,6 a 4,6 HP ha⁻¹) y se evidencia una tendencia general a la subutilización del potencial tecnológico asociado al riego presurizado.

Nijensohn (1977) menciona la importancia del riego por goteo, con espaciamiento de emisores en función del cultivo, desarrollo, edad y estado general, al permitir la producción agrícola en suelos salinos.

En la agricultura de riego es necesario optimizar el manejo del agua y aumentar la eficiencia de uso del recurso hídrico. Esto es posible mediante un conjunto de procedimientos técnicos que brinden información necesaria para regar un cultivo con una frecuencia y tiempo óptimos (Singh y Chauman 1996). Por tal motivo es necesario contar con información de factores bióticos inherentes a la planta, propiedades físicas e hídricas del suelo y conocimientos de la demanda atmosférica.

La programación de riego es una de las herramientas más efectivas para conservar el agua (Fereris 1996). Además, posibilita el aumento de los rendimientos en los cultivos, permite economizar el agua por un mejor ajuste a los requerimientos de la planta durante la temporada de crecimiento y proporciona un ahorro de energía al evitar aplicaciones excesivas de agua. Finalmente el uso de esta metodología ordena la gestión general del predio (Werner 1996).

La evapotranspiración de los cultivos (ETc) es un componente importante utilizado en la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de riego (Güngör 1990). Debido a que la ETc depende en gran parte del suelo y de las condiciones climáticas, se debe determinar para cada cultivo en las diferentes regiones (Ertek *et al.* 2004).

Existen varias estrategias para programar el riego, por ejemplo a través del análisis del estado hídrico del suelo, se pueden utilizar herramientas apropiadas para tal fin como tensiómetros, sensores dieléctricos, sonda de neutrones. La medición del estado hídrico de la planta es otra técnica muy utilizada, determinando el potencial hídrico xilemático, la resistencia difusiva y temperatura foliar. También se emplean los métodos de balance energético e hídrico (Howell 1996; Werner 1996). Este último integra la relación suelo-planta-atmósfera, para generar información acerca de la frecuencia y el

tiempo de riego (Salazar y Thompson 1996). Un parámetro fundamental en el método del balance hídrico es determinar la demanda del cultivo.

Así durante años, el objetivo se ha centrado en encontrar un método para predecir adecuadamente la evapotranspiración de un cultivo (Allen *et al.* 1989; Singh y Chauman 1996). En este sentido Allen *et al.* (1989, 1998) evaluaron diversas ecuaciones comparándolas con datos obtenidos de lisímetros, determinando que el comportamiento de la ecuación de Penman-Monteith permite obtener diariamente la evapotranspiración del cultivo con mayor precisión, mediante el uso de datos climatológicos tales como radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento determinada a 2 m de altura. Los datos meteorológicos necesarios para utilizar este modelo, se pueden obtener mediante estaciones meteorológicas automáticas (Salazar y Thompson 1996; Werner 1996), que incluso pueden ser consultadas en forma remota, permitiendo disponer de datos en tiempo real y facilitando aún más la programación del riego (Ortega *et al.* 2000).

Sin embargo, Steduto *et al.* (1996), evaluando el comportamiento del modelo de Penman-Monteith, encontraron una tendencia a sobrestimar la medición de la evapotranspiración potencial (ET_o), al compararla con datos de lisímetros, en condiciones de baja demanda evaporativa y a subestimarla con condiciones de alta demanda evaporativa. Este hecho indica la necesidad de estudios y calibraciones del modelo a las condiciones locales donde se desea aplicar (Ferreeres 1996).

Existen discrepancias entre el uso de la ecuación de Penman-Monteith y la bandeja de evaporación (Tanque A) para estimar la evapotranspiración de referencia. Sin embargo, ambas metodologías han demostrado estimar adecuadamente la ET_o, al comparárselas con mediciones de lisímetros de alta precisión, especialmente si el coeficiente de bandeja se obtiene con una mayor precisión en función de la velocidad del viento y humedad relativa (Yrisarry y Naveso 2000; Selles y Ferreyra 2005).

La programación de riego basada en la evaporación del tanque tipo A tiene un amplio uso debido a su simple y fácil aplicación (Elliades 1988). Numerosos estudios han demostrado que la evaporación de bandeja se puede utilizar eficientemente en la programación del riego. Los primeros estudios sobre la evaporación de superficie libre se pusieron en marcha en

Israel (Fuchs y Stanhill 1963). La correlación entre el consumo de agua por parte de la planta y la evaporación de bandeja es mayor que cualquier otro método empírico (Christiansen y Hargreaves 1970). Por lo tanto, la evapotranspiración de las plantas cultivadas puede ser deducida por la evaporación de bandeja con la ayuda de coeficientes predeterminados (Doorenbos y Pruitt 1975).

Otro parámetro necesario para la determinación de la ET_c es el coeficiente de cultivo k_c . Este coeficiente de ajuste, no es un valor fijo sino que varía para una misma especie durante el ciclo de cultivo y de un año a otro, dentro de un margen aproximado de un 10 % (Lipinski y Gaviola 2008a). Estos desvíos se deben a la variabilidad ambiental, a las características propias del suelo y del cultivar o híbrido usado. A pesar de las inevitables variaciones, se puede programar el riego con el uso de instrumentos complementarios adecuados para el control de la humedad del suelo y la planta, añadiendo también el uso de datos meteorológicos.

Lipinski *et al.* (2008b) experimentaron el efecto de diferentes láminas de riego, lo que permitió ajustar el coeficiente de cultivo k_c en zapallo tipo Anco cultivar Cuyano INTA. Se obtuvo un rendimiento de 52 t ha^{-1} con una lámina de 533 mm más 159 mm de ppef; siendo el ajuste lineal lo que indicaría que se pueden obtener mayores rendimientos con mayores láminas de riego.

En el caso de cultivos que reciben riegos irregulares, es decir períodos de plena suplencia hídrica seguidos por períodos de alto déficit, tienden a manifestar el desorden de agrietamiento de los frutos, observado por un rajado localizado del mismo (Lipinski *et al.* 2014, comunicación personal).

Por otra parte, se necesita un suministro de agua en el suelo acorde a cada etapa de crecimiento para evitar tamaños y formas indeseables en los frutos. Mantener la humedad del suelo entre el 65 y el 80 % de la capacidad de campo es necesaria para aumentar el rendimiento (Dunwell *et al.* 2001). Otros estudios aconsejan evitar riegos excesivos (Mario *et al.* 1997; Richard *et al.* 2002).

Algunos estudios han demostrado que la aplicación frecuente de pequeñas cantidades de agua aumenta el rendimiento, debido a que el consumo de agua por parte de la planta es mayor cuando se inicia el riego con bajas tensiones en el suelo (Stansell y Smittle 1989).

Goldberg *et al.* (1976), afirmaron que el momento de riego es más importante que la cantidad total de agua aplicada. Demostraron que cuando las plantas se regaron con una cantidad limitada de agua en la etapa temprana de crecimiento, crecieron mejor y su eficiencia fotosintética se incrementó. Coincidentemente, Yüksel (1989) observó que el exceso de agua en las primeras etapas de crecimiento (poco después del trasplante) provocó caída de flores, y disminución del rendimiento.

Tanto las variedades nativas como las importadas, presentan una alta susceptibilidad a la pudrición de los frutos en períodos húmedos y a la quemazón o escaldados de los mismos, cuando existe exposición directa de los frutos a la alta radiación lumínica. Para que esto no suceda y por el contrario, se proteja los frutos, es conveniente tener en cuenta las condiciones climáticas durante el establecimiento del cultivo, considerar un buen manejo en la densidad de siembra y tener presente los sistemas de riego y drenaje (Jaramillo y Lobos 1995; Estrada 2002).

Una de las estrategias de gestión hídrica para aumentar la eficiencia en el uso del agua (EUA) es el empleo del acolchado o mantillo sobre la superficie del suelo. Los diferentes tipos de materiales como paja de trigo, paja de arroz, película de plástico, hierba, madera, arena, etc., se utilizan como mantillos. Permiten, entre otras cosas, moderar la temperatura del suelo, evitar la evaporación excesiva y escurrir el agua en caso de lluvias intensas (Gajri *et al.* 1994; Khurshid *et al.* 2006).

La presencia de mantillo u hojarasca sobre el suelo es muy importante, así un centímetro de paja sobre la superficie tiene la misma resistencia al impacto de las gotas de lluvia que un macizo forestal de 30 años de edad (Roose 1974).

Un gran número de experimentos se han realizado para estudiar el efecto del riego por goteo y el uso del acolchado plástico en la mejora del rendimiento de muchos cultivos, en diferentes regiones y condiciones agroclimáticas. Algunos estudios revelan incrementos en el rendimiento del

20 y hasta el 60 % combinando el riego por goteo y la cobertura plástica del suelo (Sivanappan *et al.* 1974), mientras que otros estudios revelan que el rendimiento fue ligeramente inferior o igual al rendimiento con riego convencional (Doss y Evans 1980).

Otra estrategia que permite aumentar la EUA por parte de los cultivos, es el riego deficitario controlado (RDC), una técnica capaz de establecer un cierto nivel de estrés hídrico durante determinados períodos del ciclo de las plantas. Controlando la duración e intensidad del estrés se logrará un ahorro en el uso del agua, pero siempre bajo la premisa de afectar al mínimo la producción y/o la calidad.

Por otro lado, numerosos estudios demuestran que el agua de riego, es un importante factor limitante del rendimiento de los cultivos, ya que se asocia con muchos factores del entorno de la planta que influyen en el crecimiento y el desarrollo. La disponibilidad de la cantidad adecuada de humedad en las etapas críticas del crecimiento de la planta no sólo optimiza el proceso metabólico en las células vegetales, sino también aumenta la eficacia de absorción de los nutrientes minerales. Por consiguiente, cualquier grado de estrés hídrico puede producir efectos perjudiciales sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo (Saif *et al.* 2003).

Los sistemas de riego de alta frecuencia influyen en la asimilación de ciertos nutrientes. Así numerosos ensayos demuestran que en los cultivos hortícolas se suelen ocasionar importantes pérdidas de nitratos, no sólo por las altas dosis de fertilizantes utilizados, sino también por la baja eficiencia en los sistemas de riego (Ramos y Ocio 1993).

4.10. Efectos del riego deficitario controlado (RDC)

El déficit hídrico es un factor importante que afecta a la producción de cultivos en condiciones áridas y semiáridas (Hussain *et al.* 2004). Afecta casi todos los procesos de crecimiento de las plantas. Sin embargo, la respuesta al estrés por sequía depende de la intensidad, la tasa y duración de la exposición y la etapa de crecimiento del cultivo (Wajid *et al.* 2004).

El RDC es un sistema de gestión de suministro de agua con la imposición eventual de déficits hídricos, en estados fenológicos concretos

menos sensibles que no provoquen la reducción (o baja) en los beneficios económicos (Behboudian y Mills 1997).

Nuevas innovaciones para el ahorro del agua que permitan aumentar la EUA son especialmente importantes en regiones con escasez hídrica (Gencoglan *et al.* 2006). La EUA se refiere a la cantidad de producto obtenido por unidad de agua aplicada (Howell 2003). Esto se puede representar como el incremento de ganancia en materia seca por unidad de agua absorbida y transpirada por la planta (Draycott 2006). La medición de EUA es considerada como uno de los principales indicadores del uso del agua en el estudio de la agricultura de regadío sostenible. La definición centra la atención de los agricultores tanto en el uso del agua como en la producción y proporciona un indicador de la eficacia del recurso.

La estrategia de riego deficitario aplicada en la horticultura, tiene el potencial para optimizar la productividad del agua de riego y obtener mayores rendimientos por unidad de agua (Costa *et al.* 2007; Fereres y Soriano 2007). En RDC, el cultivo está expuesto a un cierto nivel de estrés hídrico durante todo el ciclo del cultivo o en una etapa particular (English y Raja 1996). Sin embargo, no todas las etapas del ciclo del cultivo son igualmente sensibles al estrés hídrico. Por ejemplo, las etapas sensibles al déficit hídrico se producen durante el crecimiento del bulbo en la cebolla (*Allium cepa*), durante el crecimiento y maduración en el repollo (*Brassica oleracea*), al comienzo de la etapa de floración en pimiento (*Capsicum annuum*), durante la etapa vegetativa, floración y formación de la sandía (*Citrullus vulgaris*) y en la etapa de floración en tomate (Doorenbos y Kassam 1979).

Hayrettin *et al.* (2014) en tomate demostraron que el riego con plena suplencia hídrica durante todo el ciclo del cultivo es preferible para un mayor rendimiento e ingresos. Sin embargo, en regiones con escasez de agua, los administradores del riego deben adoptar el enfoque del RDC para alcanzar la producción de cultivos económicamente sostenible.

El grado de estrés hídrico y el calendario de aplicación de riego, afectan significativamente el rendimiento de tomate y la calidad del fruto (Wang *et al.* 2011). Es bien sabido que la deficiencia de agua en cultivos de tomate puede causar el desarrollo de frutos pequeños, rendimientos más bajos, inicio de senescencia en plantas y una mayor vulnerabilidad a diversas enfermedades

(Pulupol *et al.* 1996; Hanson *et al.* 2006; Favati *et al.* 2009). Sin embargo, las aplicaciones de déficit hídrico puede aumentar la eficiencia del uso del agua (EUA) y mejorar la calidad del tomate procesado (Zegbe-Domínguez *et al.* 2003).

El déficit hídrico conduce a numerosos cambios fisiológicos, como una relación raíz-vástago alterada, área foliar y número de hojas reducido y finalmente, disminuye el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Por ejemplo en pepino, varios estudios demuestran que el rendimiento de fruto fresco se ve muy afectado por la cantidad total de agua aplicada en todas las etapas de crecimiento (Hasandokht 2005; Wang y Zhang 2004; Mao *et al.* 2003; Hao y Papadopoulos 2003; Castilla *et al.* 1991).

Algunos autores han sugerido que los efectos distintos al estrés hídrico sobre el crecimiento, el nivel de floración y las reservas se deben fundamentalmente a la intensidad del déficit y al momento de su realización (Johnson *et al.* 1992; Johnson y Handley 2000) y recomiendan un ajuste preciso del nivel de restricción hídrica.

4.11. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

- El riego deficitario controlado, en cada etapa fenológica del zapallo tipo Anco cv. Cokena INTA, afecta diferencialmente disminuyendo el rendimiento de los frutos y la producción de semillas.

- La mayor susceptibilidad hídrica ocurre durante la etapa de floración.

- El déficit hídrico controlado en el momento oportuno, no disminuye la calidad del zapallo Cokena INTA.

4.12. OBJETIVOS

Objetivo General

- Estudiar el déficit hídrico en diferentes momentos fenológicos del cultivo de zapallo Anco y su influencia en el rendimiento y la calidad de los frutos.

Objetivos Específicos

- Determinar el momento fenológico de mayor susceptibilidad hídrica del zapallo.

- Evaluar el estado hídrico del suelo durante todo el ciclo de cultivo.

- Evaluar la eficiencia en el uso del agua del ecosistema en estudio.

- Valorar la respuesta del cultivo a través del rendimiento total y comercial en las distintas situaciones de estrés hídrico.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Sitio y cultivo

El ensayo se realizó en la temporada 2014 / 2015 en el campo experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria La Consulta, situada en el Departamento de San Carlos, Mendoza, Argentina; Latitud Sur 33° 42' 39,5" S, Longitud Oeste 69° 04' 26,6" O, altura 940 msnm (Figura 2).



Figura 2. Imagen satelital del lugar del ensayo (Fuente: Google Earth). En rojo delimitación de la superficie total de la parcela donde se realizó el ensayo, ubicado en el campo experimental EEA INTA La Consulta.

El clima es árido, la precipitación media anual en la zona es de 250 mm, las lluvias estacionales se concentran principalmente durante primavera-verano, son torrenciales y en ocasiones acompañadas de granizo, lo cual incide negativamente en la agricultura. La precipitación nívea tiene lugar en la región cordillerana durante los meses de junio a septiembre. El porcentaje de humedad relativa es alrededor del 59 %. Posee grandes amplitudes térmicas, la temperatura media anual es de 14,5 °C, siendo la temperatura media máxima de 36,7 °C en enero y la media mínima de 5,2 °C en julio (medias calculadas con los datos de registro de la Estación Meteorológica INTA La Consulta, años 1978 a 2015).

Se trabajó con la especie *Cucurbita moschata* Duch. cultivar Cokena INTA, caracterizada particularmente por la excelente calidad del fruto, con alto contenido de azúcares que le confieren un sabor dulce y una atractiva pulpa de color anaranjado intenso.

5.2. Características edafológicas

El suelo es de origen aluvial profundo, predominantemente de textura franco arenosa fina, serie La Consulta (Torrifluente típico). Por debajo de los dos metros de profundidad aparecen en mayor proporción los cantos rodados.

Las características físico-químicas, medidas a tres profundidades, 0 a 30 cm, 30 a 60 cm y 60 a 90 cm, ubicadas en cabeza y pie en el área del ensayo, están resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Características físico químicas del suelo correspondiente al área de estudio (La Consulta, San Carlos, Mendoza).

Posición	Profundidad (cm)	pH	CE (dS.m ⁻¹)	VS (mL % g)	N total (mg.kg ⁻¹)	Pd CO2 1:10 (mg.kg ⁻¹)	K int (mg.kg ⁻¹)
Cabeza	00-30	7,8	3,44	94	1372	7,8	360
	30-60	7,9	2,74	92	868	3,6	246
	60-90	7,9	2,76	86	784	5,5	130
Pie	00-30	7,7	3,87	94	1400	12,2	416
	30-60	7,9	2,45	92	812	2,1	220
	60-90	7,9	2,33	80	790	2,2	104

CE: conductividad eléctrica (dS m⁻¹); VS: volumen de sedimentación (mL%g); N total: nitrógeno total Kjeldahl (mg kg⁻¹) (Bremner y Mulvaney 1982); Pd: fósforo disponible en solución carbónica 1:10 expresado en P elemento (mg kg⁻¹) (Mc George 1939); Kint: potasio intercambiable extraído en solución de acetato de amonio pH 7 (Page 1982).

Se trata de un suelo de textura franco a franco arenoso profundo, moderadamente alcalino y ligeramente salino, que podría restringir los rendimientos de aquellos cultivos muy sensibles, según la interpretación de USDA (1996). Considerando las capas superiores del suelo, posee un contenido rico en nitrógeno total y medianamente rico en cuanto a fósforo disponible y K intercambiable en el suelo, según criterios de interpretación de Nijensohn *et al.* (1972).

5.3. Datos meteorológicos

La Estación Experimental INTA La Consulta, cuenta con una Estación Meteorológica Automática DAVIS modelo VANTAGE PRO, que registra datos cada 5 minutos desde el año 2005 a la actualidad. Además hay una Estación Meteorológica Italiana con la que se toman datos diarios desde el año 1995.

La estación está ubicada a una distancia aproximada de 480 m del lugar del ensayo, con sensores de temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), presión atmosférica (hPa), humedad relativa (%), radiación global (W m^{-2}), precipitación (mm), velocidad y dirección del viento (m s^{-1}) y evaporación bruta del tanque clase A.

La recolección de datos registrados y la medición del tanque de evaporación tipo A se realizó todos los días y en el mismo horario (9 h de la mañana). En la Tabla 2 figuran datos climáticos mensuales registrados durante el período de duración del ensayo.

Tabla 2. Datos meteorológicos mensuales de la Estación Meteorológica INTA La Consulta, San Carlos, Mendoza, durante el período 2014 / 2015.

Parámetros climáticos	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
T° Mínima del aire ($^{\circ}\text{C}$)	0,4	1,3	5,8	7,9	4,3	1
T° Máxima del aire ($^{\circ}\text{C}$)	34,9	35,2	36,7	34,6	34,9	30,4
T° Media del aire ($^{\circ}\text{C}$)	17,5	20,2	23,7	21,1	19,9	16,5
Precipitación (mm)	5,5	23,7	12,9	98,2	32,8	16,5
Humedad Relativa (%)	43	48	52	68	68	71
Vel. media del viento (m.s^{-1})	2,4	4,1	2,2	2,1	1,9	1,8

5.4. Tratamientos

Durante el período del cultivo de zapallo cv. Cokena INTA, se aplicaron cuatro tratamientos de riego en diferentes etapas fenológicas. El ciclo del cultivo se dividió en tres fases que fueron consideradas las más relevantes desde el punto de vista en respuesta al riego, es decir, etapa vegetativa, floración, y maduración de los frutos. A continuación se detalla cada tratamiento, y se presentan en forma esquemática en la Figura 3.

*Testigo: riego a demanda plena reponiendo el 100 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante todo el ciclo.

*T2: riego deficitario reponiendo el 50 % de la ETc con respecto al testigo, durante el crecimiento vegetativo inicial.

