



“Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de Tomate en el Valle Inferior de Río Negro”

Autor: Geri Agustín

Director: Dr. Ing. Agr. Roberto Simón Martínez

Co-director: Ing. Agr. Enrique Muzi

VIEDMA, ARGENTINA 2022

RESUMEN:

En el Valle Inferior de Río Negro, el tomate con destino a industria constituyó un cultivo iniciador e históricamente una de las principales especies hortícolas cultivadas. El desarrollo del cultivo se mantuvo en estrecha relación con la capacidad de elaboración de las plantas procesadoras de pulpa de tomate que alcanzaron su esplendor en los años 80.

Para el cultivo de tomate industria, la gestión inadecuada del recurso hídrico trae asociados problemas de productividad, calidad inadecuada del fruto, mayor incidencia de enfermedades, menor eficiencia en el uso del agua, energía y fertilizantes. El riego es una técnica que pretende suministrar al cultivo una cantidad de agua adecuada y de forma eficiente sin alterar las condiciones del suelo y buscando cubrir las necesidades del cultivo.

El objetivo general de este trabajo fue determinar las necesidades hídricas de un cultivo de tomate industria para cada uno de sus estadios fenológicos en el Valle Inferior de Río Negro. Para ello se utilizó un modelo de balance hídrico construido a partir del uso de lisímetros de drenaje o volumétricos.

Los lisímetros son grandes contenedores o “macetas” que contienen un masa aislada de suelo y se instalan dentro del lote con el objetivo de ser lo más representativos posible. Cuentan con un diseño que permite calcular todo ingreso y egreso de agua que se produzca dentro de esta masa aislada de suelo. La diferencia entre el ingreso y egreso constituye el agua evapotranspirada por el cultivo.

El ensayo se condujo durante la campaña 2018/2019. La medición del agua se realizó en periodos de 10 días utilizando dos lisímetros volumétricos y la información se recabó en una planilla de datos que posteriormente permitió estimar el consumo del cultivo para cada periodo, así como sus respectivos coeficientes de cultivo (K_c).

Los valores de ET_c obtenidos fueron de 484 y 410 mm para cada uno de los lisímetros respectivamente. Los valores de eficiencia del uso del agua fueron de 2,72 y 2,02 $kg.m^3$ para cada uno de los lisímetros respectivamente.

Palabras clave: Riego, evapotranspiración, ET_c , coeficiente de cultivo, lisímetros.

INDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCION | 1 |
| HIPOTESIS | 4 |
| OBJETIVO..... | 4 |
| Objetivo general | 4 |
| Objetivos específicos | 4 |
| ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS Y ESTADO DEL ARTE..... | 5 |
| Características botánicas del tomate | 5 |
| Fenología del cultivo | 6 |
| Requerimientos del cultivo | 8 |
| Parámetros de calidad | 9 |
| Contenido de solidos solubles..... | 9 |
| Identificación de defectos de calidad | 10 |
| Necesidades hídricas del cultivo | 10 |
| Evapotranspiración, Evapotranspiración de referencia, Evapotranspiración de cultivo y Coeficiente de cultivo | 10 |
| Balance hídrico | 13 |
| Lisímetros | 14 |
| Eficiencia del uso del agua | 17 |
| Sensores..... | 18 |
| Sensores de humedad de suelo por capacitancia | 18 |
| Análisis de la cobertura vegetal por tratamiento de imágenes..... | 20 |
| Software CobCal 2.1:..... | 21 |
| Situación internacional y nacional de la producción de tomate industria | 22 |
| MATERIALES Y METODOS | 25 |
| Manejo agronómico del cultivo..... | 33 |
| RESULTADOS Y DISCUSION..... | 39 |
| Calculo de la Evapotranspiración de referencia “ETo” por el método Penman & Monteith (1985)..... | 39 |
| Fenología del cultivo | 42 |
| Evolución de la humedad del suelo..... | 43 |

| | |
|--|----|
| Evapotranspiración del cultivo..... | 46 |
| Coeficientes de cultivo obtenidos por balance hídrico | 48 |
| Drenaje como porcentaje de la lámina de agua aplicada..... | 49 |
| Evolución de la cobertura vegetal | 50 |
| Evolución de la humedad del suelo registrada a través de la sonda de capacitancia fuera de los lisímetros | 53 |
| Rendimiento, calidad y eficiencia en el uso del agua..... | 55 |
| CONCLUSIONES..... | 58 |
| ANEXOS | 60 |
| Calculo de la Evapotranspiración de referencia (ET _o) para la serie 2019-2022 por el método Penman & Monteith (1985) | 60 |
| Calculo de la Evapotranspiración de referencia (ET _o) por el método Penman & Monteith (1985) con datos serie histórica 1965-1989 (Martín, 2009)..... | 61 |
| Balance hídrico Lisímetro 1 | 62 |
| Balance hídrico Lisímetro 2..... | 63 |
| Evolución humedad del suelo Lisímetro 2..... | 64 |
| BIBLIOGRAFIA | 66 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Fases fenológicas del cultivo de tomate industria adaptado de (Campillo Torres <i>et al.</i> , 2015)..... | 6 |
| Figura 2. Refractómetro y calibre digital. Fuente: Rivero <i>et al.</i> , 2013..... | 9 |
| Figura 3. Factores que afectan la evapotranspiración de un cultivo (Allen <i>et al.</i> , 2006)..... | 11 |
| Figura 4. Evapotranspiración de un cultivo de referencia, bajo condiciones estándar y bajo condiciones no estándar (Allen <i>et al.</i> , 2006)..... | 12 |
| Figura 5. Curva generalizada del coeficiente de cultivo (Allen <i>et al.</i> , 2006)..... | 13 |
| Figura 6. Esquemización de un balance hídrico (Allen <i>et al.</i> , 2006)..... | 14 |
| Figura 7. Esquema de funcionamiento de un lisímetro volumétrico de drenaje... | 15 |
| Figura 8. Ejemplo de un análisis de cobertura desarrollado con el software CobCal 2.1..... | 21 |
| Figura 9. Ubicación geográfica del VIRN, EEAVI y del lote donde se realizó en el ensayo..... | 25 |
| Figura 10. Estación meteorológica automática..... | 26 |
| Figura 11. Lisímetros instalados en el lote donde se realizó el ensayo..... | 27 |
| Figura 12. Tanque elevado y sistema de filtrado de impurezas..... | 28 |
| Figura 13. Cabezal de riego, electroválvulas y programador Hunter® X-Core..... | 28 |
| Figura 14. Esquema del sistema de riego y los lisímetros..... | 29 |
| Figura 15. Sensores ECH ₂ O EC-5 Decagon® tomado de: http://www.decagon.com/ | 29 |
| Figura 16. Perforación, relleno con mezcla y puesta a punto de la sonda FDR..... | 30 |
| Figura 17. Utilización del trípode para la medición de cobertura siguiendo método propuesto por Campillo <i>et al.</i> , 2008..... | 31 |

| | |
|---|----|
| Figura 18. Fotografías tomadas a la fecha de trasplante..... | 34 |
| Figura 19. Detección de síntomas de bacteriosis..... | 36 |
| Figura 20. Cosecha manual de una de las plantas del lisímetro 1..... | 37 |
| Figura 21. Evolución diaria de la evapotranspiración de referencia..... | 39 |
| Figura 22. Comparación de ETo para distintas series temporales..... | 40 |
| Figura 23. Evolución diaria de las temperaturas máximas, mínimas y la ETo..... | 40 |
| Figura 23 _a . Correlación lineal entre ETo y Tmax..... | 41 |
| Figura 23 _b . Correlación lineal entre ETo y Tmin..... | 42 |
| Figura 24 _a . Evolución de la humedad del suelo para el mes de Diciembre..... | 44 |
| Figura 24 _b . Evolución de la humedad del suelo para el mes de Enero..... | 44 |
| Figura 24 _c . Evolución de la humedad del suelo para el mes de Febrero..... | 45 |
| Figura 24 _d . Evolución de la humedad del suelo para el mes de Marzo..... | 45 |
| Figura 25. Evolución de la ETc acumulada para cada lisímetro y teórica..... | 47 |
| Figura 26. Obtención de drenaje expresada como % de la lámina de agua aplicada para cada lisímetro..... | 49 |
| Figura 27. Evolución de la cobertura vegetal analizado mediante CobCal y etapas fenológicas para cada uno de los lisímetros y los sitios muestrales..... | 51 |
| Figura 28. Relación lineal entre ETc y cobertura vegetal para el lisímetro 1..... | 52 |
| Figura 29. Evolución de la humedad del suelo por estratos registrada por la sonda FDR Diviner 2000 sobre la línea de cultivo fuera de los lisímetros..... | 53 |
| Figura 30. Evolución de la humedad del suelo por estratos registrada por la sonda FDR Diviner 2000 a 10 centímetros de la línea de cultivo fuera de los lisímetros..... | 54 |
| Figura 31. Rendimientos obtenidos en cada lisímetro y promedio de los sitios muestrales..... | 55 |
| Figura 31 _a . Clasificación del rendimiento expresado en % para el lisímetro 1..... | 56 |
| Figura 31 _b . Clasificación del rendimiento expresado en % para el lisímetro 2..... | 56 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Características del híbrido PS 247002 (Asociación Tomate 2000, 2016)..... | 33 |
| Tabla 2. Detalle del programa de riego en cada lisímetro..... | 34 |
| Tabla 3. Resultados del análisis químico de las muestras de agua..... | 35 |
| Tabla 4. Cronograma de fertilización..... | 35 |
| Tabla 5. Esquema de tratamiento fitosanitario..... | 36 |
| Tabla 6. Observaciones fenológicas y porcentaje de cobertura..... | 42 |
| Tabla 7. Tabla resumen. Evapotranspiración de cultivo calculada por balance hídrico..... | 46 |
| Tabla 8. Coeficientes de cultivo según días después del trasplante..... | 48 |
| Tabla 9. Tabla resumen. Sólidos solubles registrados en frutos..... | 57 |
| Tabla 10. Eficiencia del uso del agua..... | 57 |

LISTA DE SIMBOLOS PRINCIPALES Y ACRONIMOS

| | |
|--------------------------|---|
| <i>VIRN</i> | Valle Inferior de Río Negro |
| <i>EEAVI</i> | Estación experimental agropecuaria del Valle Inferior |
| <i>ET</i> | Evapotranspiración |
| <i>ET_o</i> | Evapotranspiración de referencia |
| <i>ET_c</i> | Evapotranspiración de cultivo |
| <i>ET_{c aj}</i> | Evapotranspiración de cultivo ajustada |
| <i>K_c</i> | Coeficiente de cultivo |
| <i>K_{c ini}</i> | Coeficiente de cultivo de la etapa inicial |
| <i>K_{c med}</i> | Coeficiente de cultivo de la etapa media |
| <i>K_{c fin}</i> | Coeficiente de cultivo de la etapa final |
| <i>EUA</i> | Eficiencia de uso del agua |
| <i>FDR</i> | Reflectometría de dominios magnéticos de frecuencia |
| <i>PGC</i> | Percentage of Green Cover (Porcentaje cubierto por el follaje) |
| <i>FVC</i> | Fractional Vegetation Cover (Fracción cubierta por la vegetación) |
| <i>IF</i> | Inicio de floración |
| <i>IC</i> | Inicio de cuajado |
| <i>IM</i> | Inicio de maduración |
| <i>Ha</i> | Hectáreas |
| <i>Tn</i> | Tonelada |
| <i>FAO</i> | Food and Agriculture Organization |

INTRODUCCION

Se denomina “tomate industria” a todo aquel cultivo de tomate que tenga como destino final la industrialización del fruto con el fin de obtener diversos productos (tomate en enteros o en trozos, pomarolas o salsas, ketchup, puré y otros derivados) (Franco, 2016). En el cultivo de tomate para industria, el manejo adecuado del recurso hídrico es de vital importancia ya que la gestión inadecuada del agua trae asociados diversos problemas, tales como: una menor productividad, una menor calidad del producto, una mayor incidencia de enfermedades, un mayor uso de energía y una menor eficiencia en el uso del agua y fertilizantes (Marouelli *et al.*, 1999).