*T3: riego deficitario reponiendo el 50 % de la ETc con respecto al testigo, durante el pico de floración.

*T4: riego deficitario reponiendo el 50 % de la ETc con respecto al testigo, durante el llenado y maduración de los frutos.

Por experiencias y ensayos realizados en la zona, respaldado además por la bibliografía (Della Gaspera 2013), se consideró una duración de 59 días para la etapa inicial de crecimiento vegetativo, 31 días para el período siguiente de mayor concentración de flores y una duración de 54 días en el último período de llenado y maduración de los frutos hasta cosecha.

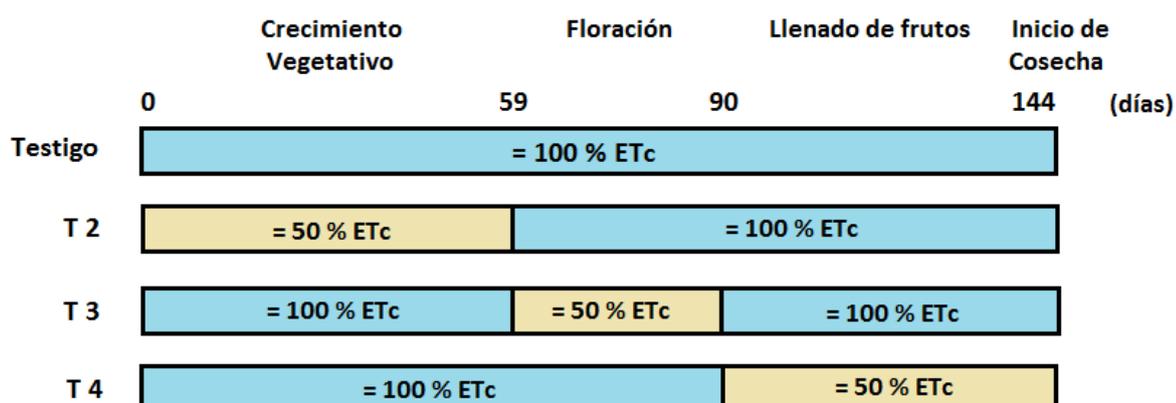


Figura 3. Representación de los tratamientos en las distintas etapas fenológicas consideradas del cultivo de zapallo: crecimiento vegetativo inicial, floración y maduración de los frutos.

5.5. Diseño experimental

El diseño estadístico fue de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones.

La unidad experimental estuvo constituida por 10 plantas en la hilera, con borduras de 10 plantas a cada lado. La unidad observacional donde se

realizaron las mediciones fueron 8 plantas de la parcela central, descartando la primera y la última de la hilera (Figura 4).

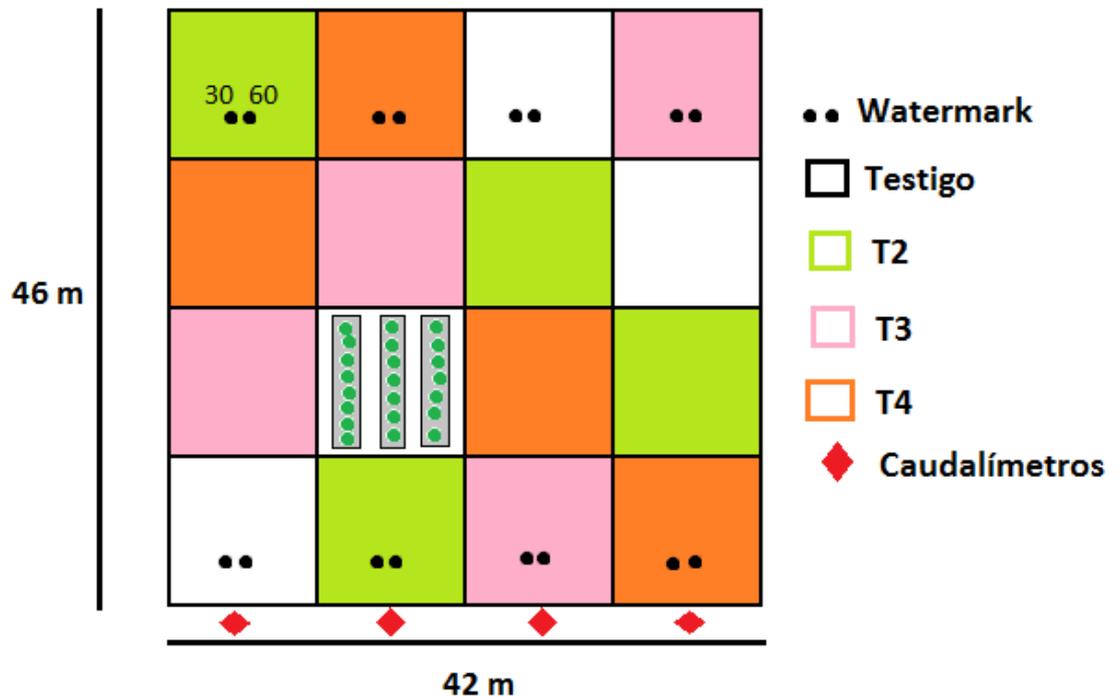


Figura 4. Esquema del diseño experimental del ensayo, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones.

5.6. Necesidades hídricas del cultivo

El procedimiento utilizado para calcular las necesidades hídricas del cultivo de zapallo se basó fundamentalmente en las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), utilizando la siguiente ecuación para el cálculo de la Evapotranspiración (método de la FAO; Doorenbos y Pruitt 1977).

$$ET_c = K_c * ET_o$$

Donde:

ET_c: Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹)

ET_o: Evapotranspiración de un cultivo de referencia (mm día⁻¹)

K_c: Coeficiente propio del cultivo

La evapotranspiración de referencia (ETo) se estimó a través del tanque evaporímetro Clase A (Manual FAO 56). Se realizó un ajuste para las características agroambientales locales, utilizando los datos diarios del tanque ubicado en la Estación Experimental INTA La Consulta, Departamento de San Carlos, Mendoza.

$$ETo = Kp * Epan$$

Donde:

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Epan: Evaporación del tanque Clase A (mm día⁻¹)

Kp: Coeficiente de tanque evaporímetro

Durante el período de crecimiento, la variación del coeficiente del cultivo Kc expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. En base al kc obtenido en ensayos previos, se elaboró la curva del coeficiente del cultivo para el zapallo (Figura 5).

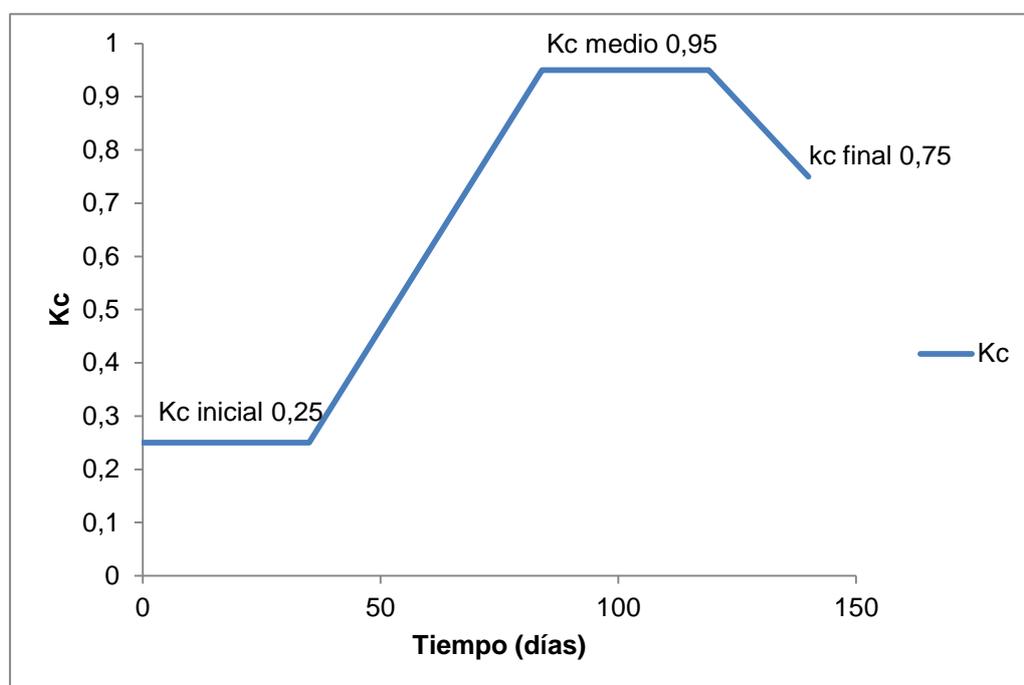


Figura 5: Coeficiente de cultivo (Kc) del zapallo en riego por goteo.

Fase Inicial: Comprende el período que va desde la emergencia o plantación hasta que el cultivo inicia un crecimiento activo y notable. Debido al escaso tamaño de las plantas, la mayor parte de la evapotranspiración se debe a la evaporación de agua del suelo. Por lo tanto, este valor depende principalmente de factores como el tipo del intervalo promedio entre los eventos de humedecimiento, el poder evaporante de la atmosfera y la magnitud del evento de humedecimiento. Durante esta fase del ensayo el Kc es igual a 0,25 y tiene una duración de 35 días.

Fase de desarrollo: Comprende el período entre el fin de la fase inicial y el momento en que el cultivo alcanza una cobertura casi total del suelo (aproximadamente un 80 %). La transpiración se convierte en un factor preponderante, el Kc sigue una recta ascendente hasta que alcanza un máximo a los 84 días desde el inicio.

Fase de mediados del período: Comprende el período que va desde el final de la fase anterior hasta comienzos de la madurez. El Kc durante esta etapa es máximo y permanece constante e igual a 0,95 durante 35 días.

Fase final: El Kc va disminuyendo hasta alcanzar la fecha de cosecha cumplidos los 140 días de cultivo, alcanzando un valor de 0,75.

5.7. Manejo agronómico

El ensayo dió inicio con la preparación del suelo en el mes de noviembre. Se realizó un control químico de malezas con la aplicación de un herbicida sistémico Dual Gold (S-metolaclo), en dosis de 2 L ha⁻¹. Luego se hicieron dos pasadas cruzadas de rastra y se niveló el terreno. Se realizó por única vez una fertilización de base con nitrógeno y fósforo utilizando fosfato di amónico (DAP) a razón de 150 kg ha⁻¹.

Las camas se acondicionaron el día 10 de noviembre de 2014, con un tractor de 1,50 m de trocha. Simultáneamente se colocaron dos cintas de goteros Streamline (Netafim), separadas 40 cm entre sí con goteros cada 30 cm, cubiertas por un plástico biodegradable negro de 22 micrones y 1,40 m de ancho. Se armaron tres camas para cada tratamiento, correspondientes a la parcela central de evaluación y las dos borduras a cada lado. Posteriormente con la zanjadora se realizaron surcos profundos entre las camas, con el propósito de conducir y drenar el agua de lluvia (Figura 6).



Figura 6. Izquierda: Detalles de la preparación del terreno con tractor e implemento de rastra de discos. Derecha: Armado de camas con colocación simultánea de dos cintas de goteros, cubiertas por el acolchado plástico biodegradable.

Se utilizaron semillas seleccionadas de la cv. Cokena INTA; las mismas se entregaron a la empresa Proplanta SA para la obtención de los plantines de aproximadamente 1 mes. El 14 de noviembre se realizó el trasplante manual a campo. El propósito del trasplante fue evitar fallas, sobre todo durante la emergencia y por consiguiente la desuniformidad en el tamaño de las plantas. Los tratamientos dieron inicio inmediatamente después del trasplante.

Se utilizó el mismo marco de plantación empleado en la zona (1 m entre plantas y 3 m entre hileras). Cada unidad experimental estuvo constituida por 30 plantas, es decir 10 plantas en 3 hileras adyacentes, de modo que quedaron 8 plantas centrales como unidad observacional y 22 plantas de bordura. El ensayo contenía 16 unidades experimentales, un total de 480 plantas.

Para cada tratamiento, se colocaron caudalímetros de $\frac{3}{4}$ " en la cabecera del ensayo y mangueras de las mismas dimensiones, que conectan a través de reductores de $\frac{1}{2}$ " a las cintas de goteros. De esta forma y a través de una llave individual, cada tratamiento recibió la cantidad de agua calculada en el momento planificado.

Para llevar un control sobre el riego y la humedad del suelo, se colocaron cuatro sensores *FDR* (*Frequency Domain Reflectometry*) ubicados en la cabecera del ensayo, dos en el testigo y otros dos en el T2, a 30 y 60 cm de profundidad. Se complementó además con la colocación de 16

sensores *Watermark* en todos los tratamientos a las mismas profundidades indicadas en cabecera y pie.

Para la programación del riego presurizado, se utilizó una planilla Excel que contenía datos diarios de evaporación bruta del tanque tipo A (mm día^{-1}), valores de k_p y k_c , evapotranspiración del cultivo calculada diariamente (mm día^{-1}), déficit hídrico acumulado en el suelo (mm), tiempo de riego (min), volumen de agua emitido por emisores específicos en el tiempo de riego (mL), lámina de riego aplicada (mm), precipitación total y efectiva (mm), lámina de exceso (mm), lámina de retención (mm) y valores de los *Watermark* a 30 y 60 cm para cada tratamiento. El intervalo de riego se modificó a lo largo del ciclo de cultivo considerando la capacidad de almacenaje del suelo y la demanda del cultivo.

La precipitación efectiva (ppef) se define como la fracción de la precipitación utilizada por el cultivo, quedando excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo (FAO 1992). La (ppef) correspondió a un 80 % de la precipitación total, en las condiciones del ensayo.

El agua de riego se clasifica de buena calidad, con una CE anual promedio de $800 \mu\text{S m}^{-1}$, procedente de un pozo de 104 m de profundidad ubicado en la Estación Experimental, que extrae agua a través de una electrobomba sumergible de 20 HP instalada a 25 m de profundidad.

Considerando la probabilidad de tormentas de granizo que anualmente provocan grandes daños en la producción agrícola de la provincia de Mendoza, se procedió a la colocación de mini túneles de bajo costo desarrollados por el INTA. Consisten en una estructura simple de 1,20 m de altura, armado con malla antigranizo y otros materiales de bajo costo. Se colocaron únicamente en las parcelas de evaluación, excluyendo de esta manera las borduras (Figura 7).

El minitúnel se ha desarrollado tecnológicamente para ser usado en combinación con riego por goteo y cobertura plástica, lo que optimiza mucho su manejo, aunque puede ser utilizado en forma tradicional.

Durante todo el ciclo del cultivo no se detectó presencia de plagas y enfermedades, tampoco incidencia de heladas ni granizo.



Figura 7. Túnel de protección antigranizo sobre el cultivo establecido de zapallo.

A lo largo del ciclo de cultivo se realizaron 4 mediciones para analizar el crecimiento, una por semana; la primera a los 35 días después del trasplante (ddt) y luego a los 42, 49, y 56 ddt. Se midió el largo de la guía principal y el número de hojas, hasta el momento en que la medición resultó casi imposible, debido al entrecruzado de las guías entre sí.

Los frutos fueron cosechados en estado de madurez. El mismo se determinó a través de la inspección visual del color y tamaño de los frutos, y el cambio de coloración del pedúnculo, que pasa de verde claro al ocre acompañado de la lignificación. Otra técnica utilizada fue la prueba de resistencia a la penetración de la uña del dedo, la cual asociada a la coloración típica de la variedad indica que la corteza del fruto ha logrado endurecerse (Della Gaspera 2013).

La duración del ciclo de Cokena INTA, fue de 143 (ddt). La cosecha se inició el 6 de abril de 2015. Los frutos fueron cortados dejando un trozo de pedúnculo de aproximadamente 1 cm para evitar pudriciones y favorecer la conservación.

Una vez recolectados y almacenados en cajones de 20 kg correctamente identificados, se llevaron a un galpón a temperatura ambiente, para posteriores mediciones y determinaciones relacionadas al rendimiento y la calidad (Figura 8).



Figura 8. Arriba: Establecimiento del cultivo y recolección durante la cosecha. Abajo: Determinación de sólidos totales y color de la pulpa del fruto.

Las variables medidas y analizadas fueron: rendimiento total y comercial de frutos (aquellos frutos de buen aspecto, sanos y con un peso promedio entre 1,5 y 2 kg) expresados luego en $t\ ha^{-1}$, número de frutos promedio (frutos ha^{-1}), porcentaje de frutos con defectos (% verdes, % rajados, % deformes y % múltiples defectos), rendimiento de semillas limpias (g), relación de rendimiento entre semillas y frutos comerciales (%), porcentaje de germinación (%) y peso de mil semillas (g). Luego se seleccionaron al azar 10 frutos comerciales por parcela para la determinación del peso individual (kg), largo y ancho (mm), sólidos totales (%), sólido solubles ($^{\circ}Brix$), color de la pulpa y tamaño de la cavidad placentaria (mm).

Así mismo, se calculó la eficiencia de uso del agua (EUA) expresada como kilogramos de producto obtenido por lámina de agua aplicada ($kg\ mm^{-1}$) y el factor respuesta del rendimiento al estrés hídrico (ky) (Pereira 2007; Kirda *et al.* 1999a).

A continuación se detallan las determinaciones realizadas en distintos períodos del ciclo del cultivo, tanto en el suelo como en el agua de riego y en la planta.

5.8. SUELO

5.8.1. Determinación de la capacidad de campo y agua disponible en el suelo

Se reconocen dos puntos de “equilibrio” de la humedad en el suelo: uno que representa la máxima capacidad de retención de agua en condiciones de libre drenaje, denominado capacidad de campo (CC), y otro llamado punto de marchitamiento permanente (PMP), que es el agua retenida por el suelo que no puede ser extraída por las plantas. Ambos puntos determinan, por diferencia, el rango de humedad disponible en el suelo para el cultivo.

Para la obtención del límite superior del agua disponible en el suelo, se siguió la metodología sugerida por Grassi (1988), y se utilizó el valor de punto de marchitez permanente estimado en ensayos previos, empleando la metodología de Richards (1948).

Si bien el PMP no es una constante del suelo, por lo general se la acepta como tal, asociando el agua retenida a 1,5 MPa (Wilcox 1960; Richards 1965; Kramer 1969).

Diversos autores han intentado estimar el PMP a través de métodos indirectos, tal es el caso del volumen de sedimentación probados para suelos mendocinos por Nijensohn y Pilasi (1969). El PMP debe vincularse estrechamente con la textura de los suelos.

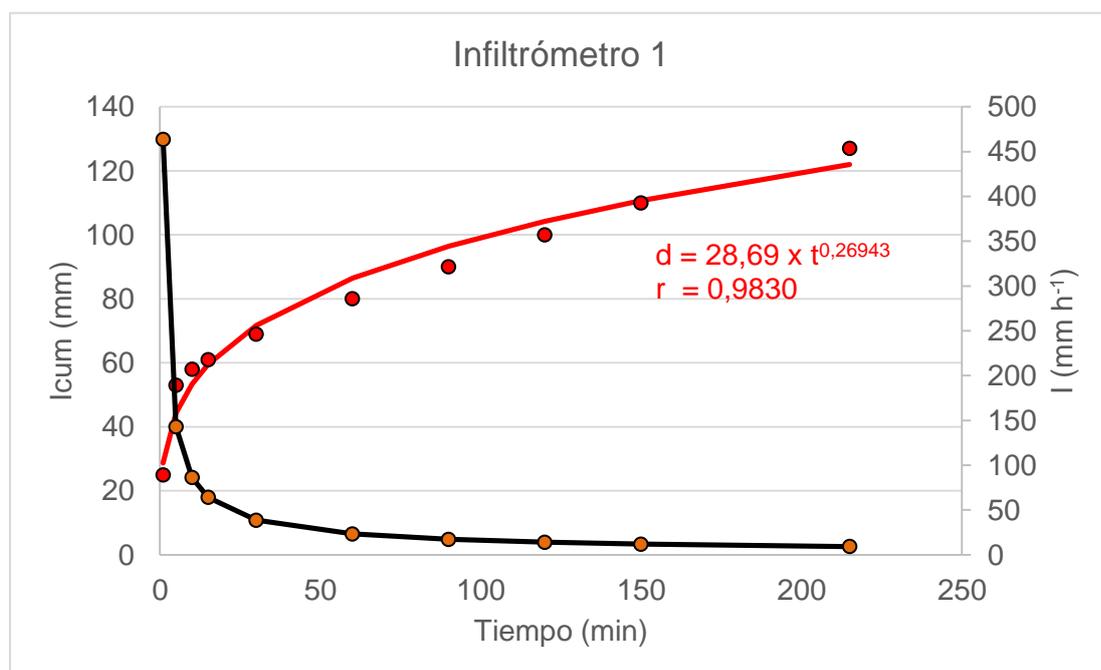
De los datos de campo se determinó que el contenido hídrico correspondiente a capacidad de campo fue de 19 g % g de suelo seco y 10 g % g para el punto de marchitez permanente.

Para el cálculo de la lámina de riego óptima, se afectó la lámina de agua disponible por el peso específico aparente (determinado a campo), la profundidad efectiva de raíces y la fracción de la superficie del suelo humedecida por el riego. El porcentaje de volumen de piedras en el perfil no fue considerado, ya que para este tipo de suelo y en la profundidad considerada no es relevante. Además se asignó un umbral de riego de 50 %.

Según Hess *et al.* (1997), el zapallo es sensible al exceso de agua en el suelo e incluso puede producirle daño en la etapa temprana de crecimiento. Por otro lado, la mayor proporción de raíces efectivas del sistema radical del zapallo se ubican relativamente a poca profundidad, por tanto el agua del suelo tiene que ser mantenida por encima del 50 % del agua disponible total en el perfil del suelo con el fin de evitar el déficit hídrico.

5.8.2. Infiltración

Se evaluó la infiltración con el método del doble anillo (USDA 1954 mencionado por Grassi 1988). La información obtenida se utilizó posteriormente para el cálculo de la ecuación de infiltración de Kostiakov (1932, mencionado por Grassi 1988) y el valor de infiltración básica del suelo (I_b). La prueba se hizo por duplicado en cabeza y pie de la unidad de riego, el primer día sobre suelo seco (Figura 9) y al siguiente día sobre el suelo húmedo (Figura 10).



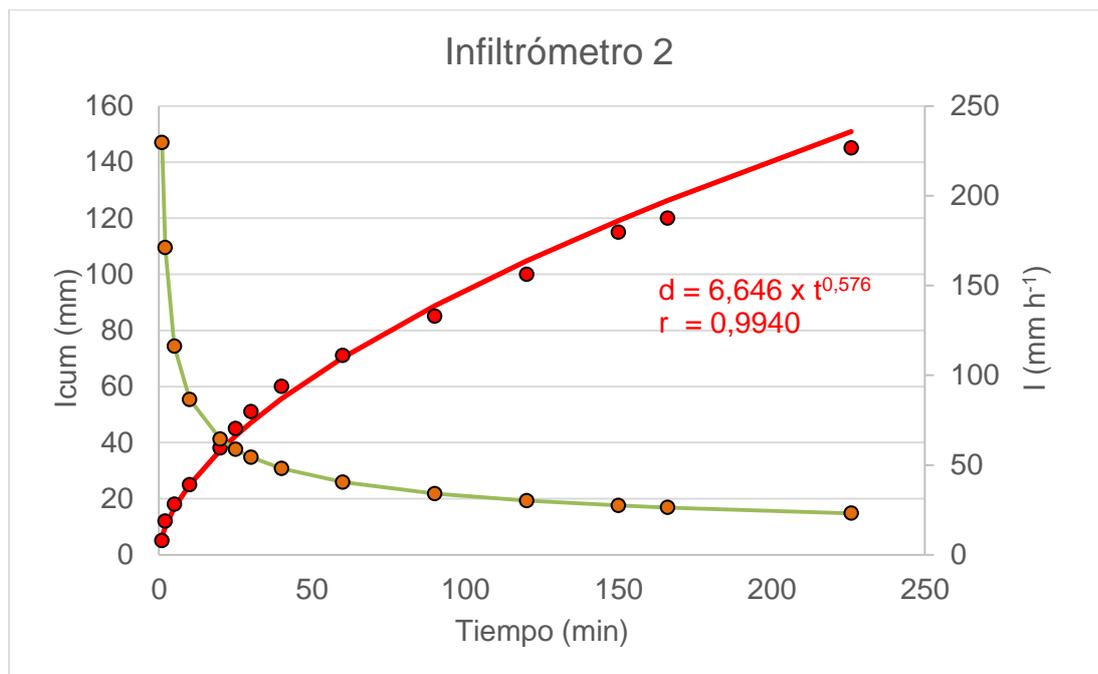
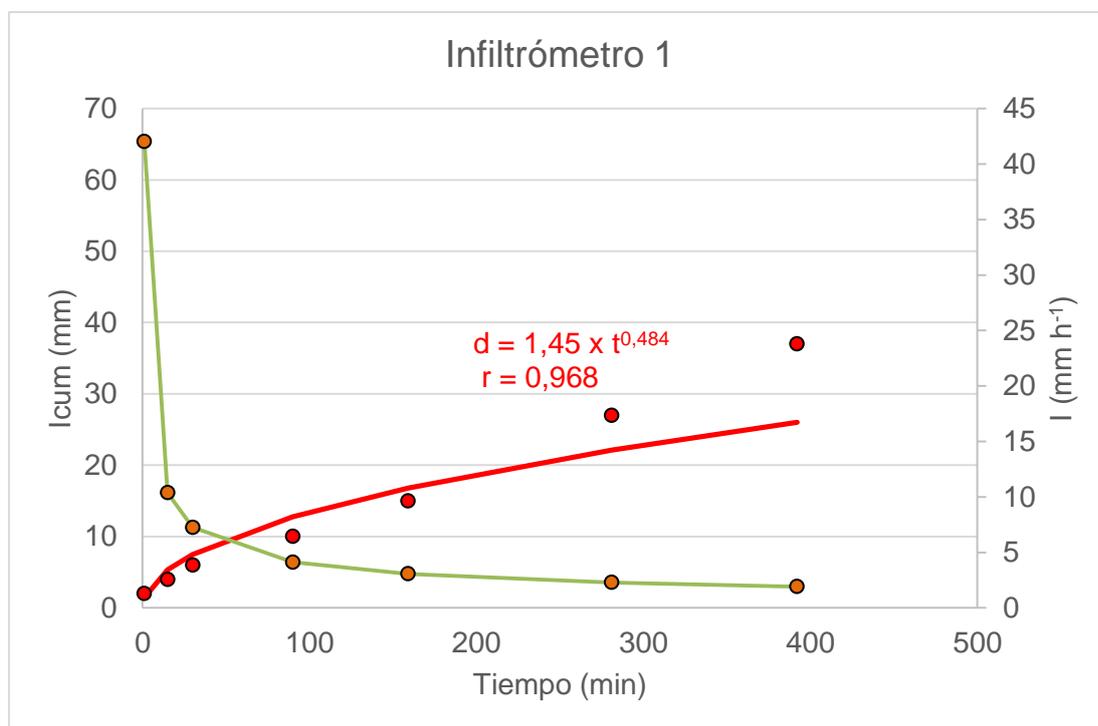


Figura 9. Representación de la curva de infiltración acumulada I_{cum} (mm) y la infiltración instantánea I ($mm\ h^{-1}$) el primer día del ensayo sobre suelo seco. Arriba: en cabecera. Abajo: al pie del ensayo.



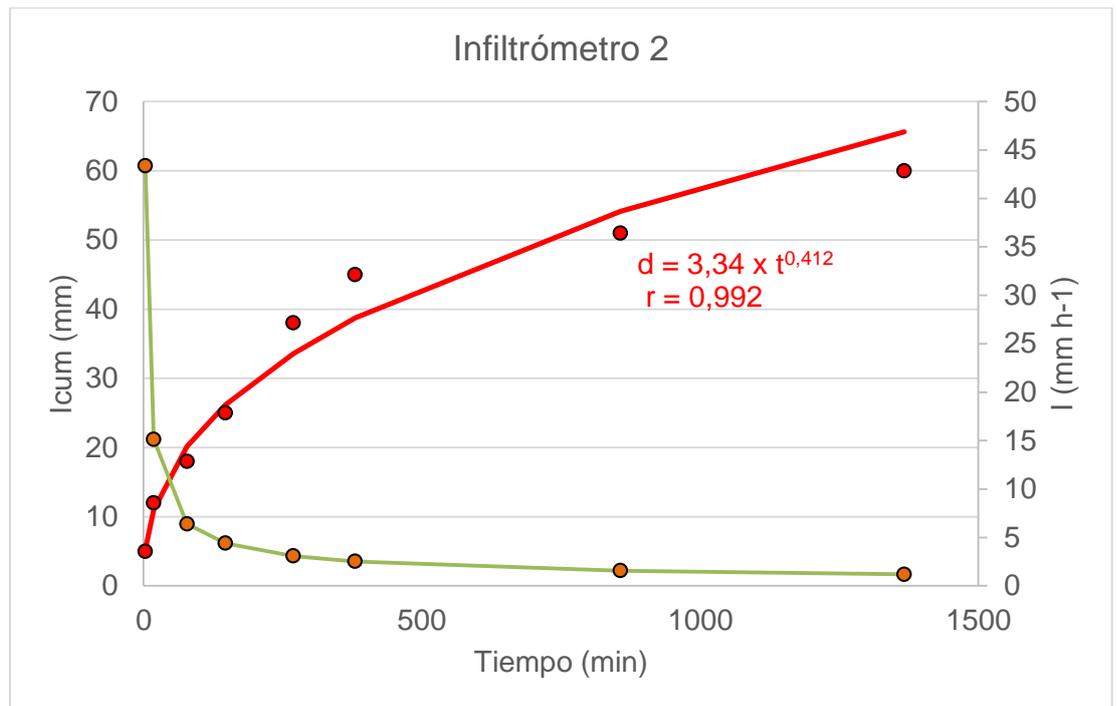


Figura 10. Representación de la curva de infiltración acumulada I_{cum} (mm) y la infiltración instantánea I_i (mm h^{-1}) al segundo día sobre el suelo húmedo. Arriba: en cabecera. Abajo: al pie del ensayo.

La infiltración del agua en el suelo difiere de un punto a otro de acuerdo a las propiedades físicas del terreno y las labores culturales realizadas (labranzas, carpidas, riego, etc.). Por ello es práctico agruparlos en grandes familias de infiltración, de acuerdo al tiempo requerido para infiltrar la lámina de riego. La infiltración básica (I_b) es otro parámetro que merece consideración debido a su importancia al proyectar el riego a nivel del predio. De acuerdo con el Servicio de Conservación de Suelos (USDA), la I_b se alcanza cuando la tasa de cambio de I_i es 10 % o menos de su valor (-0,1).

El primer día de evaluación de la infiltración sobre suelo seco, la I_b en cabecera fue de $5,4 \text{ mm h}^{-1}$ correspondiente a una velocidad de infiltración muy lenta y al pie del ensayo fue de $21,9 \text{ mm h}^{-1}$ moderadamente lenta. La determinación de la infiltración básica luego de 24 horas para el mismo sitio bajó notablemente, sobre todo en la evaluada al pie del ensayo, alcanzando valores de $2,2 \text{ mm h}^{-1}$ y de $2,6 \text{ mm h}^{-1}$ en cabecera y pie. Esta infiltración lenta puede deberse a las características particulares de este suelo, que a pesar de ser de textura franco a franco arenosa, presenta un porcentaje de arenas muy finas menores a 100μ y un 30 % aproximado de limo, que hace

que se comporte como un suelo limoso de muy baja infiltración (Tabla 3) (Lipinski comunicación personal).

Tabla 3. Composición textural del suelo expresada en porcentaje (%) en cabecera y a dos profundidades.

Fracción (μ)	Profundidad (cm)	
	00-30	30-60
2.000-1.000	0,3	0,8
1.000-500	2,1	3,6
500-250	4,8	8,1
250-100	13,9	16,4
100-50	36,6	33,3
50-20	21	19
20-2	12,2	10,3
< 2	9,1	8,5

En la Tabla se observa que la fracción de limo y arcilla (< 50 μ) suman un porcentaje de 42,3 % en la superficie y 37,8 % en profundidad. Si además se agrega la fracción de arena muy fina (100-50 μ), el porcentaje se incrementa aún más en un valor de 78,9 % y 71,1 % respectivamente.

5.8.3. Densidad aparente y Porosidad

La densidad aparente (D_a) o peso específico aparente, se define como la masa de suelo por unidad de volumen expresada en $g\ cm^{-3}$. Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y el espacio poroso (Keller y Håkansson 2010).

Los muestreos fueron realizados en suelos con contenido hídrico cercano a capacidad de campo. El procedimiento utilizado para la determinación de la D_a fue el método del cilindro (Blake y Hartge 1986).

Para este método se utilizó un muestreador (Eijkelkamp, Holanda) que consta de un cilindro metálico en su extremo inferior, en cuyo interior alberga otro cilindro removible de 5 cm de altura y un volumen de $98,2\ cm^3$. Una vez extraído el muestreador del suelo, se retira el cilindro interior y se enrasa la muestra cortando cuidadosamente con un cuchillo el suelo excedente por encima y por debajo. Los cilindros enrasados se cubren con tapas para luego

ser llevados al laboratorio y secados en estufa a 105 °C por 48 h y posteriormente se pesan.

$$Da = \frac{Ms}{Vs}$$

Donde

Da: densidad aparente expresado en g cm⁻³

Ms: Masa del suelo seco en g

Vs: Volumen del suelo en cm⁻³

En el área del ensayo se realizó una calicata y se extrajeron muestras por duplicado a distintas profundidades. La (Da) promedio fue de 1,4 g cm⁻³.

La (Da) es un parámetro importante para la descripción de la calidad del suelo. Los valores de Da altos indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida, y cambios indeseables en la función hidrológica como la reducción de la infiltración del agua.

Debido a que la porosidad del suelo (Po) depende de las características de su fracción sólida y se estima en base a las densidades real y aparente, según la relación:

$$Po \% = \frac{(1 - Da)}{Dr} \cdot 100$$

Donde:

P: Porosidad total expresada en %

Da: Densidad aparente (g cm⁻³)

Dr: Densidad real (2,65 g cm⁻³)

La aireación de un suelo depende de la distribución y tamaño de los poros (Richards 1983) y es un factor crítico para el desarrollo de las raíces.

Las prácticas de manejo del suelo y los factores ambientales pueden cambiar drásticamente la macroporosidad (White y Perroux 1989).

La Po promedio del suelo fue de 44 % lo cual calificaría una porosidad baja según la calificación de Kaurichev (1984) representada en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de un suelo según su porosidad total (%)

Porosidad total %	Clasificación
> 70	Excesiva
70 - 55	Excelente
55 - 50	Satisfactoria
50 - 40	Baja
< 40	Muy baja

Con relación a la distribución de poros, Baver *et al.* (1973) consideran como ideal, aquella en la cual, macro y microporos se encuentran en igual proporción y agrega que, cuando la macroporosidad es menor del 10 %, se restringe la proliferación de raíces, valor también establecido por Pla, citado por Cortés y Malagón (1984).

5.8.4. Análisis físico químico del suelo

Se extrajeron muestras de suelo con barreno a distintas profundidades: 0 a 30, 30 a 60 y 60 a 90 cm para cada uno de los tratamientos, en cabeza y pie de la parcela del ensayo. En total fueron 24 muestras que se colocaron en pesafiltros identificados y fueron remitidas al laboratorio para evaluar las características físicas y químicas del perfil del suelo.

Las muestras fueron pesadas y luego secadas a estufa a 105 °C hasta peso constante, molidas y tamizadas con tamiz de 2 mm. Posteriormente se realizaron los siguientes análisis físico-químicos: porcentaje de humedad por el método gravimétrico (Camargo *et al.* 1986), volumen de sedimentación para la apreciación de la textura (Nijensohn y Pillasi 1962). Luego se formaron 6 muestras compuestas representativas para determinar: pH de la pasta saturada y conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes) de acuerdo a lo descrito por USDA (1999). En el extracto de saturación se determinó cationes solubles (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} y K^{+}) y aniones solubles (CO_3^{-2} , HCO_3^{-} , Cl^{-} y SO_4^{-2}) expresados en meq L^{-1} . Se procedió a la determinación de

nitrógeno total (Método Kjeldahl), fósforo disponible con el método de extracción carbónica en relación 1:10, potasio intercambiable (extraído en solución de acetato de amonio 1 N, pH 7), porcentaje de materia orgánica oxidable (Walkley y Black 1934).

La determinación del contenido de humedad gravimétrica permitió comparar los resultados con otros métodos indirectos de evaluación de agua en el suelo, como los sensores *Watermark* y *FDR* (del inglés *Frequency Domain Reflectometry*). El volumen de sedimentación dio valores entre 78 y 100 cm³ % g, que corresponde a un suelo de textura arenoso franco a franco arenoso. Los valores de pH de la pasta saturada se mantuvieron por encima de 7,5 lo cual favorece la disponibilidad y absorción por parte de las plantas, de nitrógeno, calcio, magnesio, aunque podría dificultar la absorción de hierro, manganeso, cobre y cinc. La CEes medida en dS m⁻¹ a una temperatura estándar de 25 °C clasifica como ligeramente salina, es decir puede disminuir los rendimientos de aquellos cultivos más sensibles a la salinidad del suelo. El contenido de aniones como de cationes estuvo dentro de un rango normal de valores. Los resultados de Na⁺ y RAS fueron bajos lo que indicó baja peligrosidad sódica. En cuanto a la fertilidad del suelo, resultó ser predominantemente rico en nitrógeno, con contenido medio de fósforo, y bien provisto de potasio según criterios de interpretación de Nijensohn *et al.* (1972). El porcentaje de materia orgánica fue de aproximadamente 1,2 % que si bien representa un escaso valor, es significativo para este tipo de suelos.

5.8.5. Monitoreo de la humedad del suelo

Para el monitoreo de la humedad del suelo, se utilizaron métodos indirectos que miden el contenido de agua. Las denominadas sondas dieléctricas miden el contenido de humedad de un material en respuesta a cambios en la constante dieléctrica del mismo (ϵ). La mayoría de los materiales constituyentes del suelo tienen una ϵ entre 2 y 4. La ϵ del agua es de 78. En consecuencia, a medida que el contenido de agua de un material aumenta, la constante dieléctrica aumentará. La variación de ϵ es registrada de dos modos: por medio del tiempo TDR (*Time Domain Reflectometry*) o por cambios de la frecuencia de resonancia del material *FDR* (*Frequency Domain Reflectometry*).

En la cabecera del ensayo, se instalaron dos sensores Decagon Devices a 30 y 60 cm de profundidad en el testigo y otros dos, a iguales profundidades, en el T2. La instalación se realizó en seco, evitando que queden espacios de aire entre la superficie del sensor y el suelo circundante, ya que disminuye considerablemente la exactitud de la medición.

Los valores medidos por los sensores fueron almacenados en un *datalogger*, obteniéndose un registro continuo de los datos durante toda la temporada. Posteriormente, con la ayuda del *software DataTrac* se procesaron los datos y se determinó el contenido volumétrico de agua en el suelo (mm) aplicada en cada riego.

Paralelamente se utilizaron sensores *Watermark*, que se instalaron en los 4 tratamientos a una profundidad de 30 y 60 cm, en cabecera y pie. Los sensores tienen un rango de medición de 0 a 200 centibares (0 a 200 kPa) de potencial hídrico. El uso de estos sensores en la horticultura resultan prácticos dado que requieren escaso mantenimiento, son resistentes a heladas y los valores medidos no se ven influenciados por posibles fluctuaciones del contenido salino (valor de CE) de la solución del suelo. La interpretación de los datos es muy sencilla ya que los resultados de medición vienen dados como valores de tensión hídrica.

Los sensores *Watermark* están formados por dos electrodos empotrados en un material de matriz especial y envueltos por un tubo de malla de acero inoxidable. El agua y solutos de la solución del suelo se equilibran con los de la matriz del sensor. Ésta opone diferentes niveles de resistencia a la corriente alterna según el contenido de agua del suelo. Los valores son leídos mediante un medidor electrónico y convertidos a potencial hídrico.

Para complementar los datos obtenidos por los sistemas anteriores, se procedió a determinar el porcentaje de humedad del suelo gravimétricamente (% H), en la cabecera y al pie del ensayo para cada uno de los tratamientos, a una profundidad de 30 y 60 cm. Las determinaciones se hicieron al inicio de la plantación (% H Inicio) es decir, antes de comenzar con los tratamientos diferenciales de riego, otras tres determinaciones se realizaron dentro del período de duración de cada tratamiento T2, T3 y T4 (% H T2, % H T3 y % H T4) y por último al final del ensayo, próximo a cosecha.

5.8.6. Estudio del perfil del suelo y de la distribución de raíces

En la cabecera del ensayo y para cada uno de los tratamientos, se hicieron 4 calicatas en forma de L para la descripción morfológica de las raíces en el perfil del suelo. Se descalzó el sistema radical y se analizó el patrón de distribución de raíces finas < 2 mm de diámetro (Stevens *et al.* 1995). Se midió además la longitud de raíces (Figura 11).



Figura 11. Izquierda: Distribución de raíces finas < 2 mm en el perfil del suelo. Derecha: Longitud de la raíz principal medida en cm.

Se encontraron raíces finas hasta los 45 cm de profundidad y una longitud promedio de la raíz principal de 1,8 m.