En este sentido, el riego es una técnica que se utiliza para que los cultivos puedan disponer del agua necesaria para su crecimiento, desarrollo y producción. El objetivo que se pretende con el riego es suministrar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua adicional a la precipitación que necesitan para su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de sales, de forma tal que evite su acumulación en el perfil de suelo, asegurando la sostenibilidad del regadío (Tarjuelo, 1999).

El proceso mediante el cual se consume el agua almacenada en un suelo se denomina evapotranspiración (ET) y está dado por la combinación de dos procesos que ocurren simultáneamente: evaporación y transpiración. En la evaporación el agua en estado líquido se retira de una superficie evaporante transformándose en agua en estado gaseoso, mientras que en el proceso de transpiración las plantas toman el agua del suelo y la movilizan al sistema foliar donde finalmente el agua cambia del estado líquido al gaseoso y pasa a formar parte de la atmósfera. Para la ocurrencia de estos procesos se requiere de energía. La radiación solar directa y, en menor grado la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía (Allen *et al.*, 2006).

Cuando este proceso evaporativo se cuantifica sobre un determinado cultivo que atraviesa su ciclo fenológico sin limitantes de ningún tipo (enfermedades, estrés hídrico, estrés nutricional, ataque de insectos, etc.) el término que normalmente se utiliza es el de “evapotranspiración de cultivo” (ET_c), mientras que si existiera algún tipo de estrés el término utilizado es “evapotranspiración de cultivo ajustada” (ET_{c_{aj}}) (Andriani, 2016).

La evapotranspiración de los cultivos (ET_c) es un componente importante utilizado en la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de riego (Güngör, 1990). Dado que la ET_c depende en gran parte del suelo y de las condiciones climáticas, sus valores se deben estimar para cada cultivo en las diferentes regiones donde se produzca (Ertek *et al.*, 2004).

La evapotranspiración de referencia (ET_o) hace alusión a la cantidad de agua consumida, durante un determinado periodo de tiempo, por un suelo cubierto por una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con buen suministro de agua (Fuentes Yague, 1998). La ET_o solo se ve afectada por factores meteorológicos (radiación, temperatura, humedad y velocidad del viento), por lo tanto puede ser estimada a partir de diferentes modelos matemáticos que consideran estos factores. La Food and Agriculture Organization (FAO) recomienda el método de Penman & Monteith (1985) como el más adecuado para la determinación de la ET_o a partir de parámetros climáticos (Allen *et al.*, 2006).

Los coeficientes de cultivo (K_c) permiten obtener la ET_c a partir de la ET_o y son exclusivos para cada cultivo y cada etapa fenológica. Los cambios que evidencian los K_c a medida que transcurre el ciclo fenológico expresan los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo, la cual generalmente suele presentar 3 etapas conocidas como K_c inicial, K_c medio y K_c final (Allen *et al.*, 2006). El K_c depende de diversos factores como pueden ser el tipo de cultivo, el área foliar desarrollada por este, la cobertura del suelo (porcentaje de suelo sombreado), características morfológicas del cultivo (estructura de las hojas, posición de los estomas, propiedades aerodinámicas, etc.), del tipo de manejo agronómico, del ritmo de crecimiento del cultivo, de las condiciones de nutrición, entre otros. Por esta razón es un coeficiente que debe ser calculado para cada región en particular (Andriani, 2016).

Para conocer las necesidades hídricas del cultivo de tomate en una región determinada, sería necesario determinar la ET_o a partir de datos climáticos, estimar los valores de ET_c y K_c que prevalecen en la zona, y evaluar la duración de las distintas etapas fenológicas del cultivo.

Uno de los métodos directos utilizados para la determinación de la ET_c y K_c son los modelos de balance hídrico por lisimetría. El balance hídrico consiste en evaluar y cuantificar todos los flujos que entran y salen de la zona radicular de un cultivo dentro de un determinado periodo de tiempo. Los lisímetros son recipientes de medidas variables que contienen una masa aislada de suelo con o sin vegetación y se entierran en el terreno donde se va a realizar un cultivo determinado. Estos dispositivos, según su tipo, cuentan con sistemas volumétricos

o de pesada que posibilitan cuantificar las aguas que ingresan y las que salen de manera tal que permiten estimar el consumo por evapotranspiración de la masa aislada de suelo con o sin vegetación que contienen (Aboukhaled *et al.*, 1981).

La creación del IDEVI definido por la Ley N°200 plantea el desarrollo de aproximadamente 64.000 ha (Peri, 2004). En la actualidad el Valle Inferior de Río Negro cuenta con 24.000 sistematizadas bajo riego para el desarrollo de actividades agrícolas que utiliza el agua del Río Negro (Consorcio Riego y Drenaje, comunicación personal, 15 de Marzo de 2021).

El valle inferior del Río Negro se ubica al noreste de la Patagonia Argentina. Si bien la producción de tomate industria en esta región se destina mayormente al autoconsumo, uno de los determinantes que podría incidir en la capacidad de producir tomate para la industria es la gestión adecuada del recurso hídrico. Para dimensionar y gestionar los sistemas de riego de la región con frecuencia se utilizan valores de ET_c y K_c obtenidos de información extranjera y generalizada (Allen *et al.*, 2006) la eficiencia en el uso del agua. Es decir, se encuentran calculados sobre condiciones de ambiente y manejo diferentes a las del VIRN.

Otro indicador de importancia utilizado en áreas con recursos hídricos esenciales que permite calcular el valor económico del agua de riego y definir políticas acerca de su uso para la producción de alimentos es la eficiencia en el uso del agua (EUA) (Zalazar *et al.*, 2014). Según Medrano (2007), este parámetro puede describirse como el volumen de agua que necesita consumir o evapotranspirar un cultivo para incorporar a su biomasa una determina cantidad de carbono proveniente de la atmosfera. Dicho de otra manera, es la relación existente entre volumen de agua evapotranspirado por un cultivo y la biomasa producida. La EUA dependerá de dos factores: las características propias de la especie y la capacidad de optimización del sistema.

HIPOTESIS

Los coeficientes de cultivos (K_c) de bibliografía (Allen *et al.*, 2006) utilizados en la región para calcular las necesidades hídricas de tomate subestiman los consumos de este cultivo, dando lugar a un uso ineficiente del recurso hídrico.

OBJETIVO

Objetivo general

Calcular los requerimientos hídricos para el cultivo de tomate industria en el Valle Inferior de Río Negro durante la campaña 2018/2019. Para el logro del objetivo general se proponen una serie de objetivos específicos.

Objetivos específicos

- i) Describir la situación internacional y nacional de la producción de tomate industria y realizar una actualización del estado del arte del tema de tesis.
- ii) Estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) a partir de datos climáticos registrados en el VIRN durante la campaña 2018-2019.
- iii) Estimar la evapotranspiración de cultivo (ET_c) del cultivo de tomate industria desarrollado en el VIRN durante la campaña 2018-2019.
- iv) Determinar las duraciones de las etapas fenológicas y realizar un seguimiento de la evolución de la cobertura vegetal del cultivo a lo largo del ciclo fenológico.
- v) Mediante los datos obtenidos por balance hídrico y la evapotranspiración de referencia estimada por datos meteorológicos, calcular los coeficientes de cultivo (K_c) y compararlos con los obtenidos a partir de bibliografía extranjera (Allen *et al.*, 2006).
- vi) Determinar la eficiencia en el uso de agua (EUA) para el cultivo de tomate industria en el Valle Inferior de Río Negro.

ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS Y ESTADO DEL ARTE

Características botánicas del tomate

Taxonómicamente, el tomate pertenece a la familia de las Solanáceas, género *Solanum* (Peralta *et al.*, 2007). La especie cultivada comercialmente se denomina *Solanum lycopersicum* y es originaria del “Genocentro sudamericano” que comprende las regiones situadas a lo largo de la cordillera de los Andes.

Es una planta perenne de porte arbustivo, que puede desarrollarse en diferentes hábitos: rastrera, semierecta o erecta. A los fines de su cultivo se comporta como anual, y el crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las variedades indeterminadas (Nuez, 1995).

Chamarro (1995) indica que esta especie posee crecimiento simpodial, en el cual el tallo forma cinco hojas antes que la yema principal se transforme en inflorescencia. Además, el crecimiento puede ser determinado e indeterminado. El primero de ellos, tiene los tallos terminados en ramillete floral con un período limitado de floración y son utilizados principalmente para cultivo industrial al aire libre. Las variedades con crecimiento indeterminado producen inflorescencias de forma continua y son cultivadas en invernadero y destinadas principalmente al consumo fresco (Kinet y Peet, 1997).

El sistema radicular del tomate está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las adventicias. Generalmente se extiende superficialmente sobre un diámetro de 1,5 m y alcanza más de 0,5 m de profundidad; sin embargo, el 70% de las raíces se localizan a menos de 0,20 m de la superficie. Los tallos son ligeramente angulosos, semileñosos, de grosor mediano y con tricomas, simples y glandulares. En su parte distal se localiza el meristema apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales. Sobre este tallo las hojas compuestas e imparipinnadas, se disponen de forma alternada (Escalona *et al.*, 2009).

La flor del tomate es perfecta, con 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo dispuestos de forma cíclica y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos. Los estambres están soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y dificultan la polinización cruzada. El ovario es bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como “racimos” y la primera flor se forma en la yema apical mientras que las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. El fruto es una baya jugosa (el tomate propiamente dicho), de forma

generalmente sub-esférica, globosa o alargada verde cuando inmaduro y que toma generalmente un color rojo intenso con la maduración (Nuez, 1995).