La distribución y densidad de raíces determina el volumen de suelo aprovechable para la absorción de agua y nutrientes por la planta (Giulivo y Pitacco 1997). El régimen de aplicación de agua de riego por goteo tiene, por lo tanto, un efecto determinante sobre el desarrollo del sistema radicular, como lo señalan Black *et al.* (1977) y Richards (1983), a mayor volumen de suelo mojado, mayor desarrollo de raíces.

Según Honorato *et al.* (1988), Silva *et al.* (1991) y Ruiz (2000), en las vides, mientras mayor es el volumen de suelo explorado por el sistema radical de las plantas, mayor es el crecimiento y desarrollo de la parte aérea y mayor es la productividad de las plantas.

5.9. AGUA

5.9.1. Uniformidad del riego

Se evaluó el coeficiente de uniformidad (CU) mediante la metodología descrita por Merriam y Keller (1978). Además se midieron las presiones a la salida del cabezal principal utilizando un manómetro con una escala de 0 a 60 m.c.a.

A lo largo de cuatro hileras de plantas, se seleccionó una cinta de riego para cada hilera y se sortearon aleatoriamente cuatro goteros ubicados: al inicio, 1/3 , 2/3 y al final de la línea, de manera tal que se obtuvieron 16 puntos de medición. Los instrumentos utilizados para la medición del volumen de agua erogado por los emisores durante 2 minutos fueron, una probeta (para medir el volumen) y un cronómetro (para medir el tiempo). Se calculó el caudal de cada emisor y el CU, que es el cociente entre el caudal medio de los emisores que conforman el 25 % del caudal más bajo, respecto al caudal promedio de todos los emisores.

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a}$$

Donde:

CU: Coeficiente de uniformidad

q_{25} : Caudal medio de los emisores que conforman el 25 % de caudal más bajo

q_a : caudal medio de todos los emisores

Para sistemas de riego localizados de alta frecuencia, Pizarro (1996) recomienda un rango de valores de CU entre 85-90 % o mayores, en el caso de emisores espaciados a menos de 2,5 m, pendiente del terreno menor al 2 % y clima árido.

En el ensayo, el CU fue del 86 %, clasificándose como buena uniformidad de riego según Merriam y Keller (1978). El caudal promedio por emisor fue de 1,1 L h⁻¹ a una presión promedio de 1 kg, valor muy semejante

al caudal promedio por gotero indicado por el fabricante que era de 1,05 L h⁻¹ (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación de la uniformidad del equipo de riego

Caudal medio medido por gotero	1,10 L.h ⁻¹
Caudal de emisores 25 % inferior	0,95 L.h ⁻¹
CU (Merriam Keller)	0,86

5.9.2. Calidad del agua de riego

Durante todo el ciclo del cultivo, se realizó el monitoreo del agua de pozo utilizada para riego, ubicado en el campo de la Experimental. Se determinó en laboratorio la conductividad eléctrica (CE), el pH y se calificó la salinidad del agua de riego según el criterio de FAO (Ayers y Westcot 1987).

Al inicio de la temporada del cultivo se extrajo una muestra de agua de la boca del pozo y se analizó químicamente la presencia de aniones y cationes en laboratorio (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis químico del agua de pozo para riego.

	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	∑ Aniones	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	∑ Cationes
meq L ⁻¹	0,8	2,4	4,63	7,83	3,44	1,12	2,7	0,11	7,37
mg L ⁻¹	48,8	85,2	222,2	356,2	68,8	13,7	62,1	4,3	148,85

pH	CE	∑ Sales	Res. Sólido	RAS	CSR	Dureza Total
7,98	0,783	505	534	1,78	-3,76	22,8

CE: conductividad eléctrica (dS m⁻¹), Sumatoria de sales (mg L⁻¹), Res. Sólido: Residuo Sólido (mg L⁻¹), RAS: Relación de Adsorción de Sodio (mmol L⁻¹), CSR: Carbonato Sódico Residual (meq L⁻¹), Dureza del agua (°F).

Las muestras de agua analizadas durante la temporada de cultivo en general tuvieron valores de pH moderado y CE entre 0,7 a 1,1 dS m⁻¹ a 25 °C, calificada como ligera a moderada restricción en el uso del agua (0,7 a 3 dS m⁻¹ a 25 °C). En general son aguas yesosas (alto contenido de calcio,

magnesio y sulfatos), con valores de RAS y CSR bajos, clasificada como un agua muy dura (°F).

Los iones más comunes que pueden provocar problemas de toxicidad son cloruro y sodio. Del resultado del análisis químico de los iones presentes en el agua de riego, los valores se encontraron por debajo del límite de tolerancia ($\text{Cl}^- < 500 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{Na}^+ 250 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{SO}_4^{-2} 300 \text{ mg L}^{-1}$).

5.9.3. Manejo del riego deficitario controlado

Para el control del riego deficitario, se instalaron en cabecera, caudalímetros de $\frac{3}{4}$ " ($0,5 \text{ L s}^{-1}$) y llaves para interrumpir el riego en el momento deseado. La apertura y cierre de llaves se manejó en forma manual. Las mangueras se fijaron al suelo con anclas de alambre para impedir el desplazamiento producido por la presión del agua.

5.10. PLANTA

5.10.1. Rendimiento y calidad de frutos

Para la determinación de producción total y comercial, en las 16 parcelas evaluadas se contó y pesó el número total de frutos cosechados. Posteriormente se realizó una selección de frutos verdes, rajados, deformes, con múltiples defectos y comerciables. El rendimiento fue expresado en kg ha^{-1} . Luego se seleccionaron al azar 10 frutos de cada parcela, es decir un total de 160 frutos, para la determinación de: peso individual del fruto (g), producción promedio de semillas por tratamiento (g), poder germinativo de semillas (%), color de la pulpa del fruto, tamaño de la cavidad placentaria (mm), determinación de sólidos solubles (°Brix) y sólidos totales (%).

El peso individual de cada fruto se determinó con una balanza analítica Explorer Pro marca OHAUS. Debido a la pequeña escala de producción, la extracción de semillas de los frutos se realizó manualmente. Para ello, se cortó el fruto longitudinalmente con una cuchilla dejando expuesta dos mitades iguales. Luego con una cuchara se extrajeron las semillas con restos de pulpa. El secado se hizo colocando las semillas sobre bandejas de cartón y éstas sobre zarandas al sol durante una semana. Posteriormente las semillas secas de cada parcela se ventilaron utilizando una máquina de aire zaranda adaptada para pequeñas cantidades de semillas. La calidad de las

mismas se determinó en laboratorio por medio del poder germinativo y el peso de mil semillas siguiendo las normas ISTA (1999).

Para el color de la pulpa del fruto se utilizó un colorímetro digital portátil CR-400 Konica Minolta. El tamaño de la cavidad placentaria se midió con un escalímetro digital Eagle 300 mm marca TESA.

Para la determinación de sólidos solubles se utilizó un refractómetro digital de bolsillo Pal marca Atago, con un rango de medición de 0 a 53 °Brix. La determinación de sólidos totales, se hizo mediante el método del secado en estufa al vacío. Para ello se utilizó la estufa marca DALVO a 70°C, de manera que la muestra no se altere y que no se evaporen los compuestos volátiles. El principio operacional del método, utiliza una estufa y una balanza analítica, e incluye la preparación de la muestra limpia y sin cáscara, con los procedimientos de pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra.

5.10.2. Factor respuesta del rendimiento

El factor de respuesta del rendimiento (ky) relaciona la reducción del rendimiento relativo ($1 - Y_a Y_m^{-1}$) con el déficit de evapotranspiración relativa ($1 - E_{Ta} E_{Tm}^{-1}$). Su valor específico varía dependiendo de la especie, cultivar, método de riego, manejo del cultivo; como así también de la etapa de crecimiento y desarrollo del mismo a lo largo del ciclo (es decir, el trasplante, crecimiento vegetativo, floración, cuajado del fruto o maduración). Un valor de ky superior a uno identifica a cultivos más sensibles al estrés hídrico; y cultivos con un valor ky menor que uno muestra el comportamiento opuesto, es decir más tolerantes a condiciones de déficit hídrico.

La relación rendimiento y uso de agua fue determinada usando el modelo de Stewart *et al.* (1977). Caracterizada por parámetros adimensionales relativos de la reducción del rendimiento versus la reducción del consumo de agua.

$$(1 - Y_a Y_m^{-1}) = ky (1 - E_{Ta} E_{Tm}^{-1})$$

Donde:

Ya: Rendimiento esperado como consecuencia del déficit hídrico ($t\ ha^{-1}$)

Ym: Rendimiento máximo alcanzable en plena disponibilidad hídrica ($t\ ha^{-1}$)

ETa: Evapotranspiración real del cultivo (mm)

ETm: Evapotranspiración máxima del cultivo (mm)

Teniendo en cuenta todos los demás factores de producción en su óptimo nivel, la respuesta del cultivo al déficit hídrico, se define como la disminución constante del rendimiento del cultivo al disminuir la cantidad de agua aplicada en la zona de la raíz (Richard *et al.* 2002; Amer 2011).

5.11. Análisis estadístico

La base informática utilizada fue el programa IS InfoStat/Profesional versión 2014p. Los datos se analizaron estadísticamente mediante el análisis de la varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas por el test de Tukey utilizando un nivel de significancia del 5 % ($p < 0,05$) para las variables de distribución normal.

Para el análisis de los residuos se utilizó la Prueba de Levene, con diagrama de dispersión y gráfico QQPlot. Los datos expresados en porcentaje fueron transformados a su arco seno raíz cuadrada, para el posterior análisis estadístico de la varianza.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Manejo del agua para riego

La curva de Eto y Etc para el cultivo de zapallo en la localidad de La Consulta, San Carlos se indican en la Figura 12.

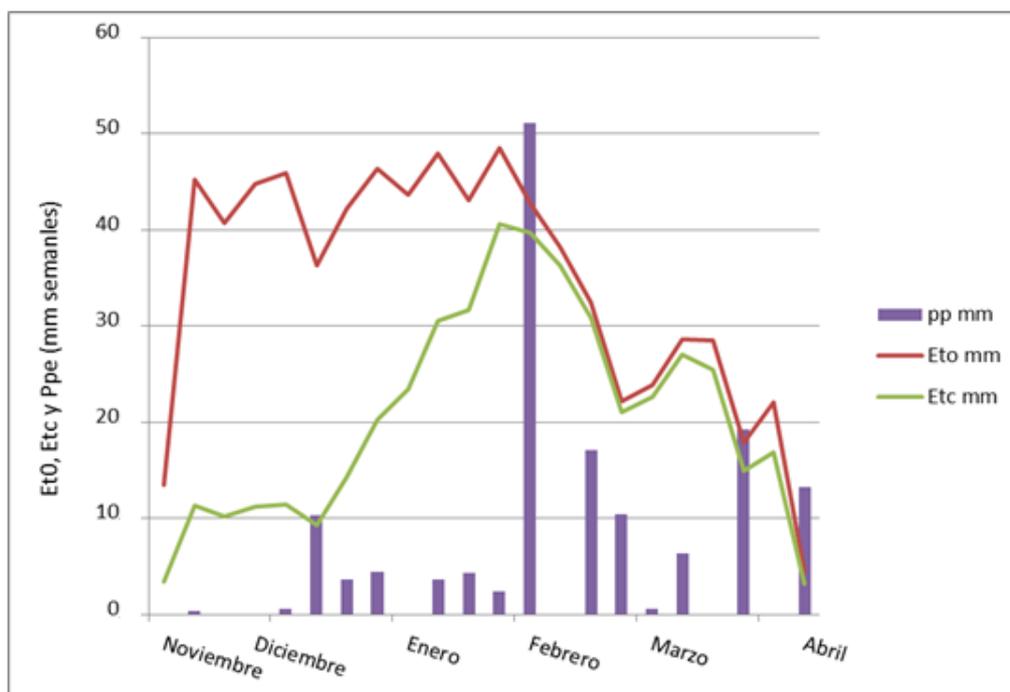


Figura 12. Precipitación efectiva semanal (ppe), Evapotranspiración de referencia (Eto) y del cultivo (Etc) por semana, en el tratamiento testigo.

La diferencia entre la curva de Eto, calculada a partir de los datos de la estación meteorológica ubicada en la Experimental y la Etc, se debe al valor del coeficiente de cultivo (K_c) para el zapallo en las distintas etapas de desarrollo. Durante el período inicial, el área foliar del zapallo es pequeña y la evaporación en el suelo contribuye con el mayor porcentaje en la evapotranspiración. A partir de diciembre el cultivo se desarrolla rápidamente y sombrea cada vez más, por tanto la evaporación del suelo se ve cada vez más restringida y la transpiración gradualmente se convierte en el proceso más importante. Durante este corto período la Etc toma valores máximos y muy cercanos a la Eto. La máxima Etc se registró el día 2 de Febrero y fue de 8,36 mm. Luego comienza la senescencia del cultivo, generalmente asociada a una conductancia menos eficiente de los estomas debido a los efectos del envejecimiento, lo que reduce el valor de Etc hasta el inicio de la cosecha.

Las precipitaciones totales durante todo el ciclo del cultivo fueron escasas (147 mm), las de mayor intensidad se produjeron concentradas en el mes de febrero y en menor cantidad en marzo, diciembre y abril (Figura 12).

La Eto acumulada durante todo el ciclo del cultivo de zapallo fue de 758,7 mm. Para el mismo período la Etc fue de 455,3 mm y la suma de la precipitación efectiva más el riego acumulado en el testigo fue de 334,1 mm (Figura 13).

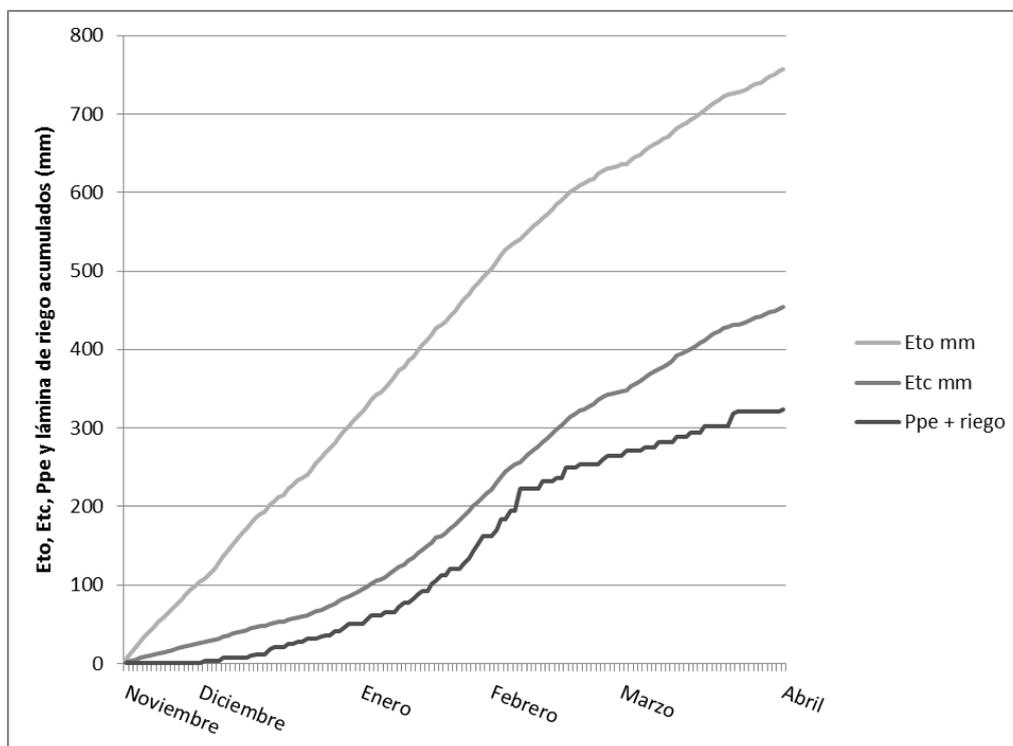


Figura 13. Evapotranspiración de referencia (Eto) y del cultivo (Etc) acumuladas, precipitación efectiva (ppef) y lámina de riego acumuladas en el tratamiento testigo.

La diferencia entre la Etc y la lámina total aplicada en el testigo (riego+ppef), se debe al ajuste por humedecimiento parcial del riego, debido a que el sistema de riego por goteo humedece solamente una fracción de la superficie del suelo. El riego localizado, incluyendo el goteo, puede disminuir la evaporación significativamente y ahorrar agua en plantaciones jóvenes, ahorro que va disminuyendo cuando las plantas son adultas (Feres *et al.* 1981).

Una estrategia de déficit hídrico expone a los cultivos, de una manera pre-programada, a una cierta tensión de agua durante un cierto período de tiempo o durante toda la estación de crecimiento. Esto reduce los rendimientos, pero ahorra agua y aumenta la eficiencia de la misma (English

y Raja 1996; Fereres et al. 2003; Pereira et al. 2002; Perry et al. 2009, Steduto 2006, Steduto et al. 2007 y Topcu et al. 2007).

A partir del mes de diciembre empezó el tratamiento de restricción hídrica en la etapa inicial de crecimiento y duró 59 días. Durante este período, el riego más la precipitación efectiva, del testigo, T2, T3 y T4 fue de 65; 34,5; 63,7 y 62,7 mm respectivamente, cumpliéndose la relación planificada del 50 % de restricción hídrica entre el testigo y el T2 y semejante entre el testigo y los otros tratamientos (T3 y T4). El segundo período duró 31 días y las láminas totales aplicadas durante esta etapa fueron de 157,9; 163,8, 78,2 y 157,9 mm, nuevamente se cumplió la relación de restricción hídrica del 50 % entre el testigo y el T3. Finalmente, el último período de llenado de los frutos hasta cosecha, tuvo una duración de 54 días, y las láminas de riego más la precipitación efectiva para el testigo y los tratamientos fueron de 111,2; 113,5; 120,6 y 74,4 mm. En esta última etapa, no se alcanzó la restricción hídrica planificada del 50 %, sino que la lámina total aplicada en el último tratamiento alcanzó una relación del 70 % con respecto al testigo, debido principalmente a la coincidencia con el período de lluvias más intenso. Esto se resume en la Tabla 7 y en la Figura 14.

Tabla 7. Lámina total (riego+ppef) en mm y relación alcanzada para cada tratamiento de riego, durante los tres períodos: crecimiento vegetativo inicial, floración, llenado y maduración de los frutos.

Periodo	Tratamiento	Duración (días)	Riego+Ppef (mm)	Rx/RT
1	Testigo	59	65,0	1,0
	T2		34,5	0,5
	T3		63,7	1,0
	T4		62,7	1,0
2	Testigo	31	157,9	1,0
	T2		163,8	1,0
	T3		78,2	0,5
	T4		157,9	1,0
3	Testigo	54	111,2	1,0
	T2		113,5	1,0
	T3		120,6	1,1
	T4		74,4	0,7

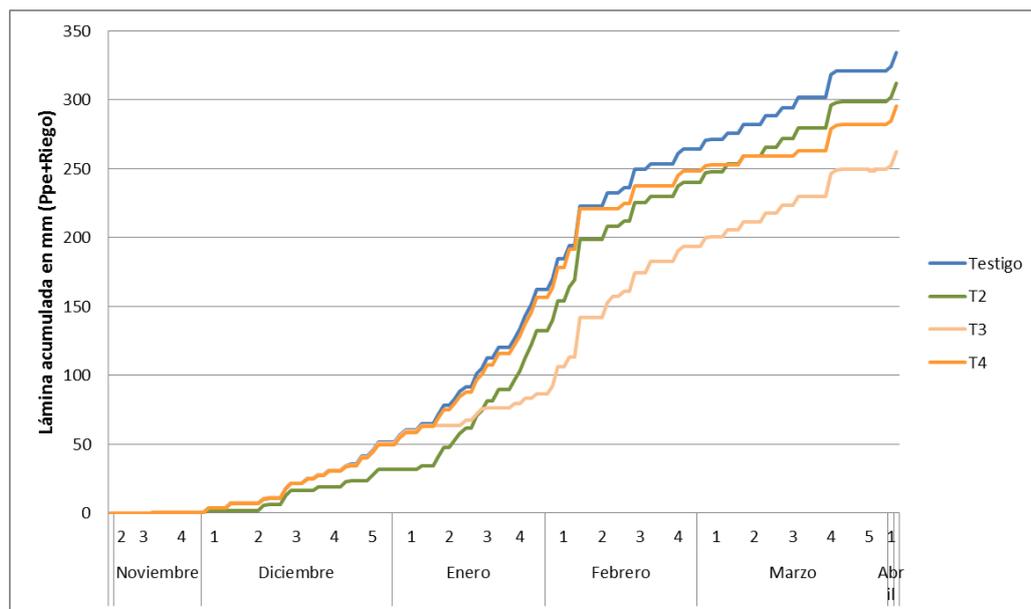


Figura 14. Lámina acumulada total (riego+ppef) en mm, para cada uno de los tratamientos durante el ciclo del cultivo de zapallo.

6.2. Valoración de la humedad del suelo

6.2.1. Sensores de humedad del suelo *FDR*

La Figura 15 muestra el resultado de los datos adquiridos de las sondas dieléctricas *FDR* a 30 cm de profundidad y durante todo el ciclo.

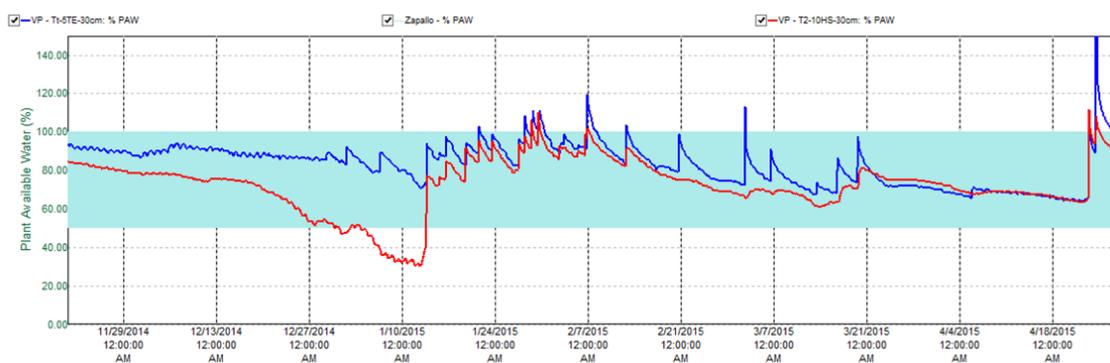


Figura 15. Contenido de humedad del suelo a una profundidad de 30 cm en Testigo y T2 medido con sonda *FDR*.

En la Figura la franja de color celeste, representa el agua disponible total para la planta. El límite superior corresponde a la capacidad de campo y el límite inferior al umbral de riego convenido en un 50 %. La línea azul ilustra el testigo y la línea roja el T2.

Claramente se distingue al comienzo del ensayo un distanciamiento entre ambas líneas, y a mediados del mes de enero esa distancia se reduce y se asemeja. De esta manera, se ve reflejado en los sensores, por un lado la restricción hídrica en el T2, donde el suelo se va secando hasta superar el umbral de riego y una vez que termina el tratamiento vuelve a su estado de plena suplencia hídrica, y por otro lado el testigo que se ubica siempre dentro del agua fácilmente disponible para la planta. Ocasionalmente las líneas superan el límite superior, es decir el de capacidad de campo, y las fechas corresponden a los días de intensas precipitaciones lo cual indicaría que hubo escorrentía y posiblemente drenaje en profundidad.

En correspondencia al contenido de humedad del suelo también se midió la tensión a 60 cm de profundidad para el testigo y el T2. La Figura 16 demuestra que el momento de máxima restricción hídrica del T2, coincide con la máxima tensión, y por lo tanto la planta presenta más dificultad para extraer agua del suelo (línea roja). El testigo está representado por la línea azul, lamentablemente durante una parte del tratamiento se desconectó, posiblemente por alguna práctica cultural realizada en el ensayo, pero a grandes rasgos se visualiza que no sufre grandes cambios. El contenido de humedad del tratamiento testigo se mantuvo siempre cercano a capacidad de campo como se pretendía.

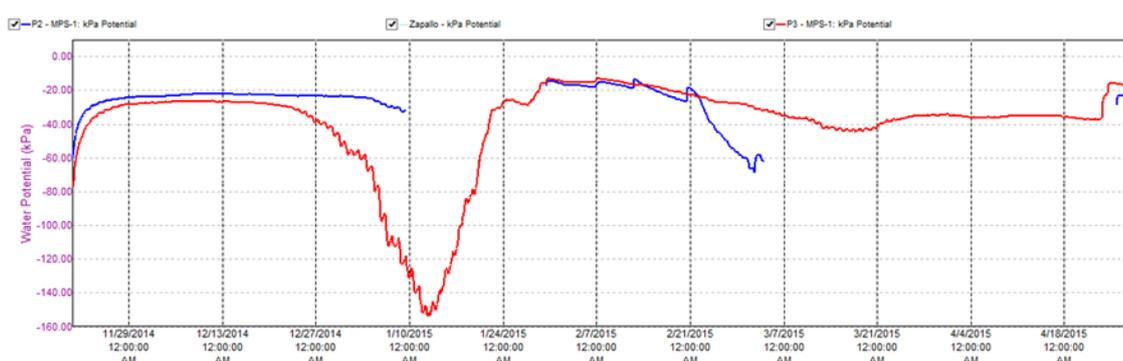


Figura 16. Tensiometría a 60 cm de profundidad para el testigo (línea azul) y el T2 (línea roja).

Así como muchos autores sugieren (Dunwell *et al.* 2001; Mario *et al.* 1997; Richard *et al.* 2002) se mantuvo siempre el contenido de agua en el suelo para el tratamiento testigo entre el 65 % y el 80 % de la capacidad de campo.

6.2.2. Bloques de resistencia sensores *Watermark*

Este instrumento proporciona una medida directa de la tensión de agua del suelo, que es la tensión que deben superar las raíces para extraer agua del suelo circundante. Los valores de los sensores a dos profundidades (30 y 60 cm) en cabecera y pie del ensayo, comparando el testigo con cada tratamiento, se muestran en las Figuras 17, 18 y 19 , para el período inicial del crecimiento vegetativo, período de floración y llenado de los frutos, respectivamente.

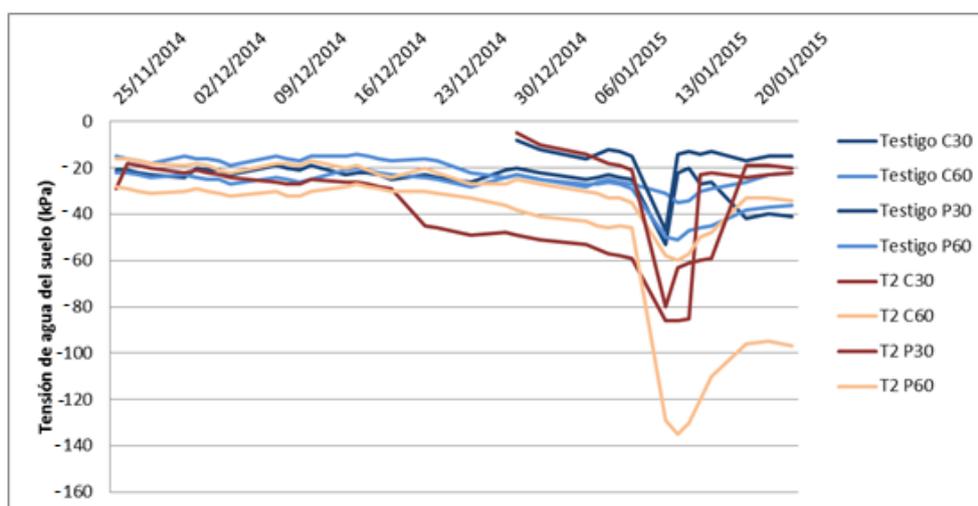


Figura 17. Tensión del agua del suelo (kPa) medidas a dos profundidades 30 y 60 cm en cabecera y pie del ensayo, en el testigo y T2.

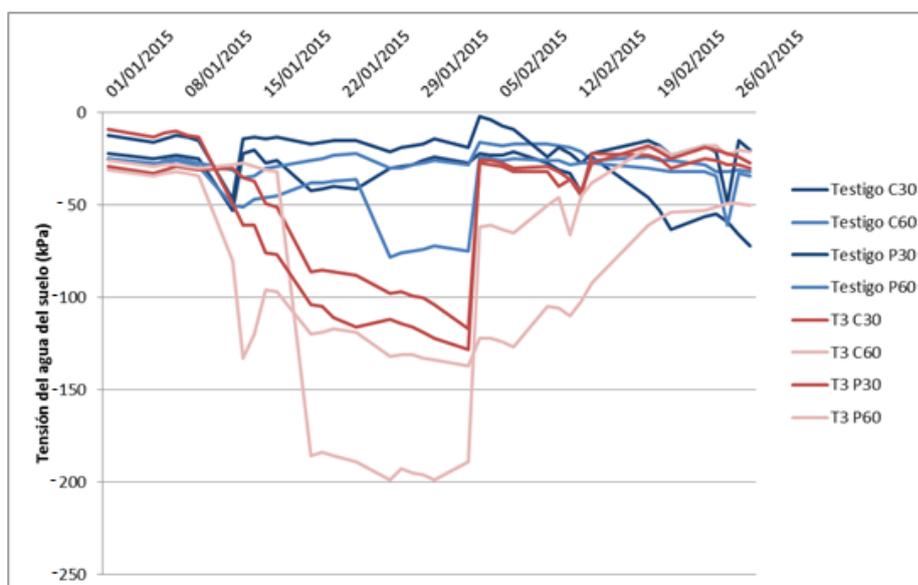


Figura 18. Tensión del agua del suelo (kPa) medidas a dos profundidades 30 y 60 cm en cabeza y pie del ensayo, en el testigo y T3.

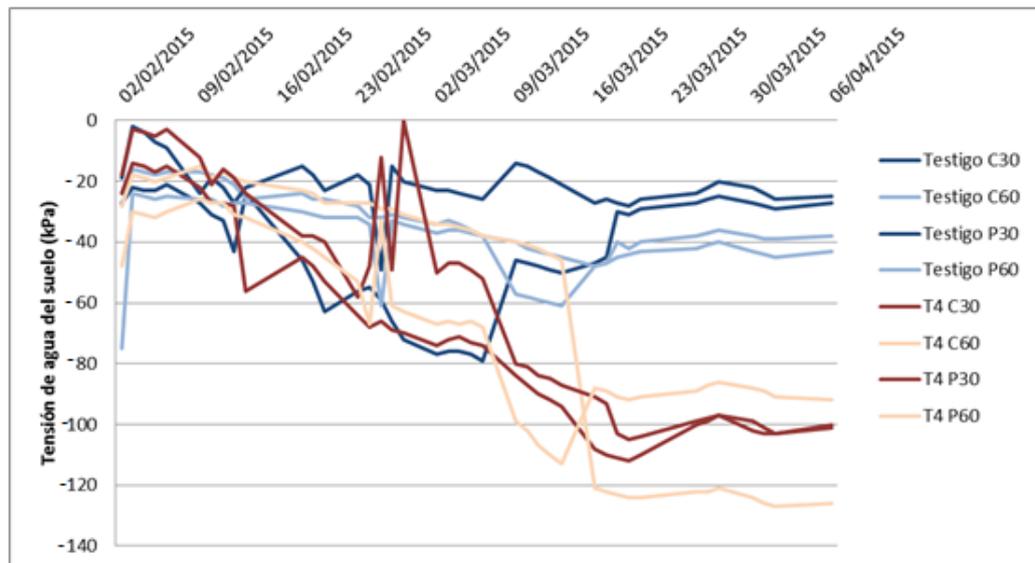


Figura 19. Tensión del agua del suelo (kPa) medidas a dos profundidades 30 y 60 cm en cabeza y pie del ensayo, en el testigo y T4.

En todas las Figuras se ve claramente que la tensión del agua en el suelo es inferior (mayor valor negativo) en los tratamientos de estrés, en comparación al testigo que se mantiene con valores relativamente altos.

El principio básico del riego por goteo es mantener un alto potencial mátrico del agua en un volumen reducido de suelo, lo que se logra mediante la aplicación diaria de agua, reemplazando lo consumido por las plantas el día anterior (Bresler 1977).

Algunos estudios han demostrado que la cantidad de agua aplicada en riego localizado con alta frecuencia aumenta el rendimiento en algodón (Bordovsky y Lyle 1988), porque el consumo de agua de la planta es mayor cuando el riego se inicia con bajas tensiones de agua en el suelo (Stansell y Smittle 1989).

6.2.3. Método gravimétrico

Los contenidos de humedad gravimétrica en suelos son de relativa utilidad y deben complementarse con otras mediciones. Así lo señalan Warrick y Nielsen (1980), quienes indicaron que las mediciones de agua del suelo exhiben una sustancial variabilidad espacial. Esto atribuido a una irregular distribución de raíces que dificulta la elección de la zona donde monitorear el estatus de agua; y a una gran variación espacial de parámetros

hidráulicos del suelo, que hacen imprecisa la estimación del agua disponible y limitan la interpretación de resultados basados en humedad del suelo.

Otra limitación del control de humedad en el suelo es que las mediciones no están directamente vinculadas al estrés en la planta y por lo tanto a los síntomas en la planta, que son los que en definitiva afectan el crecimiento y la productividad (Mc Cutchan y Shackel 1992).

Por otro lado, Dough *et al.* (2013) manifiestan que la evaluación de la humedad del suelo a través de criterios como contenido de agua del suelo, volumen de agua suministrado, tensión o potencial hídrico del suelo constituyen parámetros deficientes para caracterizar el estado real hídrico de la planta, y conduce en consecuencia, a la variabilidad en el EUA.

Para contrarrestar esta situación se intentó en un primer momento medir el potencial hídrico aproximado del pecíolo de la hoja de zapallo con la Cámara de Scholander, lo cual se descartó rápidamente debido al gran tamaño de la hoja y el pecíolo que imposibilitan la tarea.

No se evidenció variabilidad de humedad del suelo a 60 cm entre los tratamiento, por tanto se muestra únicamente el porcentaje de humedad en cabecera y a 30 cm de profundidad (Figura 20).

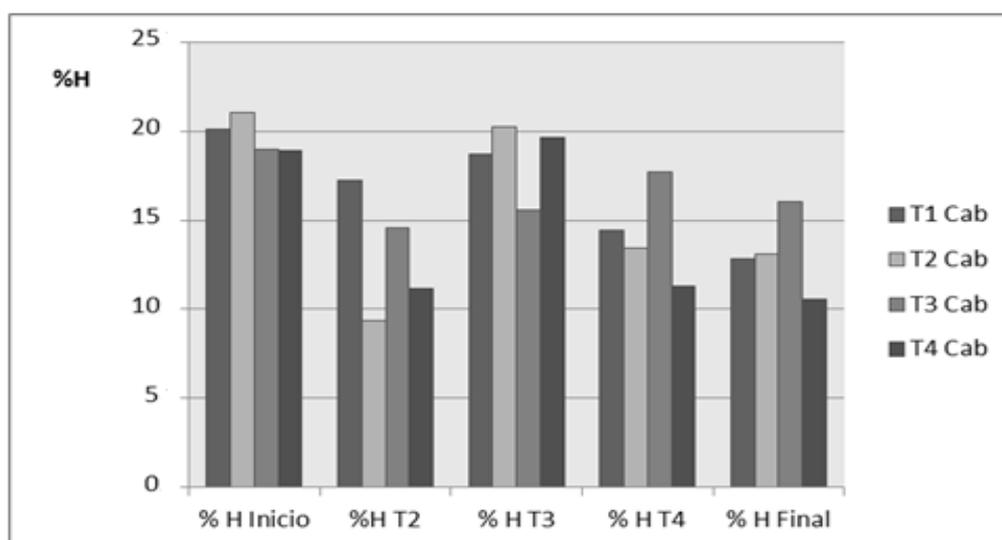


Figura 20. Humedad gravimétrica promedio del suelo a una profundidad de 30 cm, ubicadas en la cabecera del ensayo para cada uno de los tratamientos, durante el ciclo del cultivo de zapallo cv. Cokena INTA.

El análisis de los datos indica que al inicio del ensayo, el contenido de humedad del suelo fue similar entre los tratamientos y cercano al 20 %. Cuando comienza el riego diferencial, el contenido de humedad del suelo de T2 se aleja del testigo, disminuyendo a un valor de 9,4 %. A medida que las plantas crecen, las necesidades hídricas del cultivo son mayores, por tanto las cantidades y frecuencias de riego se incrementan. La respuesta al déficit hídrico también se ve reflejada en el contenido de humedad del suelo en T3, con un valor de 15,6 % en comparación al testigo el cual presentó un contenido de 18,7 %. Durante el período T4, el suelo contenía un porcentaje de humedad promedio de 11,3 % y el testigo 14,5 %. En todos los casos, como así también al final del ciclo del cultivo, el contenido de humedad del suelo evaluado en cada período de restricción hídrica siempre fue menor al valor del testigo.

6.3. Producción total y comercial

Si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de restricción hídrica con respecto al testigo, el T3 que fue afectado durante la floración, tuvo el menor rendimiento total, alcanzando 40,3 t ha⁻¹ y una diferencia con respecto al testigo de 8,3 t ha⁻¹.

Para la determinación de la producción comercial, se seleccionaron los frutos según sus atributos externos, determinado por el color uniforme y típico de la cultivar, tamaño (descartando aquellos fuera del rango promedio), sin manchas ni defectos, ausencia total de golpes o machucaduras, libre de podredumbres, decoloraciones o daños por insectos. Si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, el testigo fue el que tuvo mayor rendimiento comercial con un promedio de 42,4 t ha⁻¹.

El número de frutos totales promedio por hectárea y el peso individual de los frutos, tampoco fue significativamente distinto. El rango estuvo entre los 24.500 a 28.750 frutos ha⁻¹ y con pesos entre 1,3 a 1,5 kg fruto⁻¹ (Tabla 8).

Tabla 8. Promedio de producción total en t ha⁻¹, producción comercial (t ha⁻¹) número de frutos totales (NFT) y peso promedio por fruto (kg fruto⁻¹) en los diferentes tratamientos de riego para el cultivo de zapallo cv. Cokena INTA, San Carlos, Mendoza.

Tratamientos	Rto Total (t ha ⁻¹)	Rto Comercial (t ha ⁻¹)	NFT (frutos ha ⁻¹)	Peso Fruto (kg)
Testigo	48,6	42,4	28.750	1,5
T2	42,3	36,4	24.583	1,4
T3	40,3	36,1	28.333	1,3
T4	41,3	35,4	28.333	1,4
DMS	10,91	13,43	6643,21	0,46
CV	11,47	16,19	10,94	14,45
Sign	ns	ns	ns	ns

Aunque muy similares, este ensayo obtuvo mayores rendimientos totales que los obtenidos por Yavuz *et al.* (2015) en calabaza (*Cucurbita pepo* L.) y riego por goteo, con rendimientos de 41,8 t ha⁻¹ con una suplencia hídrica del 100 % ETc y 32,8 t ha⁻¹ cubriendo el 50 % ETc.

Los resultados de este ensayo coinciden con otros ensayos realizados en tomate. Por ejemplo, Djurović *et al.* (2016) en Serbia produjo el mayor número de frutos de tomate con plena suplencia hídrica. El régimen de déficit hídrico de hasta un 50 % de la ET del cultivo no tuvo efecto significativo en el peso promedio del fruto de tomate o del diámetro, esto también es consistente con otros resultados reportados por Patane y Cosentino (2010), Favati *et al.* (2009), Topcu *et al.* (2007), Zheng *et al.* (2013), y Savic *et al.* (2008).

Rouphael y Colla (2005) trabajando en calabaza observaron que el rendimiento total y comercial, el peso y número de frutos se vieron afectados significativamente por la temporada de cultivo (verano-otoño y primavera-verano), como así también por el sistema de riego (goteo y riego superficial) y no por su interacción. El rendimiento total, el rendimiento comercial, el peso y el número de frutos, se redujo significativamente en un 35, 33, 35 y 26 % respectivamente en la temporada de crecimiento verano-otoño en comparación con la otra temporada de crecimiento.

En un cultivo de zucchini (*Cucurbita pepo* L.) regado por surco, el rendimiento de frutos aumentó significativamente de 22,4 a 44,7 t ha⁻¹ en

relación lineal con el incremento de lámina de agua aplicada de 279 a 475 mm (Ertek *et al.* 2004). Además el aumento de la frecuencia y la cantidad de agua de riego aumentaron el número de frutos y en consecuencia, el rendimiento del cultivo. El diámetro del fruto se incrementó con la creciente cantidad de agua de riego y el consumo de agua por parte de la planta. Se encontraron correlaciones significativas positivas entre el diámetro del fruto, el agua de riego aplicada y el consumo de agua por parte de la planta ($P < 0,05$) y entre el diámetro del fruto y el rendimiento ($P < 0,01$), lo que indica que los tratamientos con mayor diámetro de fruto fueron los de mayor rendimiento. La máxima producción obtenida en el ensayo citado, es similar a lo producido en el presente estudio, pero con menores láminas de agua, posiblemente por la programación del riego por goteo, que permite un ahorro y una mayor eficiencia en el uso del recurso hídrico.

Saif *et al.* (2003) expresan que la cantidad de agua adecuada disponible en el suelo en las etapas críticas del crecimiento de la planta no sólo optimiza el proceso metabólico de las células vegetales, sino también aumenta la eficacia de absorción de los nutrientes minerales aplicados al cultivo. Por consiguiente, cualquier grado de estrés hídrico puede producir efectos perjudiciales sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo. En este trabajo, se evidencian esos efectos sobre todo en el rendimiento, aunque no llegan a ser estadísticamente significativos, aunque favorablemente por otro lado se logra un ahorro considerable de agua, resultado que se detalla más adelante.