Fenología del cultivo

Las diferentes etapas fenológicas en el ciclo de cultivo del tomate de industria están muy relacionadas con el desarrollo de la planta. Una buena forma de establecerlas es relacionar el porcentaje de suelo que cubre el cultivo con la fase de desarrollo. También se puede incluir en la relación la profundidad de exploración de las raíces del cultivo (Campillo Torres *et al.*, 2015).

De esta manera, el periodo comprendido entre el trasplante y la recolección se puede dividir en 4 fases, que se detallan a continuación y se ejemplifican en la Figura 1. La duración de cada una de ellas dependerá del ciclo de la variedad elegida y de las condiciones meteorológicas, principalmente temperatura: las bajas temperaturas tienden a alargar la duración de las fases, y las altas tienen el efecto contrario (Campillo Torres *et al.*, 2015).

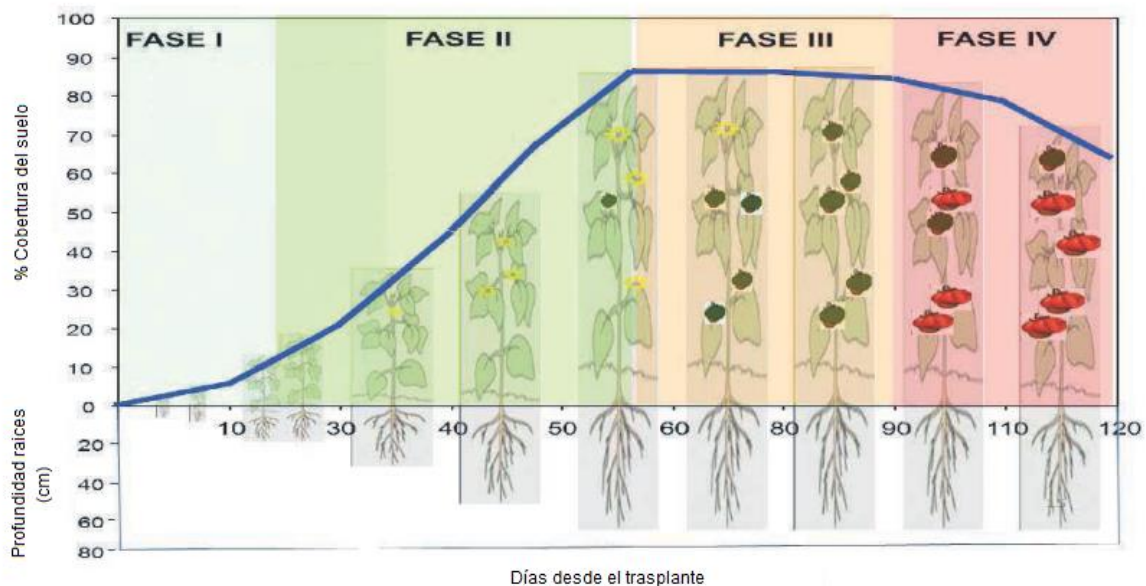


Figura 1. Fases fenológicas del cultivo de tomate industria, tomado de Campillo Torres *et al.*, 2015.

1. Fase de postrasplante (FASE I): Esta fase se inicia con el trasplante. La duración de esta fase depende en cierta medida, de la recuperación de la planta al estrés del trasplante y se considera que finaliza cuando el cordón de plantas alcanza un porcentaje de suelo cubierto de un 5%.
2. Fase de desarrollo (FASE II): Durante esta fase, las plantas tienen un crecimiento muy rápido, el porcentaje de suelo cubierto pasa rápidamente de un 5% hasta alcanzar valores de 80-85%. Durante esta etapa se tiene lugar la floración y el cuajado. Ésta es también una etapa de crecimiento muy activo de raíces, de forma que al final de la misma suelen alcanzar el máximo desarrollo en profundidad.
3. Fase de crecimiento de frutos (FASE III): Se inicia tras la floración y el cuajado, y dado que éste se produce de forma escalonada, tampoco hay un momento exacto de inicio ya que en una misma planta encontraremos frutos en diferente estado de desarrollo. Como podemos ver en la Figura 1 consideraremos el inicio cuando se estabiliza el crecimiento de la vegetación. En el crecimiento de los frutos podemos distinguir dos periodos, uno inicial, donde el fruto crece muy rápidamente y un segundo periodo, previo al virado, donde el fruto ralentiza su crecimiento y es cuando acumula gran parte de los azúcares y antioxidantes.
4. Fase de maduración (FASE IV): Durante este periodo los frutos verdes comienzan a pasar a rojos (maduración). Durante este periodo se suele aplicar una estrategia de riego deficitario controlado. Estas estrategias consisten en aportar con el riego una cantidad de agua inferior a las necesidades calculadas para el cultivo, de forma que experimente una sequía leve. Con esta estrategia se consigue favorecer el crecimiento de los frutos frente a las partes verdes de la planta (tallos y hojas). De esta forma se evitan los rebrotes y los asimilados que producen las hojas se dirigen preferentemente a los frutos y se puede incrementar la concentración de sólidos solubles en el fruto sin afectar significativamente el rendimiento.

Requerimientos del cultivo

Tanto el tomate con destino a industria como aquel con destino de consumo en fresco se desarrollan bien en climas cálidos y soleados (Brandán de Antoni *et al.*, 2009). El cultivo es sensible a heladas durante cualquier etapa de crecimiento, así la temperatura ideal del suelo para la germinación de semilla es de 20 °C o más; la germinación por debajo de 16 °C es muy lenta y temperaturas de 25 °C – 35 °C son las más propicias para el desarrollo vegetativo, crecimiento y cuajado del fruto (Valencia González, 1998). Según Jones (1998) las temperaturas entre 21 °C – 29,5 °C de día y de noche entre 18,5 °C – 21°C, permiten un óptimo crecimiento de la planta de tomate.

El tomate es un cultivo que no responde al fotoperíodo o largo del día; sus requerimientos de luz fotosintéticamente activa se satisfacen con periodos entre 8 y 16 horas de luz solar. Went (1957) constató que aunque el tomate es una planta indiferente al fotoperíodo en lo que concierne a su floración, la longitud del día tiene bastante importancia en su crecimiento vegetativo. Trabajos más recientes demuestran que el desarrollo vegetativo es estimulado tanto por el incremento de la integral luminosa como por el de la integral térmica (Aung, 1976; Kinet, 1977; Papadopoulos y Tiessen, 1987).

Diferentes autores (Hurd y Graves, 1985; Khayat *et al.*, 1985; De Koning, 1988) coinciden que, plantas sometidas a fluctuación de temperaturas, no muestran pérdidas de producción en comparación con plantas crecidas bajo un régimen de temperatura constante. Otros (Riga, 2008), menciona que diferentes parámetros de calidad de frutos de tomate se encuentran condicionados por factores genéticos y por las condiciones ambientales presentes desde anthesis hasta cosecha.

Gonzalez (2009) señala que las zonas con períodos largos de humedad relativa elevada, bajas o altas temperaturas y escasa luminosidad no son adecuadas para el cultivo por la alta incidencia de enfermedades.

Por su parte, Corpeño (2004) menciona que la temperatura del aire es el principal componente del ambiente que influye en el crecimiento vegetativo, desarrollo de racimos florales, el cuaje, desarrollo, maduración y la calidad de los frutos.

Los rangos de temperatura para un desarrollo óptimo del cultivo oscilan entre 28 °C y 30 °C durante el día y entre 15 °C – 18°C durante la noche. Temperaturas mayores a 35 °C y menores de 10 °C durante la floración provocan caída de flores y limitan el cuajado del fruto (Misle, 2001).

Parámetros de calidad

Un tomate de buena calidad aceptado por la industria debe tener aspecto fresco, con características propias de la variedad, y madurez adecuada según el tipo o variedad. Debe presentar uniformidad de color. Debe ser firme al tacto, bien desarrollado y formado; estar limpio y libre de pudriciones; libre o con manifestación leve de defectos de origen climático (granizo, quemaduras de sol, daño por frío), mecánico, entomológico, genético y fisiológico. No deben presentar olor y/o sabor extraño (Rivero *et al.*, 2013).

El sabor está determinado por el contenido de azúcar (fructosa y glucosa), de ácidos orgánicos, y los compuestos volátiles. Lo que incide directamente sobre el gusto del consumidor, es la relación azúcar/acidez. En cuanto al valor nutritivo, los tomates tienen un alto contenido de agua (94%) y muy bajo de grasa; son una fuente importante de potasio, fósforo y magnesio (favorable para nervios y músculos); de vitaminas B1, B2, B5, E, A y C, y licopeno (antioxidante). Como el contenido de vitaminas, de licopeno y la relación azúcar/acidez se incrementan con la maduración del fruto, un tomate maduro presenta mejor sabor y valor nutritivo principalmente si ha madurado en la planta (Rivero *et al.*, 2013).

Contenido de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles es uno de los aspectos de mayor interés para la industria y puede ser afectado por los factores agroecológicos, particularmente las condiciones climáticas durante el período de maduración y el riego, siendo sus valores promedio entre 4,5 °Brix y 5,5 °Brix (Nuez, 1995; Escaff *et al.*, 2005).

El contenido de sólidos solubles se determina en una muestra de jugo, con refractómetros. La lectura del mismo debe ser corregida en función a la temperatura (Figura 2).



Figura 2. Refractómetro y calibre digital. Fuente: Rivero *et al.*, 2013.

Identificación de defectos de calidad

Dentro de los defectos críticos que comprometen la buena calidad y vida postcosecha de los tomates están la rajadura o cracking; daños por insectos; malformaciones; podredumbre; inmadurez o sobremadurez; golpes o escaldaduras de sol; daños por helada; pudrición apical; heridas, y lesiones graves. En los defectos no críticos: heridas, y lesiones leves; manchas (incluye maduración irregular); frutos huecos o deformados (Rivero *et al.*, 2013).

Muchos daños pueden ser de origen genético, climático o de manejo de cultivo. Otros en cambio pueden originarse a partir de la cosecha, por un manejo inadecuado durante la misma, el empaque, almacenamiento, transporte y distribución. Dichos daños se intensifican con el tiempo durante el almacenamiento y transporte de los frutos (Rivero *et al.*, 2013).

Para el tomate industria, los frutos pueden clasificarse en cuatro categorías. El tomate comercial, que incluye todos los frutos rojos en buen estado; el tomate verde que incluye todos aquellos frutos en buen estado que no hayan virado al rojo; el tomate sobremaduro que incluye a todos aquellos frutos rojos que no tengan la firmeza/turgencia adecuada y descarte que incluye a todos aquellos frutos con defectos y/o con un peso menor a 30 gramos que no son aceptados por la industria.

Necesidades hídricas del cultivo

Evapotranspiración, Evapotranspiración de referencia, Evapotranspiración de cultivo y Coeficiente de cultivo

La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos por separado, por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por transpiración de un cultivo (Allen *et al.*, 2006).