Phene *et al.* (1987) observaron en árboles de pistacho que crecen en suelos poco profundos, que una reducción de la lámina de riego del 50 % de la ET_c durante el endurecimiento de la cáscara (Etapa II), no tuvo ningún efecto sobre el rendimiento final. Recientemente, Goldhamer *et al.* (2004) mostraron que la misma reducción de agua en el riego durante los estadios I (crecimiento de la drupa) y II (endurecimiento de la cáscara) no redujo la cantidad total de frutos y en cambio aumentó el porcentaje de cáscara dividida y la apertura temprana de la misma. Estos cambios en las relaciones hídricas que suceden en las diferentes etapas fenológicas en árboles de pistacho, apoya la recomendación de reducir el riego durante la etapa II del crecimiento del fruto con ninguna o ligera disminución en la producción. En coincidencia con lo que se pretende demostrar en este trabajo, aplicar el

déficit hídrico controlado en el momento oportuno, de modo de permitir el ahorro de agua sin disminuir el rendimiento y la calidad del producto obtenido.

Con respecto a los frutos defectuosos, clasificados como verdes, rajados, deformes y con múltiples defectos, los resultados se pueden observar en la Tabla 9.

Tabla 9. Defectos en los frutos de zapallo Cokena INTA, expresados en porcentaje (%), en base al total de frutos producidos y diferenciados para cada tratamiento de riego.

Tratamientos	Verdes (%)	Rajados (%)	Deformes (%)	Múltiples Defectos (%)
Testigo	14,5	1,0	0,4	1,1
T2	15,5	2,4	0,0	0,0
T3	9,7	2,0	1,1	1,0
T4	15,2	2,6	1,8	0,8
DMS	17,22	5,20	4,17	3,21
CV	5,75	114,35	216,34	179,12
Sign	ns	ns	ns	ns

Ertek *et al.* (2004) determinaron que el riego frecuente en zucchini (*Cucurbita pepo* L.), se convirtió en un factor importante para la obtención de mayores rendimientos de fruta, debido a que el cultivo es prácticamente intolerante al déficit hídrico. También detectaron que el déficit de agua acelera la deformación del fruto que dificulta la comercialización del mismo. El ensayo de déficit hídrico en Cokena INTA no refleja los mismos resultados.

6.4. Producción y calidad de semillas

Se estimó la producción de semillas en kg ha⁻¹ para cada tratamiento. El T2 fue el que obtuvo el menor rendimiento de semillas, y a pesar de existir una diferencia de 77 kg ha⁻¹ con respecto al testigo, estadísticamente fue no significativo.

La relación entre el rendimiento de semilla respecto del rendimiento comercial de los frutos, evaluado para cada tratamiento oscila entre 1,26 y 1,46 %. Los resultados obtenidos en el ensayo figuran en la Tabla 10.

Tabla 10. Rendimiento de semillas (RS) en kg ha⁻¹ y su relación respecto del rendimiento de los frutos de zapallo Cokena INTA (RS/RF) afectados por los tratamientos de riego.

Tratamientos	RS (kg.ha ⁻¹)	RS/RF (%)
Testigo	539	1,27
T2	462	1,26
T3	527	1,46
T4	478	1,37
DMS	196	0,412
CV	24,5	19,2
Sign	ns	ns

El poder germinativo evaluado con la técnica ISTA (1999) y el peso de mil semillas fueron similares en los 4 tratamientos, no existiendo diferencias significativas (Tabla 11).

Tabla 11. Porcentaje de poder germinativo a los 4 días (PG4), porcentaje de poder germinativo a los 8 días (PG8) y peso de mil semillas (PMS) de zapallo *C. moschata* cv. Cokena INTA, para los cuatro tratamientos.

Tratamientos	PG 4 (%)	PG8 (%)	PMS (g)
Testigo	95,5	98,0	107,0
T2	92,5	95,7	111,0
T3	93,7	97,0	102,2
T4	96,7	97,7	106,7
DMS	5,24	4,11	16,09
CV	2,51	1,92	6,83
Sign	ns	ns	ns

El principal componente de rendimiento es el número de frutos y en segundo lugar el número de semillas por fruto. Los rendimientos probables de los tipos más producidos en la Argentina se estiman en 150-250 kg ha⁻¹ para el zapallo anquito; 500-600 kg ha⁻¹ para zapallo redondo de tronco y en 200-250 kg ha⁻¹ si se trata del zapallo criollo crespo. Si además se relaciona el rendimiento de semilla porcentualmente respecto del rendimiento de frutos,

los valores oscilan entre 0,7 y 2,0 % (Della Gaspera 2013). En el ensayo el rendimiento de semilla fue muy superior a la media estimada para el zapallo anquito, y la relación de semillas respecto del fruto obtenidos en el ensayo coinciden con los valores revelados en la bibliografía.

En un estudio de extracción de aceite de semilla de calabaza, el rendimiento fue de 360-570 kg ha⁻¹ (Yegul *et al.* 2012). Ghanbari *et al.* (2007) obtuvieron el máximo rendimiento de semilla (1700 kg ha⁻¹) en *C. pepo* con una frecuencia de riego cada 7 días y un marco de plantación de 100 x 40 cm. Nerson (2005) estudió los efectos de la distancia entre plantas y el rendimiento de semilla de calabaza y obtuvo rendimiento de semilla de 1100 kg ha⁻¹ con una densidad de siembra de 4 plantas m⁻².

Goldberg *et al.* (1976) afirmaron que cuando las plantas se riegan con una cantidad limitada de agua en la etapa temprana de crecimiento, el intervalo de riego es más significativo que la cantidad total de agua aplicada; ya que aumenta su eficiencia fotosintética y el crecimiento es más rápido. Por otra parte, el exceso de agua en las primeras etapas de crecimiento (poco después del trasplante) causa posteriormente caída de flores y disminución del rendimiento (Yüksel 1989). Estos resultados no coinciden con un informe posterior, donde el rendimiento de la semilla de calabaza no fue afectado significativamente por intervalos de riego cada 7 y 14 días (Ghanbari *et al.* 2007).

Otros estudios muestran que la cantidad de agua influye significativamente en el rendimiento de la semilla. Yavuz *et al.* (2015) obtuvieron en calabaza (*Cucurbita pepo* L.) el rendimiento más alto de semillas (1131 kg ha⁻¹) cubriendo el 100 % ETC.

En *C. pepo* Amer (2011) también encontró que el rendimiento de semillas, el índice de cosecha, el peso de 1000 semillas y el porcentaje de germinación, se vieron afectados significativamente por la temporada, el método de riego y la cantidad de agua.

6.5. Variables de calidad de los frutos

Los tratamientos de restricción hídrica no afectaron significativamente el contenido de sólidos solubles (SS), sólidos totales (ST), tampoco el color de la pulpa ni el tamaño de la cavidad placentaria (Tabla 12).

Tabla 12. Parámetros de calidad en frutos de zapallo cultivar Cokena INTA luego de los tratamientos de riego.

Tratamientos	SS (° Brix)	ST (%)	Color de la pulpa	Cavidad Placentaria (mm ²)
Testigo	10,8	13,1	66	4.084
T2	10,8	13,4	67	4.623
T3	10,6	13,4	67	3.998
T4	11,2	13,9	66	4.099
DMS	3,01	5,38	7,42	2.411
CV	12,59	18,19	5,08	26,00
Sign	ns	ns	ns	ns

Los frutos maduros tienen su pulpa de color anaranjado más intenso, lo que indica que el contenido de carotenos es mayor y de esta forma adquieren más calidad como alimento. Un parámetro de buena calidad comercial a tener en cuenta es el tamaño de la cavidad interna. Esta, cuanto más pequeña sea, mayor será la cantidad de pulpa aprovechable.

6.6. Eficiencia en el uso del agua

La Figura 21 representa la función de producción comercial de zapallo cv. Cokena INTA en kg ha⁻¹, respecto al volumen de agua total aplicado, es decir el riego considerando la ppef expresada en m³.

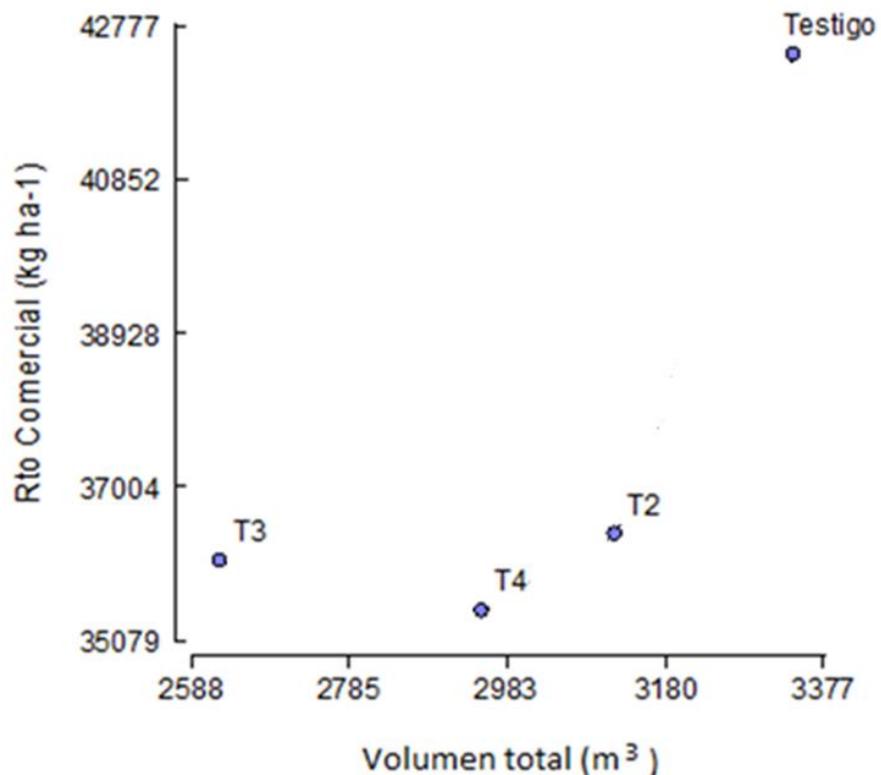


Figura 21. Producción comercial (kg ha^{-1}) respecto del volumen de agua total aplicada ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) para cada tratamiento, en zapallo cv. Cokena INTA.

Se observa que para similares rendimientos comerciales entre los tratamientos con estrés, el T3 es el que menor lámina de agua consume. También es el que mayor EUA posee.

Los resultados del presente estudio indican que el riego deficitario reduce, aunque no significativamente, los rendimientos de zapallo. El T3, tuvo un rendimiento comercial un 15 % más bajo con respecto al testigo, pero utilizó un 21,5 % menos de agua para el riego. Esto es consistente con los resultados reportados por Djurović *et al.* (2016) en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), donde el riego deficitario con 50 % ETc reduce significativamente en un 21 % el rendimiento de tomate fresco y utiliza un 28 % menos de agua en comparación al testigo con plena suplencia hídrica. Estos resultados coinciden también con los obtenidos por otros autores (Chen *et al.* 2014; Kuşçu *et al.* 2014).

En Serbia, hallazgos similares en el caso del tomate fueron presentados por Savic *et al.* (2008), quienes afirman que el riego deficitario (50 % de capacidad de campo) disminuyó el rendimiento en un 23 % y la biomasa fresca en un 32 %. En cuanto a la calidad de la fruta, se hace constar que el contenido de ácidos orgánicos y la actividad antioxidante fue mayor en el caso de riego deficitario. Hallazgos similares fueron descritos por Cahn *et al.* (2001), que recomiendan un déficit de riego hasta un 70-85 % de ET del cultivo como un buen compromiso entre el rendimiento y la calidad de tomate, mientras que Patane *et al.* (2011) proponen el riego deficitario en el 50 % de la ETc durante toda la temporada de crecimiento, como un compromiso entre el ahorro de agua, el aumento de la EUA y la calidad del fruto de tomate.

Siguiendo con el análisis, la Figura 22 refleja la eficiencia en el uso del agua en cada uno de los tratamientos.

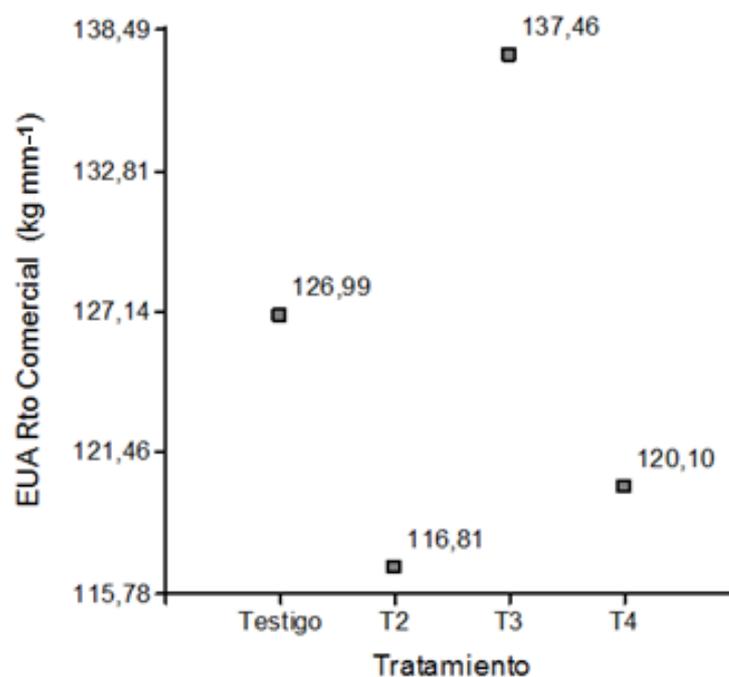


Figura 22. Eficiencia de uso del agua para el rendimiento comercial, expresada en kg mm⁻¹ en cada uno de los tratamientos.

A continuación en la Tabla 13, se muestran los resultados de eficiencia en el uso del agua.

Tabla 13. Eficiencia del uso del agua (EUA) para el rendimiento total (EUA Rto Total) y comercial (EUA Rto Comercial) y número de frutos totales (EUA FT), evaluado en cada uno de los tratamientos.

Tratamientos	EUA Rto Total (kg.mm⁻¹)	EUA Rto Comercial (kg.mm⁻¹)	EUA FT (frutos.mm⁻¹)
Testigo	145,58	126,99	86
T2	135,75	116,81	79
T3	153,76	137,46	108
T4	139,49	120,10	96
DMS	33,45	39,39	21,98
CV	11,09	14,97	11,36
Sign	ns	ns	S

os resultados de la Tabla reflejan que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Con déficit de riego, cultivos de hortalizas tales como el tomate (Topcu *et al.* 2007), pimiento (Kang *et al.* 2001), berenjena (Kirnak y Demirtas 2006) y pepino (Mao *et al.* 2003), mejoran la eficiencia del uso del agua.

En las regiones con recursos hídricos escasos, la mayor productividad del agua es más rentable para los agricultores que el logro de altos rendimientos (Pereira *et al.* 2002).

Siguiendo con el análisis del trabajo, nuevamente el T3 es quien produce mayor número de frutos por mm de agua aplicado (Figura 23). Coincide con el uso más eficiente del recurso.

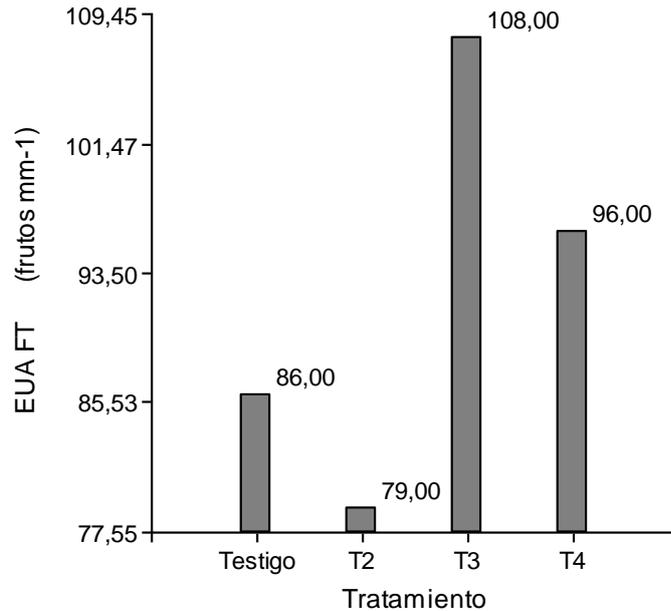


Figura 23. Eficiencia del uso del agua en número de frutos totales (EUA FT) según tratamiento.

Ertek *et al.* (2004), en zucchini (*Cucurbita pepo* L. cv. Sakız) bajo condiciones de campo en Van, Turquía, obtuvieron una EUA de 98 kg mm⁻¹ con una frecuencia de riego cada 5 días y un kc de 0,45; y una EUA de 74 kg mm⁻¹ cuando el intervalo de riego fue cada 10 días y un kc de 0,85.

Rahil y Qanadillo (2015) en cultivo de pepino obtuvieron la eficiencia del uso del agua más alta (33 kg m⁻³) con un 70 % ETc, a diferencia del riego tradicional de los productores de la zona que lograron una EUA más baja (19 kg m⁻³). Esto se puede atribuir al hecho que se aplicó gran cantidad de agua en forma inadecuada.

Kuslu *et al.* (2014) en zucchini y riego por goteo, obtuvieron un rendimiento de 80,0 t ha⁻¹ aplicando el 100 % ETc, equivalente a una lámina de 452,9 mm. El peso promedio del fruto, diámetro y longitud del mismo y número de frutos por planta, alcanzaron valores de 264,1 g; 5,49 cm; 19,95 cm y 10,92 frutos respectivamente. La EUA fue de 176,6 kg mm⁻¹.

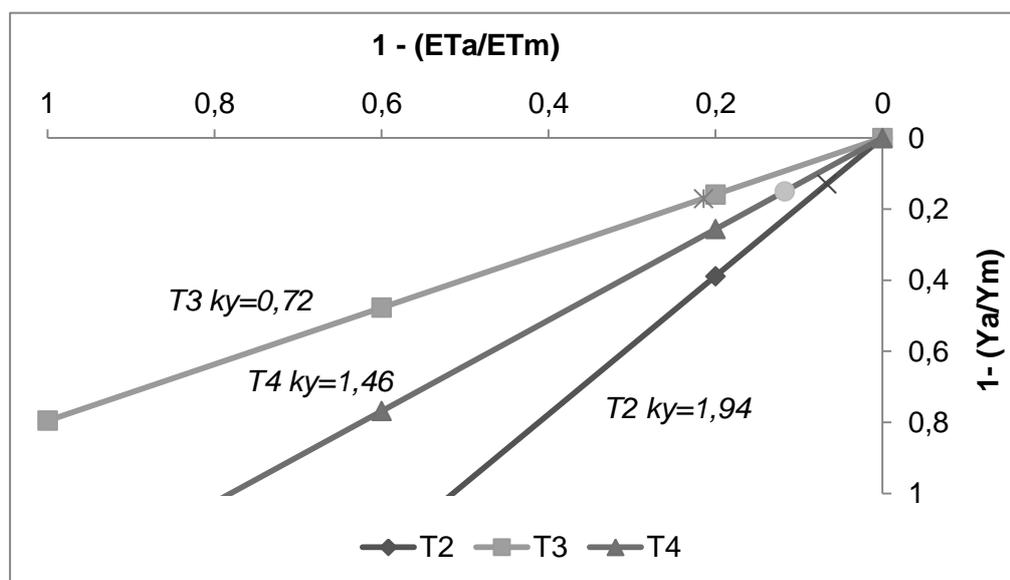
Ngouajio *et al.* (2007) determinaron en riego por goteo que la reducción de agua aplicada entre el trasplante y la floración aumentó el rendimiento comercial de tomate en 8 a 15 % y el número de frutos de 12 a 14 %, mientras que la reducción de la cantidad de agua de riego fue de un 20 %.

6.7. Factor de respuesta del rendimiento al estrés hídrico

Otra forma de evaluar la eficiencia de los riegos deficitarios es mediante la determinación del ky . Cuando se refiere a una fase específica del cultivo, puede proveer una noción del efecto del déficit de riego sobre el rendimiento del cultivo en esa fase (Pereira 2007). Más aún, el factor ky nos da un indicio si el cultivo es tolerante al estrés hídrico en las diferentes fases del crecimiento.

Fabeiro Cortes *et al.* (2003) determinaron para ajo cv. "Morado de Cuenca" (IVº grupo ecofisiológico para Argentina; Burba 2008), que el déficit impuesto en el estado de maduración afectó principalmente el rendimiento, mientras que el déficit impuesto en bulbificación y maduración afectó tanto la calidad como la cantidad.