La ET es el proceso primario de conducción de energía e intercambio de agua a través de la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera (Priestley y Taylor, 1972).

En el proceso de evaporación, el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de una superficie evaporante. Para la ocurrencia de este proceso se requiere de energía. La radiación solar directa y, en menor grado la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía.

Por su parte, la transpiración es una de las funciones más importantes de la vegetación. Se trata de un proceso donde la planta extrae el agua del suelo y la envía al sistema foliar perdiéndola como vapor de agua. La cantidad de agua

transpirada varía con la vegetación y con la cantidad que se encuentra en el perfil del suelo disponible para las plantas.

Para determinar la necesidad hídrica de un cultivo (ET_c) con el fin de programar el riego, se necesita conocer la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente correspondiente de ese cultivo para cada una de sus etapas ($K_{c\text{inicial}}$; $K_{c\text{medio}}$; $K_{c\text{desarrollo}}$ y $K_{c\text{final}}$) (Allen *et al.*, 2006).

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (1)$$

Dónde:

ET_c : Evapotranspiración de cultivo, mm.día^{-1} .

ET_o : Evapotranspiración de referencia, mm.día^{-1} .

K_c : coeficiente de cultivo.

ET_o es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera, se denomina así a la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua (Figura 3). Se utiliza para calcular la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del suelo y del tipo y estado de desarrollo del cultivo, por tanto los únicos factores que afectan la ET_o son los parámetros climáticos, siendo por lo tanto un parámetro que se puede estimar a partir de datos meteorológicos a través de la ecuación estandarizada desarrollada por Penman & Monteith (Allen *et al.*, 2006).

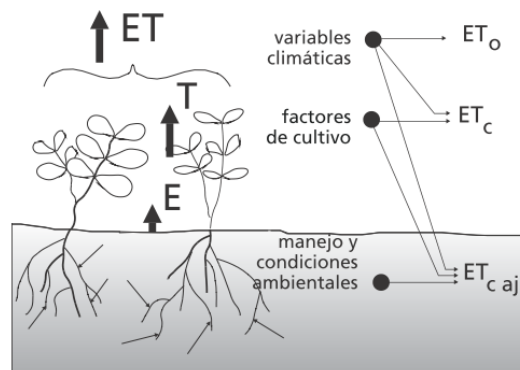


Figura 3. Factores que afectan la evapotranspiración de un cultivo tomado de Allen *et al.*, 2006.

ET_c se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas. La ET_c requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y/o se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo. En la Figura 4 se encuentran esquematizados estos conceptos.

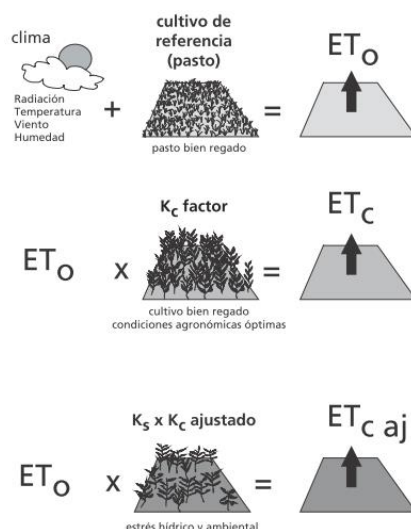


Figura 4. Evapotranspiración de un cultivo de referencia, bajo condiciones estándar y bajo condiciones no estándar tomado de Allen *et al.*, 2006.

El coeficiente del cultivo (K_c) expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo (Figura 5). Poco después de la aparición de las primeras hojas, el valor de K_c es pequeño, con frecuencia menor a 0,4. El valor de K_c comienza a aumentar, a partir de este valor inicial de K_c, al comenzar el desarrollo rápido de la planta y alcanza su valor máximo, K_{c med}, al momento del desarrollo máximo, o cercano al máximo, de la planta. Durante la etapa de final de temporada, a medida que las hojas comienzan a envejecer y se produce la senescencia debido a procesos naturales o las prácticas culturales, el valor de K_c comienza a disminuir hasta alcanzar un valor mínimo al final de la temporada de crecimiento igual a K_{c final}.

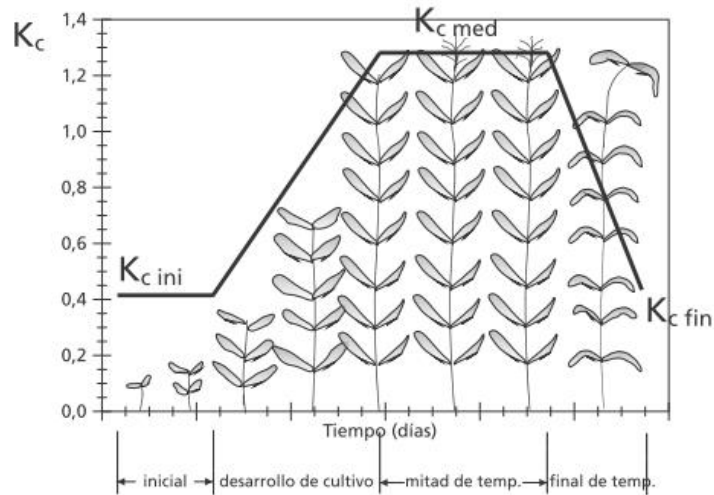


Figura 5. Curva generalizada del coeficiente de cultivo tomado de Allen *et al.*, 2006.

Distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente K_c . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de K_c (Allen *et al.*, 2006).

Balace hídrico

La ET_c también puede determinarse midiendo varios componentes del balance de agua en el suelo. El método consiste en evaluar los flujos de agua que entran y salen de la zona radicular del cultivo dentro de un determinado periodo de tiempo (Figura 6). El riego y la precipitación (P) proporcionan agua a la zona radicular.

Parte de R y P pueden perderse por escurrimiento superficial (ES), y percolación profunda (D) la cual eventualmente recargará la capa freática. El agua también puede ser transportada hacia la superficie mediante capilaridad desde la capa freática sub-superficial hacia la zona de raíces o ser incluso transferida horizontalmente por flujo sub-superficial hacia dentro (F_{sin}) o fuera (F_{sout}) de la zona radicular (ΔFS).

Sin embargo, excepto bajo condiciones de pendientes pronunciadas, normalmente los valores de F_{sin} y F_{sout} son mínimos y pueden no ser considerados. La evaporación del suelo y la transpiración del cultivo pueden agotar el agua de la zona radicular.

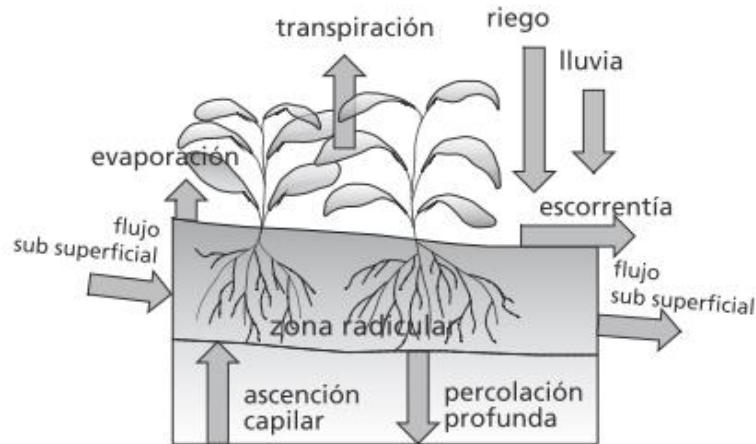


Figura 6. Esquematzación de un balance hídrico tomado de Allen *et al.*, 2006.

Si todos los otros flujos aparte de la evapotranspiración (ET) pueden ser evaluados, la evapotranspiración se puede deducir a partir del cambio en el contenido de agua en el suelo (ΔW) a lo largo de un periodo de tiempo:

$$ET = R + P - ES - D + C \pm \Delta FS \pm \Delta W \quad (2)$$

Lisímetros

Los lisímetros son grandes recipientes con suelo, instalados en condiciones de campo, y cuentan con sistemas de pesada o de control de entradas y salidas de agua. Pueden presentar una superficie con o sin cobertura vegetal. Este sistema puede ser utilizado para determinar la evapotranspiración de cultivos o tan sólo la evaporación de un suelo (Campeche, 2002). La medida directa de evapotranspiración por lisimetría es difícil y costosa, justificando su utilización sólo en condiciones experimentales.

Según Allen *et al.* (2006), “La lisimetría en su forma más simple, incluye la medida volumétrica de todas las aguas que entran y salen de un recipiente conteniendo una masa aislada de suelo con una superficie desnuda o cubierta vegetal”.

De esta manera, el principio de funcionamiento del lisímetro volumétrico se basa en el establecimiento de un balance hídrico del suelo contenido y la cuantificación de los parámetros que lo componen. Cuando el agua ingresa a través del aporte de las precipitaciones y/o el sistema de riego, una parte de esta agua es utilizada por las plantas y transpirada por el suelo (ET), mientras que el excedente atraviesa la masa de suelo contenida y percola hacia el fondo del recipiente. Esta agua de exceso puede ser recolectada periódicamente a través de un tubo de acceso y posteriormente medida volumétricamente (Figura 7).

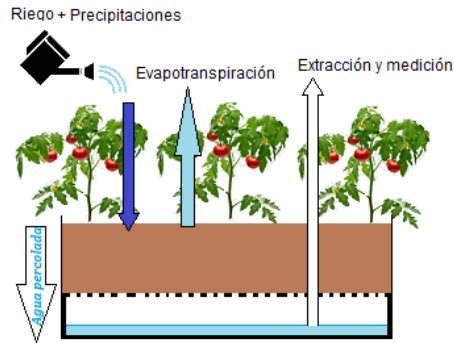


Figura 7. Esquema de funcionamiento de un lisímetro volumétrico de drenaje.

Fuente: elaboración propia.

Los flujos de entrada y salida de agua en un lisímetro pueden ser representados mediante la siguiente ecuación de balance hídrico:

$$P + I \pm \Delta FS = ET + D \pm \Delta W \quad (3)$$

Donde,

P= Aporte de agua dado por las precipitaciones

I= Aporte de agua por la irrigación

ET= Evapotranspiración (comprende el efecto conjunto de la evaporación y transpiración)

D= Percolación profunda o agua de drenaje

ΔW = Cambios en el contenido de humedad del suelo en un determinado periodo

ΔFS = Escorrentía hacia dentro o hacia afuera del lisímetro

Para calcular la ET_c utilizando un lisímetro todos los demás términos de la ecuación de balance hídrico deben ser medidos, consecuentemente:

$$ET_c = P + I - D \pm \Delta W \pm \Delta FS \quad (4)$$

La precipitación y la irrigación (P+I) pueden ser cuantificadas mediante diferentes instrumentos (pluviómetros, estaciones meteorológicas automáticas, caudalímetros, etc.). Para medir el agua que atraviesa la masa del suelo (D), los lisímetros poseen una cámara de drenaje a la cual se puede acceder para retirar el contenido de agua de la misma.

Los cambios en el contenido de agua de la masa del suelo (W) ofrecen complicaciones a la hora de cuantificarlos. Sin embargo, en los lisímetros de drenaje continuo y riegos diarios, el contenido de agua en el suelo es aproximadamente constante (el suelo se mantiene cercano a la capacidad de campo) y consecuentemente el valor del parámetro W se aproxima a cero. Esta condición, puede monitorearse a través de la utilización de sensores de humedad de suelo.

Por otra parte, si la construcción de los lisímetros tiene en cuenta una pequeña pared de contención a lo largo de todo su perímetro para evitar que el agua ingrese al mismo, se puede eliminar el efecto de la escorrentía superficial haciendo que el parámetro FS se aproxime a cero. De esta manera FS puede ser descartado como término de la ecuación de balance hídrico.

De esta forma, siempre y cuando se cumplan estas condiciones, la ecuación de balance hídrico para el periodo comprendido entre dos ocurrencias de drenaje sucesivas queda determinada de la siguiente manera:

$$ET_c = P + I - D \quad (5)$$

La evapotranspiración promedio diaria puede, consecuentemente, ser calculada teniendo en cuenta la duración del periodo entre dos ocurrencias de drenaje sucesivas. Sin embargo, hay que tener en consideración que pueden existir errores en los valores de ET_c debido a:

- Inexactitud que se obtiene debido a los cambios de retención de agua por el suelo. El contenido de agua en el suelo del lisímetro a capacidad de campo no es necesariamente la misma después de varias ocurrencias sucesivas de drenaje. Al mismo tiempo, los riegos frecuentes, necesarios para evitar estas diferencias pueden resultar en un régimen de agua en el lisímetro diferente al del área del resto de cultivo.

- La demora que tiene el recorrido del agua de percolación a través del perfil de suelo, puede afectar la determinación de la ETc.

Las limitaciones señaladas anteriormente implican que la ETc determinada con este tipo de lisímetros sea recomendable únicamente para periodos relativamente largos de medición (semanal o mensual).

En la región del VIRN existen experiencias utilizando esta metodología. Torreta (2012) demostró que es factible la utilización de lisímetros de drenajes artesanales para el cálculo de la evapotranspiración de los cultivos, obteniendo datos para el cultivo de maíz durante dos campañas sucesivas en el VIRN.

Eficiencia del uso del agua

Según Medrano *et al.* (2007), la eficiencia en el uso del agua (EUA) o productividad del agua puede describirse como el volumen de agua que necesita consumir o evapotranspirar un cultivo para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono proveniente de la atmósfera. Dicho de otra manera, es la relación existente entre volumen de agua evapotranspirado por un cultivo y el peso de la biomasa producida. La EUA dependerá de dos factores: las características propias de la especie y la capacidad de optimización del sistema.

Según Medrano *et al.* (2007), a los fines prácticos, para establecer la EUA de cultivos hortícolas, se puede considerar a la producción de materia seca de los frutos producidos y el agua consumida por este a lo largo del ciclo, y puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$EUA = B / ETc \quad (6)$$

Dónde:

B= Biomasa total aérea del cultivo expresada en kilogramos de materia seca total aérea por metro cuadrado de superficie (kg.m²)

EUA= Eficiencia de uso del agua expresada en kilogramos de materia seca total por metro cúbico de agua (kg.m³)

ETc= Evapotranspiración de cultivo expresada en metros cúbicos de agua por metro cuadrado de superficie (m³.m²)

Sensores

La humedad de suelo es un parámetro importante para la investigación en agricultura y recursos hídricos. El conocimiento del contenido volumétrico de agua en el perfil es de vital importancia para comprender el comportamiento de un cultivo frente a variaciones del mismo.

Existen distintos métodos para estimar la humedad de suelo a campo (muestreo gravimétrico, sonda de neutrones, tensiómetros, psicrometros, etc.). Desafortunadamente, cada uno de estos métodos presenta distintas dificultades que los alejan de lo ideal. En ejemplo, el método gravimétrico no puede ser automatizado, es destructivo y su ejecución consume mucho tiempo. Por otro lado, a pesar de ser un método directo la precisión no supera el 3% (Brandelik, 1997; Alva & Fares., 1999). Los métodos dieléctricos (incluyendo sensores de capacitancia (FDR), alta frecuencia, radio frecuencia, microondas y TDR) proveen una mejor precisión a pesar de ser de medición indirecta, eso siempre cuando se encuentren correctamente calibrados.

Sensores de humedad de suelo por capacitancia

Las denominadas sondas de capacitancia FDR (Reflectometría de dominios magnéticos de frecuencia), se basan en la relación existente entre el contenido volumétrico de humedad y la constante dieléctrica aparente del medio.

La estimación del contenido de humedad mediante FDR está basada en la medida de la constante dieléctrica mediante electrodos (placas paralelas o anillos metálicos) que junto con el suelo (como material dieléctrico), constituyen un condensador que se conecta a un circuito oscilador. Cuando varía la constante dieléctrica (debido al contenido de humedad del suelo), cambia la capacitancia del suelo y por tanto la frecuencia de oscilación del circuito. Este es el principio de funcionamiento de los sensores de capacitancia. Sin embargo, un sensor FDR trabaja de manera similar, pero en este caso se hace un barrido de frecuencias de manera que la frecuencia de resonancia indica el contenido de humedad del suelo.

Un sensor de capacitancia está compuesto de electrodos enterrados en el suelo, un oscilador electrónico, un frecuencímetro, y cables conectores. Existen varios diseños de estos equipos. Según su geometría, los electrodos pueden ser enterrados en el suelo, instalados en el extremo de una sonda y hundidos en el suelo (equipos portátiles), o insertados dentro de un tubo de acceso (equipos fijos).

- 1) Equipos portátiles. El modelo Diviner 2000 fabricado por Sentek: Es totalmente portátil y fácil de trasladar. Permite medidas en varios sitios sin restricción de distancia entre ellos. Deben instalarse tubos de acceso

de PVC en cada sitio a evaluar. Poseen un sistema que permite al sensor de la sonda reconocer profundidades cada 10 cm. Los datos son visualizados en una pantalla o se almacenan para luego transferirse a un procesador de datos. Se utiliza cuando se monitorean muchas superficies.

- 2) Equipos fijos. El modelo Decagon ECHO2 fabricado por Sentek Pty Ltd. Australia: Se trata de un sistema de monitorización del contenido de agua del suelo en tiempo real, llamados EnviroSCAN (ES). Cuentan con la posibilidad de almacenar estos datos en un datalogger.

Este tipo de equipos fijos, monitorizan lugares seleccionados previamente mediante estudio o reconocimiento de los suelos que componen la unidad de monitoreo. Así, este sistema se puede adaptar tanto a la heterogeneidad del suelo en el que está instalado (instalando más o menos “puntos” de medida), como a la densidad radicular del cultivo (instalando más o menos sensores de medida en profundidad) (Paltineanu y Starr, 1997; Fares y Alva, 2000).

Las sondas fijas cuentan con sensores que se distribuyen en el perfil del suelo, permitiendo de este modo obtener datos a diferentes niveles.

Cada sensor de 5.1 cm de diámetro y 7.5 cm de longitud, mide en una distancia axial de 10 cm, aunque aproximadamente el 93% de la señal radial sólo afecta a una distancia de tres centímetros del tubo de acceso (Paltineanu y Starr, 1997). Básicamente la sonda consiste en un par de electrodos (p.ej. dos anillos, o bien dos placas metálicas) que se insertan en el suelo.

Análisis de la cobertura vegetal por tratamiento de imágenes

La aplicación de la fotografía digital en la agricultura permite el monitoreo del crecimiento de las plantas y la obtención de parámetros vegetativos de su desarrollo. Uno de los parámetros vegetativos relacionados es el índice de área foliar. Este parámetro determina la capacidad de la planta para captar la energía de la luz solar y está directamente relacionada con la evapotranspiración a través del coeficiente de cultivo.

La utilización de la fotografía digital y las técnicas de procesamiento de imágenes en estudios agronómicos constituye un recurso que ha tenido aplicación creciente, de manera particular, con el desarrollo de la tecnología digital, cuya utilización permite evaluaciones de muy diversa índole sobre una base cuantitativa (Ewing y Horton, 1999). Estas técnicas se han convertido en una de las principales fuentes de información en tiempo real sobre diversos parámetros relacionados con el desarrollo y estado hídrico de los cultivos (Blasco *et al.*, 2002; Lorente *et al.*, 2012).

En lo referente a la gestión eficiente del agua, el empleo de la fotografía digital en agricultura de precisión permite el seguimiento del crecimiento y desarrollo de los cultivos, permitiendo así determinar sus necesidades hídricas mediante la obtención de parámetros biofísicos de la cubierta vegetal, determinados mediante fotografía digital y técnicas de tratamiento de imágenes.

Uno de los parámetros biofísicos directamente relacionado con el estado de desarrollo del cultivo es el PGC (Percentage of Green Cover) o FVC (Fractional Vegetation Cover), que representa la fracción de suelo cubierto por vegetación. Se trata de un parámetro ampliamente utilizado para representar distintas funciones de crecimiento y desarrollo de los cultivos (Walthall *et al.*, 2004; Laliberte *et al.*, 2007; Richardson *et al.*, 2001) y que normalmente se obtiene a partir de imágenes digitales utilizando técnicas de procesamiento e interpretación de imagen, que proporcionan resultados precisos (Congling *et al.*, 2005)

El parámetro PGC permite estimar las necesidades hídricas de los cultivos al estar directamente relacionado con la evapotranspiración (ETc). Diversos autores han logrado obtener resultados satisfactorios al relacionar PGC con el coeficiente de cultivo Kc en tomates (Hanson y May, 2005), judías (De Mederios *et al.*, 2001) y cebollas (Lopez-Urrea *et al.*, 2009) y se han desarrollado modelos matemáticos que, involucrando otras variables como la altura del cultivo, permiten estimar el coeficiente de cultivo Kc a partir del parámetro PGC (Allen y Pereira, 1998). Campillo *et al.* (2008) desarrollaron un sencillo y económico método para estimar el PGC en cultivos hortícolas utilizando el porcentaje de cobertura del suelo extraído de imágenes digitales.

Así pues, la fotografía digital y las técnicas de tratamiento de imágenes constituyen una herramienta relevante en la obtención del parámetro PGC, que permite determinar las necesidades hídricas de los cultivos al estar directamente relacionado con la ET a través del coeficiente de cultivo Kc; y establecer la programación y gestión del riego, al estar relacionado también con la profundidad radicular del cultivo. En este contexto, el análisis automático de imágenes digitales de cultivos es un campo de investigación interesante y activo, donde convergen la visión por computador y la agromática.