En la Figura 24 se puede ver el efecto de los distintos tratamientos sobre el factor de respuesta ky en zapallo cv. Cokena INTA.



Eta: Evapotranspiración actual de los tratamientos con estrés; Etm: Evapotranspiración máxima (testigo); Ya: rendimiento actual de los tratamientos con estrés; Ym: rendimiento máximo (testigo)

Figura 24. Efecto del estrés hídrico en zapallo cv. Cokena INTA sobre el factor de respuesta de cultivo "ky".

Del análisis de los valores de ky obtenidos para cada etapa establecida, se infiere que la fase más tolerante a las condiciones de déficit hídrico o menos sensible al estrés fue al momento de plena floración (T3). Esto se contrapone con la hipótesis establecida, que la mayor susceptibilidad hídrica ocurriría durante la mayor concentración de flores. En este ensayo la etapa que resultó ser más perjudicial fue el momento de crecimiento vegetativo inicial (T2), en la que una pequeña disminución en la lámina de riego indujo a una pérdida considerable en el rendimiento. La última etapa, es decir, la de maduración y llenado de los frutos (T4) le sigue en sensibilidad al estrés hídrico, este resultado puede explicarse por el hábito que tiene la planta de seguir produciendo nuevos frutos continuamente y satisfacer el llenado de los mismos en formación.

En ajos blancos, Lipinski y Gaviola (2011) utilizando la metodología del factor respuesta ky en diferentes clones, encontraron diferencias en las distintas etapas fenológicas en cuanto a la sensibilidad al déficit hídrico. En Licán INTA la etapa más sensible fue la de crecimiento vegetativo lento ($ky=0,64$), en Nieve INTA fue la etapa de crecimiento y maduración de bulbo ($ky=0,47$) y en Unión la etapa más sensible fue la de crecimiento vegetativo rápido ($ky=0,69$).

Amer (2010) trabajando en un cultivo de maíz (*Zea mays*) y en riego por surco, observó que la producción máxima (Y_m) $9,12 \text{ t ha}^{-1}$, fue alcanzada por una lámina de agua (d) de 325 mm. El rendimiento relativo ($1 - Y/Y_m$) disminuyó linealmente a una tasa de 1,15 para un rango de riego deficitario de 0,6-1,0 ET_c y encontró además que el rendimiento de los cultivos disminuyó linealmente a una tasa de 0,32 por un exceso en la cantidad de agua de riego en un rango de 1,0-1,4 ET_c .

7. CONCLUSIONES

Con respecto a la primera hipótesis planteada en el trabajo, **“El riego deficitario controlado, en cada etapa fenológica del zapallo tipo Anco cv. Cokena INTA, afecta diferencialmente disminuyendo el rendimiento de los frutos y la producción de semillas”**, se rechaza dicha hipótesis.

Existe una tendencia a mayor número de frutos y mayor peso individual por fruto cuando se riega con plena suplencia hídrica. El rendimiento total y comercial es mayor cuando se cumple el 100 % de la evapotranspiración del cultivo.

La segunda hipótesis propuesta fue: **“La mayor susceptibilidad hídrica ocurre durante la etapa de floración”**. Se rechaza dicha hipótesis, y se concluye que el riego deficitario aplicado durante la mayor concentración de flores, alcanzó la mayor eficiencia en el uso del recurso, porque con una menor lámina de agua se obtuvo un rendimiento similar al resto de los tratamientos.

Complementariamente el valor del factor respuesta del rendimiento al estrés hídrico (ky), corrobora que esta fase es la más tolerante al déficit hídrico.

En referencia a la tercera hipótesis **“El déficit hídrico controlado en el momento oportuno, no disminuye la calidad del zapallo Cokena INTA”** se acepta dicha hipótesis y se concluye que el estrés hídrico parcial no afectó la calidad del producto, no influyó en la cantidad de sólidos solubles, sólidos totales, color de la pulpa y tamaño de la cavidad placentaria del fruto.

Además, en el mejor de los casos se logró un ahorro de agua de hasta el 21 %, aplicando sólo una técnica de cambios diferenciales en las relaciones hídricas durante las diferentes etapas fenológicas. En términos económicos este ahorro puede ser muy beneficioso, debido a la disminución de horas de bombeo y por lo tanto un menor consumo de electricidad.

8. RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

En la última década, las variaciones climáticas relacionadas con el fenómeno de El Niño y La Niña han traído serios retos para la agricultura. Para atender las múltiples implicancias socioeconómicas de estos cambios, se debe priorizar la adaptación, invirtiendo en evaluaciones regionales, investigación y desarrollo, y transferencia de tecnologías a los agricultores y capacitación en su uso.

El cuidado y ahorro del agua es un desafío que implica una gran responsabilidad para los productores, pobladores, investigadores, extensionistas y demás prestadores de los servicios públicos y privados. Contribuir en los conocimientos sobre el tema, reforzando las capacidades para implementar buenas prácticas, permite diseñar estrategias orientadas al manejo sostenible del suelo y el uso eficiente del agua, para una agricultura resiliente frente al cambio climático.

Desde el punto de vista práctico se puede sugerir para el zapallo la estrategia del RDC por su simplicidad de manejo y posibilidad de ahorro de agua, sin afectar el rendimiento ni la calidad del producto.

Es muy importante considerar la intensidad y la duración del déficit. Es por esto que la medición del potencial hídrico en el suelo, es una herramienta útil que sirve como referencia para determinar la variación del agua en el suelo. Además si el cultivo lo permite, se debería considerar el uso de herramientas para medir el potencial hídrico en la planta.

Los futuros trabajos deberían centrarse en la reducción de la demanda de agua y en la mejora de la eficiencia, como parte integral de la gestión moderna de los recursos hídricos. Aún así todos los componentes del ciclo hidrológico (precipitaciones, infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración) deben tenerse en cuenta a la hora de elaborar los programas de riego, como así también la especie, la sanidad del cultivo, el clima y el tipo de suelo.

En todos los casos, los datos y la información deben ser públicos para facilitar tanto la investigación como el intercambio de conocimientos institucionales, a fin de dar pautas de manejo a los entes gubernamentales responsables de la gestión del recurso hídrico.

9. BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D.1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal* 81: 650-662.

ALLEN, R.; PEREIRA L. RAES D.; SMITH.1998. Crop evapotranspiration. Guide for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and Drainage paper 56. Rome, Italy. 300p.

AMER, K.H. 2010. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. *Agric. Water Manage.* 97, 1553-1663.

AMER, K.H. 2011. Effect of irrigation method and quantity on squash yield and quality. *Agric. Water Manage.* 98, 1197-1206.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.1987. La calidad de agua en la Agricultura. FAO, Riego y Drenaje. Manual N°29. Roma, Italia.174 p.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; y GARDNER, W.R. 1973. Física de suelos. Ed. Hispano-Americana. pp. 109.

BEHBOUDIAN, M.H.; MILLS, T.M. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. *Hortic. Rev.* 21, 105-131.

BLACK, J.; MITCHEL, P.O.; NEWGREEN, P. 1977. Optimum irrigation for young trickle irrigation peach trees. *Aust. J. Agric. Anim. Husb.* 17: 342-345.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. 1986. Bulk Density. In: A Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Pp. 363-375. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.

BORDOVSKY, J.P.; LYLE, W.M. 1988. Varying the frequencies and quantities of irrigation on cotton. St. Joseph, MI: ASAE, Paper N°: 88-2097.

BREMNER, J.M. y C.S. MULVANEY. 1982. Nitrogen-Total. p. 595-624. In A.L. Page (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.

BRESLER, E. 1977. Trickle-drip irrigation: principle and application to soil water management. *Adv. Agron.* 29:343-393.

BUKASOV, S.M. 1981. Las plantas cultivadas de México, Guatemala y Colombia (J.Leon, Trans.). (1ª Ed. en Español). CATIE-GTZ, Turrialba, Costa Rica. 168 p.

BURBA, J.L. 2008. Los grupos varietales del ajo (*Allium sativum* L.). Contribución para su entendimiento. *Horticultura Argentina* 27(62):20-27. On-line: www.horticulturaar.com.ar/publicaciones-4.htm

CAHN, M.C.; HERRERO, E.V., SNYDER, L.R.; HANSON, B.R. 2001. Water management strategies for improving fruit quality of drip irrigated processing tomatoes. *Acta Hortic.*, 542 (2001), pp. 111–117.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. 1986. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico nº 106).

CASTILLA, N.; BRETONES, F.; LOPEZ-GALVEZ, J. 1991. Cucumber growth and yield in an unheated plastic greenhouse. *Agric. Med.* 121, 166–172.

CHAMBOULEYRON, J. 1993. Seminario Nacional de Riego Presurizado. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas - Centro Regional Andino, Universidad Nacional de Cuyo, Departamento General de Irrigación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Dirección Tecnología Frutihortícola del Gobierno de Mendoza, Centro de Ingenieros Agrónomos y Grupos CREA de Mendoza. Mendoza, Argentina. p. 265.

CHEN, J.; KANG, S.; DU, T.; GUO, P.; QIU, R.; CHEN, R.; GU, F. 2014. Modeling relations of tomato yield and fruit quality with water deficit at different growth stages under greenhouse condition. *Agric. Water Manage.*, 146 (2014), pp. 131–148.

CHRISTIANSEN, J.E.; HARGREAVES, G.H. 1970. Irrigation Requirements from Evaporation. In: Proceedings of the Int. Com. on Irr. and Drainage Seventh Cong. R: 36.

CORTÉS L. A. y MALAGÓN CASTRO, D. 1984. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 360p.

COSTA, J.M.; ORTUÑO, M.F.; CHAVES, M.M. 2007. Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology* 49 (10), 1421–1434.

DARWISH, T.; ATALLAH, T.; HAJHASAN, M.; CHRANEK, S. T. 2003. Management of nitrogen by fertigation of potato in Lebanon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67 (2003), pp. 1–11

DELLA GASPERA, P. 2005. Informe anual CVT INTA-Unilever.

DELLA GASPERA, P. 2013. Manual del cultivo Zapallo Anquito (*Cucurbita moschata* Duch.) Primera edición. San Carlos, Mendoza. Ediciones INTA, 2013. E-Book. ISBN 978-987-521-465-1.

DJUROVIC, N.; ĆOSIC, M.; STRICEVIC, R.; SAVIC, S.; DOMAZET, M. 2016. Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of tomato. *Scientia Horticulturae*. Volume 201, (2016), Pages 271–278.

DOORENBOS, J.; PRUIT, W. 1975. Guidelines for predicting crop water requirement. FAO, Irrigation and Drainage. Paper 24. Rome, Italy. 144 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. 1979. Yield Response to Water Irrigation and Drainage Paper, 33, FAO, Rome.

DOSS, B.D.; EVANS, L.E. 1980. Irrigation methods and in row chiseling for tomato production. *Journal of the American Society for Horticultural Science* (1980), 105: 611–614.

DOUGH, B.; MGUIDICHE, A.; BHOURI-KHILA, S.; MANSOUR, M. HARRABI, R.; BOUJELBEN, A. 2013. Yield and water use efficiency of cucumber (*Cucumis sativus L.*) conducted under subsurface drip irrigation system in a Mediterranean climate. *J. Environ. Sci., Toxicol. Food Technol.* 2 (4), 46–51.

DRAYCOTT, A.P. 2006. Introduction in Sugar Beet (ed. A. P. Draycott), Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK. doi: 10.1002/9780470751114.ch1. pp.474.

DUNWELL, W.C.; JONES, R.T.; STRANG, J.G.; STEGELIN, F. 2001. Summer Squash Production. Extension Specialists in Horticulture and Extension Specialist for Horticultural Marketing. <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/id/id78/id78.htm> (Issued: 5-87, Revised: 3-89).

ELLIADES, G. 1988. Irrigation of greenhouse-grown cucumbers. *J. Hort. Sci.* 63 (2): 235–239.

ENGLISH, M.; RAJA, S.N.1996. Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 32 (1), 1–14.

ERTEK, A.; SENSOY, S.; KÜCÜKYUMUK, C.; GEDIK, I. 2004. Irrigation frequency and amount affect yield components of summer squash (*Cucurbita pepo L.*). *Agricultural Water Management* 67: 63–76.

ESQUINAS-ALCAZAR, J.T.; GULICK, P.J.1.983. International Board for Plant Genetic Resources (I.B.P.G.R.). Genetic Resources of Cucurbitaceae. Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma. Italia.

ESTRADA, E. I. 2002. Perfil técnico para el manejo agronómico del cultivo de zapallo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Impreso universitario. p. 10.

EVANS, R.; CASSEL, D.K.; SNEED, R.E. 1996. Soil, Water, and Crop Characteristics Important to Irrigation Scheduling. North Carolina Cooperative Extension Service Publication. Number: AG 452-1, USA.

FABEIRO CORTES, C.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; LÓPEZ URREA, R. 2003. Production of garlic (*Allium sativum L.*) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management* 59: 155-167.

FAO 1992. Cropwat. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Estudios Riegos y Drenajes n°46. Pág. 23, 24.

FAO 2005. Principales Alimentos y Productos Agrícolas. Producción mundial de calabaza.

<http://www.fao.org/es/ess/top/commodity.html?lang=es&item=394&year=2005>

FAO 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, abril de 2013. 272 p.

FAVATI, F.; LOVELLI, S.; GALGANO, F.; MICCOLIS, V.; DI TOMASSO, T.; CANDIDO, V. 2009. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae* 122, 562–571.

FERERES, E.; ALDRICH, T. M.; SCHULBACH, H.; MARTINICH, D.A. 1981. Responses of Young almond trees to late season drought. *Calif. Agr.* 35 (7-8): 11-12.

FERERES, E. 1996. Irrigation scheduling and its impact on the 21st century. In: Camp CR, Sadler EJ and Yoder RE (eds.) Proceedings of the International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling, 3-6 November 1996, A.S.A.E. San Antonio, Texas, USA., 547-553.

FERERES, E.; GOLDHAMER, D.A.; PARSONS, L.R. 2003. Irrigation water management of horticultural crops. *Hortic. Sci.*, 38 (5) (2003), pp. 1036-1042.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Special issue on 'integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress'. *Journal of Experimental Botany* 58, 147–159.

FUCHS, M.; STANHILL, G.S. 1963. The Use of Class-A Pan Evaporation Pan Date of Estimate the Irrigation Water Requirements of the Cotton Crop. *O. Agric. Res. No. 13, Israel*, 1963, pp. 63–67.

GAJRI, P.R.; ARORA, V. K.; CHAUDHARY, M.R. 1994. Maize growth, response to deep tillage, straw mulching and farmyard manure in coarse textured soils of N.W. India *Soil Use and Management*, 10 (1994), pp. 15–20.

GALMARINI, C.R. 1991. Breve reseña acerca de los recursos genéticos de Cucurbita y su utilización en Argentina. *Actas del II Simposio Latinoamericano sobre recursos Genéticos de Especies Hortícolas*. 22 al 25 de septiembre de 1991, Mar del Plata, Argentina. pp. 23-34.

GALLEGOS, J. J. 1990. Avance generacional de genotipos de calabacita con resistencia a virus mosaico del pepino y de sandía 1 y 2. In: Informe de Investigación ciclo 1989 1990. Proyecto: Estudio y Control de las Enfermedades Virales en el Cultivo de la Calabacita (pp. 1 32). INIFAP SARH, México.

GARZON-TIZNADO, J. A. 1989. Formación de variedades de calabacita tipo zucchini (*Cucurbita spp.*) resistentes a los virus mosaico del pepino y de la sandía. In: Informe de Investigación. Proyecto: Estudio y Control de las Enfermedades Virales en el Cultivo de la Calabacita (pp. 1 5). INIFAP SARH, México.

GENCOGLAN, C.; AKINCI, I. E.; UCAN, K.; AKINCI, S. and GENCOGLAN, S. 2006. Response of red hot pepper plants (*Capsicum annuum L.*) to the deficit irrigation, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1): 131-138.

GHANBARI, A.; NADJAFI, F.; SHABAHANG, J. 2007. Effects of irrigation regimes and row arrangement on yield, yield components and seed quality of pumpkin (*Cucurbita pepo* L). *Asian J. Plant Sci.* 6, 1072–1079.

GIULIVO, C.; PITACCO, A. 1997. Studying the root system of grapevine. *Acta Hort.* 427:63-66.

GOLDBERG, D.; GORNAT, B.; RIMON, D. 1976. Drip Irrigation-Principles Design and Agricultural Practices. Drip irr. Science Publications, Israel, p. 295.

GOLDHAMER, D.A.; MICHAILIDES, T.J.; SALINAS, M.; DOSTER, M.A.; BEEDE, R.H. 2004. Using early season water stress to increase shell splitting at harvest. In: Annual Report, Crop Year 2003–2004. California Pistachio Industry, Fresno, CA, pp. 115–117.

GRASSI, C. J. 1988. Fundamentos del riego. Serie Riego y Drenaje RD-38. Ed. CIDIAT, Mérida, Venezuela, 392 p.

GÜNGÖR, H.1990. Research on a empirical method for determining of plant water consumption (in Turkish). Eskişehir Research Institute Publ., No: 223, Technical Publ., 23: 73 s.

HAO, X.; PAPADOPOULOS, A.P. 2003. Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis biomass partitioning, early yield and quality of greenhouse cucumber. *Sci. Hortic.* 80, 1–18.

HANSON, B.R.; HUTMACHER, R.B.; MAY, D.M. 2006. Drip irrigation of tomato and cotton under shallow saline ground water conditions. *Irrigation and Drainage Systems* 20, 155–175.

HASANDOKHT, M. 2005. Greenhouse Management (Production Technology of Green-house Products). Marz Danesh Press, Tehran, Iran, pp. 320.

HAYRETTIN, K.; AHMET, T.; ALI O.D. 2014. The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a subhumid environment. *Agricultural Water Management* 133 (2014) 92– 103.

HESS, M.; BILL, M.; JASON, S.; JOHN, S. 1997. Oregon State University Western Oregon Squash Irrigation Guide, vol. 541. Department of Bioresource Engineering, Corvallis, OR, pp. 737–6304.

HONORATO, R.; SILVA, H.; BONOMELLI, C. 1988. Efecto del suelo en el patrón de enraizamiento y productividad de la vid. *Ciencia e Investigación Agraria* 15:159-169.

HOWELL, T.A. 1996. Irrigation scheduling research and its impact on water use. In C.R. Camp, E. J. Sadler, and R. E. Yoder, eds., *Evapotranspiration and irrigation scheduling*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers. 21-33.

HOWELL, T.A. 2003. Irrigation efficiency. *Encyclopedia of Water Science* (Web pages 467–472). <http://www.cprl.ars.usda.gov/pdfs/Howell-Irrig%20Efficiency-Ency%20Water%20Sci.pdf>.

HUSSAIN, A.; GHAUDHRY, M.R.; WAJID, A.; AHMET, A.; RAFIQ, M.; IBRAHIM, M.; GOHEER, A.R. 2004. Influence of water stress on growth, yield and radiation use efficiency of various wheat cultivars. *Int. J. Agric. Biol.* 6, 1074–1079.

ISTA 1999. International rules for seed testing. International Seed Testing Association (ISTA). *Seed Sci. Technol.*, 27:1.

JAIN, N.; CHAUHAN, H.S.; SINGH P.K.; SHUKLA, K.N. 2000. Response of tomato under drip irrigation and plastic mulching. *Proceeding of 6th International Micro-irrigation Congress, Microirrigation Technology for Developing Agriculture, 22–27 October 2000, South Africa.*

JANAT, M. 2003. Effect of drip fertigation on improvement of potato yield and water use efficiency. *AECS -A/RRE*, 126 (2003), pp. 1–38

JARAMILLO, J y LOBOS, M. 1995. Hortalizas. ICA. Manual de asistencia técnica No. 28.p.555.

JOHNSON, R.S.; HANDLEY, D.F.; DE JONG, T.M. 1992. Long-term response of early maturing peach trees to postharvest water deficits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(6): 881-886.

JOHNSON, R.S.; HANDLEY, D.F. 2000. Using water stress to control vegetative growth and productivity of temperate fruit trees. *HortScience* 35 (6): 1048-1050.

KAISER, R.M. 2003. Estrés hídrico en variedades criollas y europeas de vid *Vitis vinífera* (L.): Efectos en la fisiología. Maestría en Vitivinicultura y Enología. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina. 77 p.

KANG, S.; ZHANG, L.; HU, X.; LI, Z.; JERIE, P. 2001. An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. *Sci. Hortic.*, 89 (2001), pp. 257–267.

KAURICHEV, I.S. 1984. *Prácticas de edafología*. 1ª. Ed. en español. Ed. Mir. Moscú. 280 p.

KELLER, T. y HÅKANSSON, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154: 398-406.