Software CobCal 2.1:

El software de licencia libre para estimación de cobertura vegetal, CobCal v2.1, está programado bajo el compilador Visual Basic, de Microsoft, en su versión número 6. Visual Basic es un lenguaje de programación dirigido por eventos, de propósito general. Para la realización del cálculo de cobertura, utiliza como input fotos digitales de la superficie muestral, cuya carga al sistema es realizada utilizando la biblioteca DLL Intel JPEG Library. Su funcionamiento está basado en un algoritmo especialmente diseñado para el procesamiento de imágenes digitales mediante colorimetría, es decir mediante la medición y cuantificación de colores.

El software permite ingresar una imagen, determinar la superficie del marco muestral, determinar su posición y, a partir de estos datos, analizar los píxeles y la superficie cubierta con vegetación. Además permite configurar parámetros como los tonos de verde de la vegetación, los tonos de grises del suelo y la sensibilidad en la clasificación de los píxeles. En la Figura 8 se presenta, a modo de ejemplo, el resultado final que arroja el software luego de realizar el análisis.

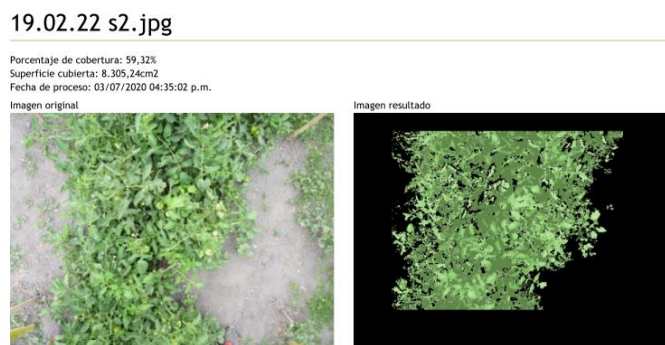


Figura 8. Ejemplo de un análisis de cobertura desarrollado con el software CobCal 2.1.

Situación internacional y nacional de la producción de tomate

industria

En lo que a producción mundial de hortalizas se refiere, el tomate ocupa el segundo lugar (Csizinszky, 2005) y es uno de los cultivos con mayor incorporación de tecnologías (riego por goteo, fertiriego, mulching, cosecha mecánica, etc.). Según el Instituto de Desarrollo Rural (2014) la producción de tomate industria a nivel mundial alcanzó un máximo de 42.000.000 de toneladas (tn) durante el año 2009.

Los principales países productores son, EEUU (12.000.000 tn), China e Italia con igualdad de producción (4.000.000 tn). La mayor parte de la producción se concentra en el hemisferio norte, donde se procesa aproximadamente el 90% de la producción mundial entre los meses de Julio y Diciembre. En el hemisferio sur, el tomate se procesa entre los meses de Enero y Junio (Macua González *et al.*, 2012). Argentina actualmente produce unas 400.000 tn en una superficie de 5500 hectáreas (ha) (Asociación Tomate 2000, 2019).

Existe una gran diferencia entre países, y aún dentro de cada uno de éstos en cuanto a las prácticas de cultivo, proporción destinada al cultivo de tomate industria y la organización y estructura de la industria y productos obtenidos (Costa y Heuvelink, 2005).

En nuestro país, el tomate se cultiva a lo largo de todo el territorio, con excepción del sur de la Patagonia (Argerich, 2006).

El rendimiento promedio del tomate con destino a industria se diferencia del tomate con otros destinos, debido a que se cultiva en regiones con características ambientales muy favorables. El rendimiento promedio a nivel país fue de 77 tn.ha⁻¹ para el año 2019 (Asociación Tomate 2000, 2019).

La industria del tomate requiere de materia prima de buena calidad para poder diferenciarse en el mercado. El tomate producido en la zona cuyana por ejemplo, cumple con estos estándares y es la base de la industria que compite con países vecinos como Brasil y Chile. A nivel primario, buena parte de la producción nacional se planifica por medio de relaciones contractuales entre los productores y la industria. En estos contratos se establece el precio de la materia prima y las condiciones de calidad que deben cumplir. La modalidad bajo contrato incluye otros aspectos, como coordinación de trasplante y cosecha, suministro de insumos (semillas, fertilizantes y fitosanitarios) y asistencia técnica por parte del industrial. La Asociación Tomate 2000, se originó con el objetivo de lograr competitividad para la industria del tomate. Este organismo promueve la

modalidad de trabajo por contrato, con resultados positivos en primer término para el industrial y luego para la rentabilidad del productor de tomate, mejoras en la calidad de la materia prima y el producto final y logros en el funcionamiento conjunto del sector tomatero (IDR, 2014).

La demanda y el rendimiento del cultivo de tomate para industria muestran una tendencia de crecimiento desde el año 2008, en tanto la producción se ha mantenido estable más allá de las fluctuaciones que se registran anualmente. Es notorio el incremento de la Región NOA, que pasó de 40.000 tn en el 2008 a 60.000 tn en el año 2012 y que se pueden traducir en 42,9 tn.ha⁻¹ de rendimiento, comparado con 51 tn.ha⁻¹ promedio para la región de Cuyo que dominó el 68 % de la producción del país con 4.001 ha y 240.000 tn en el año 2012 (Argerich *et al.*, 2012).

En la región del Pedemonte de Salta y Jujuy, la producción de tomate para consumo en fresco se destina principalmente para mercado interno en contra estación del resto de las zonas de producción del país. Esta producción de tomate para consumo en fresco se torna competitiva para la producción de tomate para industria en la zona, ya que suele destinarse el descarte de la primera para abastecer el procesamiento industrial, aunque este no siempre cumple con los estándares de calidad exigidos (Melis, 2014).

No obstante, la combinación de la versatilidad de los usos del tomate y la instalación de industrias conserveras en diferentes puntos del Ramal Salta Jujuy, que involucra departamentos de esas provincias a lo largo de la Ruta Nacional N° 34, junto con el apoyo de instituciones gubernamentales, propician un impulso para el cultivo de tomate para industria que pueda posibilitar un mayor crecimiento en la zona (Melis, 2014).

En la provincia de Río Negro, el tomate con destino a industria constituyó históricamente uno de los principales cultivos hortícolas y su desarrollo se mantuvo en estrecha relación con la capacidad de elaboración de las plantas procesadoras de pulpa de tomate que alcanzaron su esplendor en los años 80 (Trpin *et al.*, 2015).

En la década del noventa, la actividad experimentó un cierto retroceso debido al efecto de la política macroeconómica que adoptó el país, la apertura económica determinó el ingreso de tomate enlatado procedente de Italia y Estados Unidos a un costo muy bajo con el que la industria nacional no podía competir (Lenher, 2016). Asimismo, las situaciones administrativas internas, la pérdida de mercado, el bajo precio y la falta de inversión colaboraron para frenar el desarrollo de la industria. Si bien el cultivo se mantiene, el número de fábricas ha disminuido

respecto a la década de los 90 y por ende la superficie cultivada y el número de productores (CPA, 2014; Muzi *et al.*, 2016). Actualmente la actividad industrial se concentra en el valle medio donde se encuentran emplazadas 3 plantas procesadoras grandes y una cuarta de menor tamaño en la localidad de General Conesa (Trpin *et al.*, 2015).

En el año 2010 la provincia de Río Negro llegó a producir 55 mil toneladas en una superficie destinada al cultivo de 1600 ha. A partir del año 2010 la tendencia fue negativa, registrando producción de 29 mil toneladas y una superficie de 310 ha para el año 2019 (Asociación Tomate 2000, 2019).

En lo que respecta al Valle Inferior de Río Negro, existen pequeños productores y familias periurbanas que producen tomate perita en superficies pequeñas, ya sea en chacras o en huertas domiciliarias. De acuerdo a la superficie cultivada y del perfil socio-productivo, la producción se destina al autoconsumo, elaboración de tomate triturado artesanal y/o al mercado local (Muzi *et al.*, 2016).

MATERIALES Y METODOS

El sitio donde se llevó a cabo el ensayo se localiza en el Noroeste de la Patagonia, ubicado dentro del Valle Inferior de Río Negro. El lote seleccionado se encuentra dentro de la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro (en adelante, "EEAVI") convenio provincia de Río Negro – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La misma se encuentra posicionada sobre las siguientes coordenadas geográficas: latitud: 40° 48´ S; longitud: 63° 05´ O (Figura 9).

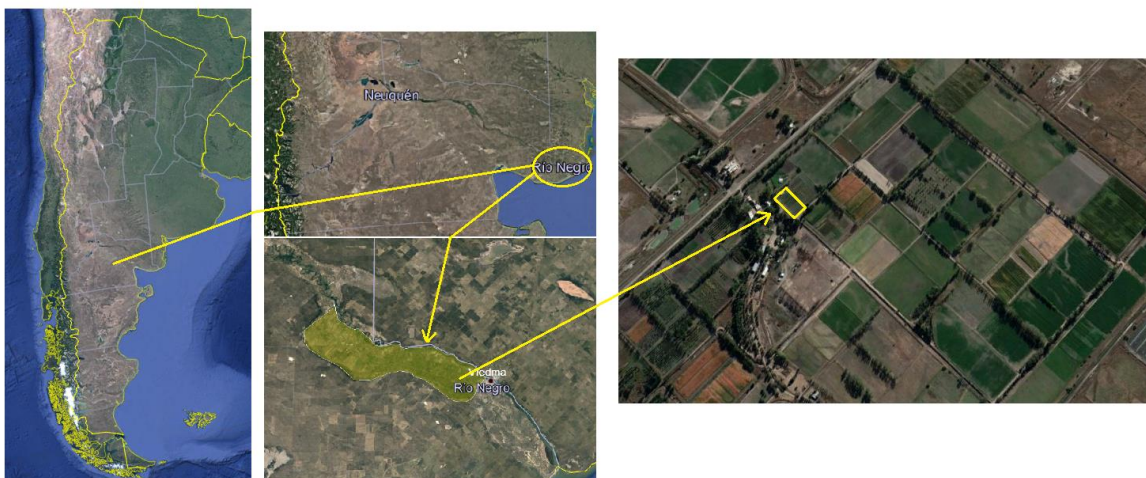


Figura 9. Ubicación geográfica del VIRN, EEA VI y del lote donde se realizó en el ensayo. Fuente: elaboración propia.

La parcela elegida para llevar adelante el ensayo cuenta con las siguientes dimensiones: 35 metros de largo y 11,2 metros de ancho, constituyendo una superficie total de 392 m². Además, cuenta con 2 lisímetros volumétricos de 1 m³ instalados en el lote.

Para el logro del objetivo específico i) *“Describir la situación internacional y nacional de la producción de tomate industria y realizar una actualización del estado del arte del tema de tesis”*, se revisó la literatura internacional, nacional y local pertinente y se consultó información estadística proveniente de diversas fuentes especializadas. Asimismo, se entrevistó a actores clave relacionados a la producción de tomate en la región del VIRN, quienes aportaron información valiosa para caracterizar las distintas formas de cultivo y tecnología aplicada.

Para el logro del objetivo ii) “Estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) a partir de datos climáticos registrados en el VIRN durante la campaña 2018-2019”, se utilizó la información meteorológica provista la estación meteorológica automática marca Davis® con la que cuenta la la EEAVI y que se encuentra ubicada a 60 metros del lote donde se realizó el ensayo (Figura 10). La misma cuenta con un módulo integrado de sensores de temperatura del aire (°C), presión atmosférica (hPa), humedad relativa (%), pluviometría (mm), dirección y velocidad del viento (Km.h⁻¹), y radiación solar (W.m⁻²); y transmite los datos a la consola de forma inalámbrica a través de una radio de baja potencia.



Figura 10. Estación meteorológica automática. Fuente: Sitio web Davis.

Estas variables meteorológicas fueron utilizadas como dato de entrada en la metodología propuesta por Penman & Monteith para estimar la Evapotranspiración de referencia (ET_o). Para ello se utilizó el programa CROPWAT que utiliza dicha ecuación, la cual integra distintas variables meteorológicas (temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento, insolación y radiación) y devuelve el dato de ET_o diaria expresada en mm/día. Los datos de ET_o fueron integrados en lapsos de tiempo coincidentes con los utilizados para la medición de ET_c de manera tal de facilitar su posterior comparación.

Para el logro del objetivo específico iii) “Estimar la evapotranspiración de cultivo (ET_c) del cultivo de tomate industria desarrollado en el VIRN durante la campaña 2018-2019”, se efectuó un análisis de balance hídrico mediante el uso de lisímetros volumétricos. La ecuación de balance hídrico para el periodo comprendido entre dos ocurrencias de drenaje sucesivas está determinada por la ecuación (7)

$$ETc = P + I - D \quad (7)$$

Donde, ETc es la evapotranspiración en litros, P es la precipitación en litros, I es el riego en litros y D es la percolación en litros.

Para la medición de los flujos de la ecuación (7) se emplearon dos lisímetros volumétricos instalados en la parcela (Figura 11). Estos dispositivos, se encuentran ubicados en el centro de la parcela con el objetivo de reproducir las condiciones reales del cultivo (Aboukhaled *et al.*, 1986).

Uno de los lisímetros (denominado "lisímetro 1") se encuentra construido manteniendo los horizontes del suelo en su orden original, mientras que el otro lisímetro (denominado "lisímetro 2") contiene un horizonte Ap de 25 cm original y el resto se encuentra relleno con arena.



Figura 11. Lisímetros instalados en el lote donde se realizó el ensayo.

Para regar el cultivo, se utilizó un sistema de riego por goteo superficial, el cual se alimentó de un tanque cisterna elevado a una altura de ocho metros. El agua proveniente del tanque se condujo por las tuberías y a través de 2 filtros de anillas ubicados previos al cabezal de riego (Figura 12).



Figura 12. Tanque elevado y sistema de filtrado de impurezas. Fuente: elaboración propia

El cabezal de riego utilizado cuenta con electroválvulas de la marca comercial Rainbird® modelo DV-100 que fueron comandadas con un programador marca Hunter® modelo X-core (Figura 13). Este dispositivo ofrece un funcionamiento sencillo y permitió controlar con exactitud los tiempos de riego conforme avanzaron las exigencias del cultivo para cada etapa.



Figura 13. Cabezal de riego, electroválvulas y programador Hunter® X-Core. Fuente: elaboración propia.

Las cintas de riego utilizadas en cada línea, contaron con un total de 118 goteros autocompensados y separados a 30 cm entre si. Este tipo de goteros tienen la particularidad de mantener constante el caudal de entrega en un valor de 1,2 litros/hora independientemente del valor de presión que tenga el agua.

Para la aplicación de fertilizantes se utilizó un tanque mezclador y un dosificador tipo Venturi que aseguro la aplicación de fertilizantes en la zona radicular.

La parcela se dividió en dos circuitos de riego diferentes utilizando como criterio de división la disponibilidad de dos lisímetros de drenaje (Figura 14).

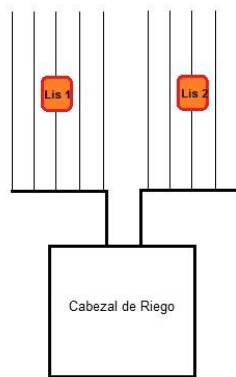


Figura 14. Esquema del sistema de riego y ubicación de los lisímetros. Fuente: elaboración propia.

Con el objetivo de monitorear el grado de humedad del suelo, variable que puede afectar el resultado del balance hídrico, se instalaron sensores de capacitancia dentro y fuera del lisímetro a 25 cm de profundidad. La marca comercial de los sensores utilizados fue Decagon® y el modelo ECH2O (Figura 15). Estos sensores, cuentan con un sistema de medición continua que registró con una frecuencia de 15 minutos el valor de humedad de suelo. Estos valores se almacenaron en un datalogger ubicado dentro del lote. Los datos registrados se descargaron con una frecuencia de 15 días durante el transcurso del ensayo.



Figura 15: Sensores ECH₂O EC-5 Decagon® tomado de:
<http://www.decagon.com/>

A su vez, en una de las líneas de cultivo, fuera de los lisímetros, se instalaron sondas de la marca comercial Sentec® modelo Diviner 2000 siguiendo el protocolo desarrollado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral. En cada sitio donde se ubicarían los tubos se realizó una perforación manual hasta 2 m con un barreno de diámetro exterior igual al diámetro nominal del tubo (4,8 cm). La ejecución de la perforación con lleva que el pozo terminado tenga un diámetro 4 mm mayor que el tubo, de modo tal que éste ingresa libremente. Para completar el espacio entre la pared de la perforación y el tubo se preparó una mezcla de suelo y agua, tamizando material franco-limoso en un tamiz de abertura < 2 mm, con una consistencia de la mezcla tal que el tubo pueda introducirse sin impedimentos (Figura 16). Cabe destacar, que los tubos son de PVC, con diámetro y espesor especiales provistos por la empresa Sentek Australia.



Figura 16: Secuencia de instalación de la sonda FDR.

Para el logro del objetivo específico iv) *“Determinar las duraciones de las etapas fenológicas y realizar un seguimiento de la evolución de la cobertura vegetal del cultivo a lo largo del ciclo fenológico, a los fines de evaluar la evolución del porcentaje de cobertura vegetal”*, se utilizó el método no destructivo propuesto por Campillo *et al.* (2008). Para ello, se seleccionaron al azar 5 sitios muestrales, 2 de ellos coincidentes con la posición de los lisímetros, de 1,0 x 1,4 m, considerándose esta como la superficie máxima de suelo que puede cubrir el cultivo con el marco de plantación utilizado (0,25 x 1,4 m). Estos sitios fueron delimitados utilizando estacas de madera.

Periodicamente, se tomaron fotografías de las áreas seleccionadas con una cámara semi profesional marca Nikon® semi profesional de 15 megapíxeles de resolución. La misma se colocó sobre un trípode a 1,5 m de altura sobre el centro de una fila de cultivo en cada parcela elemental (Figura 17).



Figura 17. Utilización del trípode para la medición de cobertura siguiendo método propuesto por Campillo *et al.*, (2008).

Las imágenes fueron analizadas con el software CobCal 2.1, el cual permite discriminar los píxeles que conforman la imagen por su color, separando que porcentaje de los mismos corresponde al follaje y suelo respectivamente. Además, el software proporciona el porcentaje de píxeles de color verde (correspondiente a la superficie ocupada por las plantas) sobre el total, se expresa como valor porcentual de cobertura.

Permite la determinación de las etapas fenológicas de forma práctica, mediante la observación a campo y la posterior determinación del valor de cobertura, se adaptó el criterio propuesto por Campillo Torres *et al.* (2015) considerándose las siguientes etapas:

1. Crecimiento vegetativo (Veg.): se inicia con el trasplante y finaliza cuando las plantas alcanzan el 5% de cobertura del suelo.
2. Crecimiento rápido e inicio de floración (IF): Durante esta etapa tiene lugar la floración. Comienza cuando el cultivo supera el 5% de cobertura del suelo y finaliza cuando en el 50% de las plantas existen al menos un 50% de los frutos cuajados.
3. Inicio cuajado (IC): se inicia cuando el 50% de las plantas cuentan con al menos el 50% de frutos cuajados y finaliza cuando los el 50% de las plantas tienen al menos el 50% de los frutos virando del color verde al color rojo.
4. Maduración (Mad.): Se inicia cuando al menos el 50% de las plantas presentan al menos el 50% de los frutos virando del verde al rojo y finaliza en la cosecha. Además, durante esta etapa se estabiliza el porcentaje de

cobertura y luego comienza a descender por efecto de la senescencia del follaje.

Para el logro del objetivo v) “Mediante los datos obtenidos por balance hídrico y la evapotranspiración de referencia estimada por datos meteorológicos, calcular los coeficientes de cultivo (K_c) y compararlos con los obtenidos a partir de bibliografía extranjera (Allen et al, 2006)”, se calcularon los coeficientes de cultivo a partir de la ecuación (2)

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (8)$$

Donde K_c es el coeficiente cultivo, ET_c es la evaporación del cultivo expresada en mm/periodo y ET_o es la evaporación potencial expresada en mm/periodo.

Para el logro del objetivo vi) “Determinar la eficiencia en el uso de agua (EUA) para el cultivo de tomate industria en el Valle Inferior de Río Negro”, se utilizó el modelo propuesto por Medrano (2007) resumido en la ecuación (3).

$$EUA = B / ET_c \quad (9)$$

Donde,

EUA= Eficiencia del uso del agua, expresada en kilogramos de biomasa seca total por metro cubico de agua ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

B= Biomasa total seca, expresada en kilogramos por metro cuadrado ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)

ET_c = Evapotranspiración del cultivo, expresada en metros cúbicos por metro cuadrado ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$)

Manejo agronómico del cultivo

El ensayo se condujo durante la campaña 2018-2019. El híbrido utilizado fue el PS 247002 de la empresa Monsanto, por ser el más difundido entre los productores de la región. Las características agronómicas de este híbrido se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Características del híbrido PS 247002 (Asociación Tomate 2000, 2016)

| | |
|--------------------------|---|
| Duración del ciclo | Semiprecoz |
| Habito de crecimiento | Determinado |
| Tamaño de la planta | Medio/grande |
| Rendimiento | Medio/alto |
| Solidos solubles | Alto |
| Tamaño del fruto | Mediano/grande |
| Firmeza de fruto | Mediana |
| Aptitud industrial | Pelado, cubo y pasta |
| Aptitud cosecha mecánica | Aceptable |
| Resistencias | Verticilium dahliae raza 1; Fusarium oxysporum f. Sp Lycopersici raza 1 y 2; Meloidogyne incognita; Alternaria alternata f. Sp. Lycopersici y Tomato spotted wilt virus (peste negra) |

El trasplante se realizó el 26/11/2018 cuando los plantines contaban con 3 hojas verdaderas. El marco de plantación utilizado fue de 0,25 metros entre plantas y 1,40 metros entre líneas.