KHURSHID, K; IQBAL, M.; ARIF, M.S.; NAWAZ, A. 2006. Effect of tillage and mulch on soil physical properties and growth of maize. *International Journal of Agriculture and Biology* (5) (2006), pp. 593–596.

KIRDA, C.; KANBER, R.; TULUCU, K. 1999a. Yield response of cotton, maize, soybean, sugar, beet, sunflower, and wheat to deficit irrigation. In: Kirda, C., Moutonnet, P. Hera, C.,Nielsen, D.R. (Eds.), *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 21-38.

KIRNAK, H.; DEMIRTAS, M.N. 2006. Effects of different irrigation regimes and mulches on yield and macronutrition levels of drip-irrigated

cucumber under open field conditions. J. Plant Nutr., 29 (2006), pp. 1675–1690.

KOSTIAKOV, A. N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. VI Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo, París, Francia.

KRAMER, P.J. 1969. Relaciones hídricas de Suelos y Plantas. Una Síntesis Moderna. Edutex S.A., México. 538 p.

KUŞÇU, H.; TURHAN, A.; DEMIR, A.O. 2014. The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. Agric. Water Manage., 133 (2014), pp. 92 – 103.

KUSLU, Y.; SAHIN, U.; KIZILOGLU F. M. and S. MEMIS. 2014. Fruit Yield and Quality, and Irrigation Water Use Efficiency of Summer Squash Drip-Irrigated with Different Irrigation Quantities in a Semi-Arid Agricultural Area. Department of Agricultural Structures and Irrigation, Atatürk University, 25240 Erzurum, Turkey Journal of Integrative Agriculture. 2014, 13(11): 2518-2526.

LIPINSKI, V. M.; GAVIOLA, S. 2008. Riego por goteo en las principales hortalizas en San Carlos, Mendoza, Argentina. Res. XX Congreso Nacional del Agua, III Simposio de Rec. Hid. del Cono Sur. p. 493.

LIPINSKI, V.M.; DELLA GASPERA, P.; GAVIOLA, J.C.; GAVIOLA, S. 2008. Efecto de diferentes láminas de riego sobre el rendimiento y la calidad de zapallo Cuyano INTA. Resúmenes XXXI Congreso Argentino de Horticultura. Mar del Plata, 30/9 al 3/10/2008. P.480.

LIPINSKI, V.M.; GAVIOLA, S. 2011. Optimizing water use efficiency on Violet and White Garlic types through Regulated Deficit Irrigation. Acta Horticulturae: 889, 459-468

LIRA, R.1985. Identidad taxonómica de las calabazas cultivadas (*Cucurbita spp.*) en la Península de Yucatán. Biótica 10: 301-307.

LIRA, R.1988. Cucurbitaceae de la Península de Yucatán: Taxonomía y Etnobotánica. Tesis M. en C. (Ecología y Recursos Bióticos), Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. pp. 329.

LIRA, R. 1992. Estudio Taxonómico y Ecogeográfico de las Cucurbitaceae de Latinoamérica (4° Rep. Semestral). International Board for Plant Genetic Resources. Roma, Italia.

LIRA, R.1995. Estudios Taxonómicos y Ecogeográficos de las Cucurbitaceae Latinoamericanas de Importancia Económica. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools.9. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia.

LIRA, R y MONTES–HERNÁNDEZ, S. 1992. Cucúrbitas (*Cucurbita spp.*). In: Hernández, B. J. E. y León, J. (eds.). Cultivos marginados, otra perspectiva de 1942. Colección FAO: producción y protección vegetal Núm. 26. Roma, Italia. pp. 71–75.

LIRA-SAADE, R. 1995. *Cucurbita* L. Estudios Taxonómicos y Ecogeográficos de las Cucurbitaceae Latinoamericanas de Importancia Económica. Systematics and Ecogeographic Studies on Crop Genepools. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy 9: 281.

LOY, B. J. 2004. Morpho-Physiological aspects of productivity and quality in squash and pumpkins (*Cucurbita spp*). Critical Reviews in Plant Science 23(4): 337-363.

MACGILLIVRAY, J.H. 1961. La producción de hortalizas. McGraw-Hill Book Co., Nueva York, USA. 397 p

MAGyP. 2013. Dirección de Mercados Agrícolas. Gacetilla Informativa del Sector Agrícola. Perfil del Mercado de zapallos y calabazas. Newsletters nro 74. Octubre 2013. http://www.minagri.gob.ar/dimeagro/newsletters/news_lista.php.

MAO, X.; LIU, M.; WANG, X.; LIU, C.; HOU, Z.; SHI, J. 2003. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain. Agric. Water Manage. 61 (3), 219–228.

MARIO, H.; BILL M.; JASON, S.; JOHN, S. 1997. Oregon State University Western Oregon Squash Irrigation Guide, vol. 541. Department of Bioresource Engineering, 116 Gilmore Hall, Corvallis, pp. 737–6304 (OR 97331-3906).

MC CUTCHAN, H.; SHACKEL, K.A. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica L.*) cv. French. J. Am. Soc. Hort. Sci. 117:607-11.

MC GEORGE, W.T. 1939. Factors influencing the availability of native soil phosphate fertilizers in Arizona soils. Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bul. 40.

MERRIAM, J.L.; KELLER, J. 1978. Farm irrigation systems evaluation. A guide for management, 3rd edition. Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University. Logan, USA. 235 p.

MORÁBITO, J; SALATINO, S.; MEDINA, R.; ZIMMERMANN, M; PILIPPINI, M.F.; BERMEJILLO, A.; CAMPOS, S.; DEDIOL, C.; GENOVESE, D; PIZZUOLO, P.; MASTRANTONIO, L. 2006. Evaluación de la calidad del agua en el área regadía del río Mendoza. En: Resúmenes III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina. p.24.

MORÁBITO, J; MAFFEI, J.; SALATINO, S.; MIRÁBILE, C.; FONTELA, C.; MASTRANTONIO, L. 2009. Riego por goteo en Mendoza, Argentina: evaluación de la uniformidad del riego y del incremento de salinidad, sodicidad e iones cloruro en el suelo. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XLI. N° 1. Año 2009. 135-154.

MUSTAFA, O.S.; ARSHAD, I.M.; SATTAR, S.A. 2003. Adoption of kostiakof model to determine the soil infiltration for surface irrigation methods under local conditions. International Journal of Agriculture and Biology, 1 (2003), pp. 40–42.

NAYAR, N. M.; MORE, T.A. 1998. Cucurbits. 340 p. Science Publishers, Inc., Enfield, New Hampshire, EUA.

NERSON, H. 2005. Effects of fruit shape and plant density on seed yield and quality of squash. *Sci. Hortic.* 105, 293–304.

NGOUAJIO, M.; WANG, G.; GOLDY, R. 2007. Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. *Agricultural Water Management* 87, 285–291.

NIJENSOHN, L. y PILASI H. 1962. Correlación entre el contenido de agua a pF 0, volumen de sedimentación y porcentaje de arcilla. 2º Reunión Argentina y 1º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Mendoza, Argentina.

NIJENSOHN, L. y PILASI H. 1969. El volumen de sedimentación como método indirecto para la determinación de la capacidad hídrica a 15 bares. 5ª. R. A. C. S.; Santa Fe. 64-67.

NIJENSOHN, L. AVELLANEDA, M. PIZARRO, O. OLMOS, F. 1972. Empleo de soluciones bicarbonatadas sódicas en el diagnóstico del nivel de fósforo disponible en suelos mendocinos de riego. *Revista F.C.A. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina*, XVIII (2): 119-126.

NIJENSOHN, L. 1977. Criterios de eficiencia de lavado y desalinización con riego por goteo. Segundo Seminario Latinoamericano sobre riego por goteo. OEA-IICA. Coahuila. México. p. 1-23.

ORTEGA, S.; ACEVEDO, C.; CALDERÓN, R. 2000. Estimation of tomato evapotranspiration by using the Penman-Monteith method. *Proceeding of the Third International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. Acta Horticulturae.* 537 (1): 259-267.

ORTIZ MALDONADO G.; MORÁBITO, J.; REARTE, E.; MASTRANTONIO, L. 2005. Salinidad del agua freática en el área regadía del río Mendoza. 2005. XX Congreso Nacional del Agua – III Simposio de Recursos Hídrico del Cono Sur. Mendoza – Argentina.

PAGE A. L. 1982. Methods of soil analysis (part 2). Chemical and microbiological properties. 2Q ed., NQ 9 (part 2) in the series *Agronomy*. American Society of Agronomy, S.S.S.A. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin. USA: 1159 p.

PARIS y MAYNARD D.N. 2008. Cucurbita. En: Janick, J. y Paull R.E (2008) *The Encyclopedia of Fruits and Nuts*.

<https://books.google.com.ar/books?id=cjHCoMQNkcgC>

PATANE, C.; COSENTINO, S.L. 2010. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. *Agric. Water Manage.*, 97 (2010), pp. 131–138.

PATANE, C.; TRINGALI, S.; SORTINO, O. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing

tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Sci. Hortic.*, 129 (2011), pp. 590–596.

PEREIRA, L.S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manage.*, 57 (2002), pp. 175-206.

PEREIRA L. S. 2007. Relating water productivity and crop evapotranspiration. In: N. Lamaddalena, M. Shatanawi, M. Todorovic, C. Bogliotti, R. Albrizio (eds.) *Water Use Efficiency and Water Productivity (Proc. WASAMED Workshop, Amman, Oct. 2005)*, Options Méditerranéennes, Series B, n° 57: 31-50.

PEREZ PEÑA, J.E. 2000. Restricciones hídricas durante el desarrollo de la baya y su influencia en el crecimiento vegetativo y reproductivo. Rendimiento y calidad enológica de la uva variedad Cabernet Sauvignon. Tesis de Maestría en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina. 94 p.

PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEN, R.G.; BURT, C.M. 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities. *Agric. Water Manage.*, 96 (2009), pp. 1517–1524.

PHENE, B.C.; GOLDHAMER, D.A.; MENEZES, J.; BEEDE, R.; WEINBERGER, G.; CERVANTES, Z. 1987. Response of pistachio trees to three consecutive years of irrigation cut-off. In: *Annual Report, Crop Year 1986–1987*. California Pistachio Industry, Fresno, CA, pp. 67–70.

PIPERNO, D. R.; HOLST, I.; ANDRÉS, T.C.; STOTHERT, K.E. 2000. Phytoliths in Cucurbita and other Neotropical Cucurbitaceae and their occurrence in early archaeological sites from the lowland American tropics. *Journal of Archeol Sci* 27: 193–208.

PIPERNO, D.R.; STOTHERT, K.E. 2003. Phytolith evidence for early Holocene Cucurbita domestication in southwest Ecuador. *Science* 299: 1054–1057.

PIZARRO, F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): Goteo, microaspersión, exudación. 3a ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513 p.

PULUPOL, L.U.; BEHBOUDIAN, M.H.; FISHER, K.J. 1996. Growth, yield and post harvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. *HortScience* 31, 926–929.

RAHIL, M. H.; QANADILLO, A. 2015. Effects of different irrigation regimes on yield and water use efficiency of cucumber crop. *Agricultural Water Management* 148 (2015) 10–15.

RAMOS, C.; OCIO, J.A. 1993. La agricultura y la contaminación de las aguas por nitratos. Hojas divulgadoras n° 7/92 HD. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. 32pp.

RÁZURI, L.; ROMERO, D.E.R. y ROMERO, C. 2008. Efecto del riego deficitario controlado en la producción del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) bajo riego localizado. *Agric. Andina* 14: 31-48.

RICHARDS, L. A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmisión by soil. *Soil Sci*: 66: 105-110.

RICHARDS, L. A. 1965. Physical condition of water in soil. En: Black, C. A. (Ed.). *Analysis, Part. 1. Agronomy 9*. Amer. Soc. of Agron. Publ. Madison, Wisconsin. 770 p.

RICHARDS, D. 1983. The grape root system. *Hortic. Rev.* 5:127-168.

RICHARD, M.; JOSE, A.; MARK, G.; KEITH, M. 2002. Summer Squash Production in California. Vegetable Research and Information Center, Vegetable Reproduction Series, California, Publication 7245.

ROBINSON, R.W.; DECKER-WALTERS, D.S. 1997. Cucurbits. *Crop Production Science in Horticulture*. CAB Int, New York, USA.

ROOSE, E.J. 1974. Contribution a l'étude de la resistance a l'érosion des Quelques sols tropicaux. *Trans. X International Congress of Soil Science*. Moscú, XI Comission pp. 54-61.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Sci. Hortic.* (105), 177–195.

RUDICH, J. 1985. *Cucumis sativus*. In AH Halevy. Ed. *Handbook of Flowering*. Press. Boca Raton, FL. 2: 365-374.

RUIZ, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 60:379-398.

SAIF, U.; MAQSOOD, M.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, S.; HABIB, A. 2003. Effect of planting patterns and different irrigation levels on yield and yield component of maize (*Zea mays*, L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 1, pp. 64–66.

SALAZAR, L.J.; and THOMPSON, K.R. 1996. Computerized irrigation scheduling in the San Luis Valley of Colorado. p 75-80. In: C. Camp, E. Sadler, and R. Yoder (eds.). *Evapotranspiration and irrigation scheduling*. A.S.A.E. San Antonio, Texas, USA.

SAVIC, S.; STIKIC, R.; VUCELIC RADOVIC, B.; BOGICEVIC, B.; JOVANOVIC, Z.; HADZI-TASKOVIC SUKALOVIC, V. 2008. Comparative effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root-zone drying (PRD) on growth and cell wall peroxidase activity in tomato fruits. *Sci. Hortic.*, 117 (2008), pp. 15–20.

SCHILARDI, CARLOS. 2009. Desempeño del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del río Tunuyán Superior, Mendoza Argentina. Tesis de Maestría en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina. 136 p.

SELLES, G. y FERREYRA, R. 2005. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. p. 15-53. En: INIA (ed.). *Manejo de Riego y Suelo en Vides para vino y Mesa*. INIA, Santiago de Chile.

SINGH, R.V. y CHAUMAN H.S. 1996. Irrigation scheduling in wheat under shallow water table conditions. Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. A.S.A.E, San Antonio, Texas, USA.

SMITH, B.D. 1997. The initial domestication of *Cucurbita pepo* in the Americas 10,000 years ago. Science 276: 932–934.

SILVA, H.; HONORATO, R.; BONOMELLI, C. 1991. Crecimiento radical y desarrollo de la vid. variedad Thompson Seedless. ACONEX 34:14-21.

SIVANAPPAN, R.K.; RAJGOPAL, A.; PALINISWAMI, D. 1974. Response of vegetable to the drip irrigation. Madras Agricultural Journal, 65 (1974), pp. 576–579.

STANSELL, J.R.; SMITTLE, D.A. 1989. Effects of irrigation regimes on yield and water use in summer squash. J. Am. Soc. Hort. Sci. 114 (2), 196–199.

STEDUTO P.; CALIANDRO, A.; RUBINO, P.; BEN MECHLIA, N.; MASMOUDI, M.; MARTINEZ-COB, A.; JOSE FACI, M.; RANA, G.; MASTRORILLI, M.; EL MOURID, M.; KARROU, M.; KANBER, R.; KIRDA, C.; EL-QUOSY, D.; EL-ASKARI, K.; AIT ALI, M.; ZAREB D.; SNYDER, R.L. 1996, Penman-Monteith reference evapotranspiration estimates in the Mediterranean region, In: Camp, C.R., Sadler, E.J., Yoder, R.E. (Eds.), Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the International Conference, November 3–6, San Antonio, TX, pp. 357–364.

STEDUTO, P. 2006. Biomass water-productivity comparing the growth-engines of crop models. WUEMED Training Course Integrated Approaches to Improve Drought Tolerance in Crops June 5–10, Faculty of Agriculture, Bologna (2006).

STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. Irrig. Sci., 25 (2007), pp. 189–207.

STEVENS, P.; HARVEY, G.; ASPINALL, D. 1995. Grapevine growth of shoots and linearly correlate with water stress indices based on root-weighted soil matric potential. Aust. J. of Grape and Wines Res. 1:58-66.

STEWART, J.I., CUENCA, R.H., PRUITT, W.O., HAGAN, R.M. y TOSSO, J. 1977. Determination and utilization of water production functions for principal California crops. W-67 California Contributing Project Report. Davis, United States of America, University of California.

TOPCU, S.; KIRDA, C.; DASGAN, Y.; KAMAN, H.; CETIN, M.; YAZICI, A.; BACON, M.A. 2007. Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation. Eur. J. Agron., 26 (2007), pp. 64–70.

USDA 1954. Manual de diagnóstico y recuperación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura N°60. USA.

USDA 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N 42. Version 3.0. Washington DC, USA, 693p.

USDA 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. USDA, Washington.

VALLEJO CABRERA, F. A.; ESTRADA SALAZAR, E. I. 2004. Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Pag. 191 a 233.

VALLONE, R.C. 1998. Influencia del estado hídrico sobre el desarrollo, rendimiento y calidad enológica en vid. Tesis de Maestría en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza, Argentina. 130 p.

WAJID, A.; HUSSAIN, A.; AHMED, A.; RAFIQ, M.; GOHEER, A.R., IBRAHIM, M., 2004. Effects of sowing date and plant density on growth, light interception and yield of wheat under semi-arid condition. *Int. J. Agric. Biol.* 6, 1119–1123.

WALKLEY, A. y BLACK, Y. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-37.

WANG, S.; ZHANG, F. 2004. Effect of different water treatment on photosynthesis characteristics and leaf ultra-structure of cucumber growing in solar green-house. *Acta Hortic.* 633, 397–401.

WANG, F.; KANG, S.; DU, T.; LI, F.; QIU, R. 2011. Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. *Agricultural Water Management* 98, 1228–1238.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. En: D. Hillel (ed.). *Applications of soil physics*. Academic press, New York. p. 319-344.

WEAVER, J. E.; BURNER, W.E. 1927. Root development of vegetable crops. McGraw-Hill Book, New York.

WERNER, H.D. 1996. Checkbook irrigation tables developed from Ag. Met. Data. *Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*. A.S.A.E. San Antonio, Texas, USA.

WHITAKER, T. W.; DAVIS, G.N. 1962. Cucurbits. *Botany. Cultivation and utilization*. Leonard Hill. New York. 259 pp.

WHITAKER, T.W. 1968. Ecological aspects of the cultivated *Cucurbita*. *Hort. Science* 3: 9-11.

WHITAKER, T.W.; BEMIS, W.P. 1975. Origin and evolution of the cultivated *Cucurbita*. *Bull. Torrey Bot. Club* 102:362-368. <http://www.jstor.org/stable/2484762>.

WHITE, I.; PERROUX, K.M. 1989. Estimation of unsaturated hydraulic conductivity from field sorptivity measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:324-329.

WILCOX, J.C. 1960. A statistical comparison of laboratory methods of determining the permanent wilting point of soil. *Can. J. Soil Sci.* 40: 111-112.

YAVUZ, D.; SEYMEN, M.; YAVUZ, N.; TURKMEN, O. 2015. Effects of irrigation interval and quantity on the yield and quality of confectionary pumpkin grown under field conditions. *Agricultural Water Management* 159 (2015) 290–298.

YEGUL, M.; YILDIZ, M.; ELLIALTIOGLU, S.; ABAK, K. 2012. Seed yield and quality of some inbred lines in naked seed pumpkin (*Cucurbita pepo var styrica*). *YYU J. Agric. Sci.* 22 (1), 12–19.

YRISARRY, J.J.B.; NAVESO, F.S. 2000. Use of weighing lysimeter and bowen-ratio energy-balance for reference and actual crop evapotranspiration measurements. *Acta Hort.* 537:143-150.

ZEGBE-DOMÍNGUEZ, J.A.; BEHBOUDIAN, M.H.; LANG, A.; CLOTHIER, B.E. 2003. Deficit irrigation and partial root zone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in “petopride” processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae* 98, 505-510.

ZHENG, J.; HUANG, G.; JIA, D.; WANG, J.; MOTA, M.; PEREIRA, L.; HUANG, Q.; XU, X.; LIU, H. 2013. Responses of drip irrigated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) yield, quality and water productivity to various soil matric potential thresholds in an arid region of Northwest China. *Agric. Water Manage.*, 129 (2013), pp. 81–193.

ZOTARELLI, L.; DUKES, M.D.; SCHOLBERG, J.M.; HANSELMAN, T.; LE FEMMINELLA, K.; MUÑOZ-CARPENA, R. 2008. Nitrogen and water use efficiency of zucchini squash for a plastic mulch bed system on a sandy soil. *Scientia Horticulturae*, 116, 8-16.

Sitios Web consultados:

<http://ccasfs.cgiar.org/>

<http://www.fao.org/water/es>

<http://www.fhia.org.hn>

<http://www.idr.org.ar>

<http://inta.gob.ar/variedades/cokena-inta>

<http://platina.inia.cl/paltoriego/index.cfm>