Dentro de cada lisímetro se trasplantaron 4 plantas con una separación entre plantas de 0,25 metros (Figura 18). 48 horas previas al trasplante, los lisímetros fueron regados y llevados hasta el punto de saturación vaciando posteriormente el agua de drenaje. Esta tarea se realizó para asegurar que, desde el inicio del trasplante, el suelo se encuentre cercano a la capacidad de campo.



Figura 18. Fotografías tomadas a la fecha de trasplante. Fuente: elaboración propia.

A partir del primer día posterior al trasplante el aporte de agua se manejó mediante el uso del sistema de fertiirrigación. La programación del tiempo de riego se controló mediante el uso del programador Hunter® X-core instalado en el cabezal de riego. La programación de cada lisímetro se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Detalle del programa de riego en cada lisímetro.

| LISIMETRO 1 | | LISIMETRO 2 | |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Periodo (días desde el trasplante) | Tiempo de riego (horas) | Periodo (días desde el trasplante) | Tiempo de riego (horas) |
| 1 – 8 | 1,25 | 1 – 8 | 1,25 |
| 9 – 18 | 1,50 | 9 – 18 | 1,50 |
| 19 – 28 | 1,50 | 19 – 28 | 1,50 |
| 29 – 39 | 1,50 | 29 – 39 | 1,50 |
| 40 – 49 | 1,50 | 40 – 49 | 1,50 |
| 50 – 59 | 1,75 | 50 – 59 | 1,75 |
| 60 – 70 | 1,75 | 60 – 70 | 1,75 |
| 71 – 80 | 2,33 | 71 – 80 | 2,33 |
| 81 – 90 | 4,00 | 81 – 90 | 4,00 |
| 91 – 98 | 2,50 | 91 – 98 | 2,50 |
| 99 – 108 | 3,00 | 99 – 108 | 3,00 |
| 109 – 118 | 3,00 | 109 – 118 | 3,00 |
| 119 – 125 | 3,00 | 119 – 129 | 3,00 |
| | | 130 – 139 | 3,00 |

La calidad del agua para riego fue evaluada en dos oportunidades a lo largo del ciclo y arrojo los resultados que se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados del análisis químico de las muestras de agua.

| Fecha del análisis | pH | Conductividad eléctrica (ds.m ⁻¹) |
|--------------------|------|---|
| 09/12/18 | 7,54 | 0,35 |
| 15/02/19 | 7,47 | 0,37 |

Durante el transcurso del cultivo, el mismo se fertilizó siguiendo el esquema recomendado por la Asociación Tomate 2000 (2016). Se utilizó como fuente Ácido Fosfórico, Urea y Poly Feed. Además, se realizaron 2 pulverizaciones foliares con calcio y boro utilizando como fuente AMINOQUELANT® Ca.

Las aplicaciones de los distintos fertilizantes durante el ciclo de cultivo se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Cronograma de fertilización.

| Fecha | Fertilizante | Dosis |
|----------|------------------------|---|
| 15/12/18 | Ácido Fosfórico + Urea | 5 lt.ha ⁻¹ + 150 kg.ha ⁻¹ |
| 04/01/19 | Polyfeed | 8 kg.ha ⁻¹ |
| 11/01/19 | Urea + Polyfeed | 210 kg.ha ⁻¹ + 3 kg.ha ⁻¹ |
| 15/01/19 | Polyfeed | 5 kg.ha ⁻¹ |
| 22/01/19 | Aminoquelant Ca | 3 lt.ha ⁻¹ |
| 30/01/19 | Urea + Polyfeed | 150 kg.ha ⁻¹ + 2,5 kg.ha ⁻¹ |
| 01/02/19 | Aminoquelant Ca | 3 lt.ha ⁻¹ |

Durante la etapa inicial de crecimiento vegetativo, el día 40 posterior al trasplante, se detectó la presencia de bacteriosis sobre el cultivo. Esta enfermedad se la conoce vulgarmente como “mancha bacteriana del tomate” debido al efecto que genera sobre el follaje, tallos y frutos (Figura 19) y es causada por bacterias del genero *Xanthomonas* spp. Se decidió combatir esta enfermedad, de manera tal de limitar el avance de la misma. En la tabla 5 se detallan las fechas, productos y dosis utilizadas para el control químico de trips, polilla del tomate y la bacteriosis.



Figura 19. Detección de síntomas de la bacteriosis. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Esquema de tratamiento fitosanitario.

| Fecha | Producto | Dosis |
|----------|-------------|--|
| 06/01/19 | Kasumin | 30 cm ³ .10lt ⁻¹ |
| 17/01/19 | Kasumin | 30 cm ³ .10lt ⁻¹ |
| 17/01/19 | Clorpirifos | 21 ml.10lt ⁻¹ |
| 12/02/19 | Abamectina | 10 ml.10lt ⁻¹ |
| 29/03/19 | Kasumin | 30 cm ³ .10lt ⁻¹ |

Si bien el cultivo en general respondió de forma positiva al tratamiento realizado con el bactericida, se observó un retraso en el crecimiento, en particular en el lisímetro 2. El día 61 posterior al trasplante una de las plantas del lisímetro 2 fue atacada severamente y tuvo que extraerse del mismo. Esta planta fue reemplazada por otra del lote que se encontraba en buen estado sanitario y del mismo tamaño y estado fenológico que aquellas que se encontraban dentro del lisímetro. Frente a esta situación se planteó continuar con la descripción de

metodología y resultados de los dos lisímetros en este trabajo, con el fin de que sirven para el objetivo de la formación como alumno. Sin embargo, para la discusión y conclusiones se utilizó únicamente la información del Lisímetro 1.

Se realizaron tres desmalezados manuales durante la etapa inicial, específicamente el día 23, 43 y 50 posterior al trasplante. Una vez que la cobertura vegetal del cultivo cerró el surco, ya no fue necesario continuar estas tareas.

El aporte de agua de riego fue suspendido con un criterio agronómico, cuando más de la mitad de las plantas presentaron al menos un 50% de frutos maduros. Este corte anticipado permite acelerar la maduración de aquellos frutos que hayan alcanzado el estado de madurez fisiológica. Además, se tuvo en cuenta la fecha promedio de primera helada para la zona. Por otra parte, debido al avance fenológico diferencial que tuvo el lisímetro 1 respecto al lisímetro 2, este se dejó de regar el día 125 posterior al trasplante. En cambio, el corte de riego sobre el lisímetro 2 se efectuó el día 139 posterior al trasplante.

La cosecha del lisímetro 1 y los sitios muestrales fue realizada de forma manual el día 140 posterior al trasplante, mientras que el lisímetro 2 fue cosechado el día 154 posterior al trasplante. En cada sitio el tamaño de la muestra fue de 4 plantas, las cuales fueron cortadas a ras del suelo de manera manual (Figura 20).



Figura 20. Cosecha manual de una de las plantas del lisímetro 1. Fuente: elaboración propia.

Para la determinación de materia seca, de cada planta se fracciono hoja, tallo y fruto. Cada órgano se pesó por separado en su estado fresco, se tomó una muestra y se colocó a secar en estufa con ventilación forzada a 65°C durante, aproximadamente 15 días, hasta peso constante.

Para la determinación del rendimiento total expresado en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, se pesó y contó el total de los tomates cosechados. Luego los frutos fueron separados según su estado en cuatro categorías: rendimiento comercial en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, el rendimiento de frutos verdes en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, rendimiento de frutos sobremaduros en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y el de frutos de descarte en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

La determinación de sólidos solubles se realizó sobre el jugo de frutos individuales mediante lectura directa con un refractómetro de mano marca ATAGO ATC-1E con rango de medición de 0-32 °Brix. Se tomaron al azar 15 frutos maduros de cada tratamiento y el resultado se expresó como °Brix.

RESULTADOS Y DISCUSION

Calculo de la Evapotranspiración de referencia “ETo” por el método Penman & Monteith (1985)

En la Figura 21 se presenta la evolución diaria de la Evapotranspiración de referencia por el método Penman & Monteith (1985) calculada a través del software Cropwat.

Los valores máximos de ETo diaria fueron de 9 mm.día⁻¹ mientras que los valores mínimos registrados fueron de 2 mm.día⁻¹. Estos valores son coincidentes con los obtenidos por Torreta (2012) en la región durante dos años consecutivos utilizando la misma metodología.

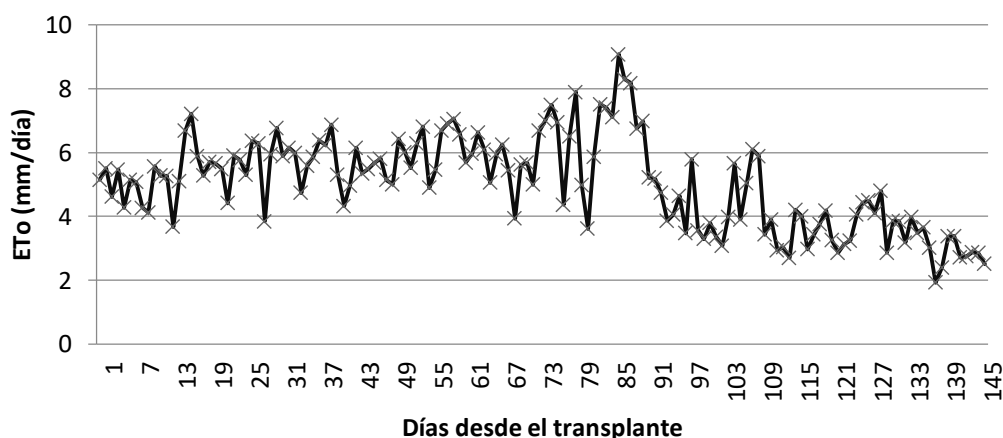


Figura 21. Evolución diaria de la evapotranspiración de referencia.

En la figura 22 se comparan los valores obtenidos de ETo mensual calculados a través del software cropwat para el periodo 2018-2019 utilizando el método Penman & Monteith (1985) con los obtenidos con este mismo software con la serie histórica 1965-1989 (Martín, 2009)

Se puede observar que los valores obtenidos para la serie 2018-2019 son inferiores a los de la serie 1965-1985 en todos los meses evaluados excepto en el mes de diciembre. La serie 2018-2019 totalizo 818 mm en los meses evaluados, mientras que la serie histórica 65-89 presenta un total de 837 mm para el mismo periodo.

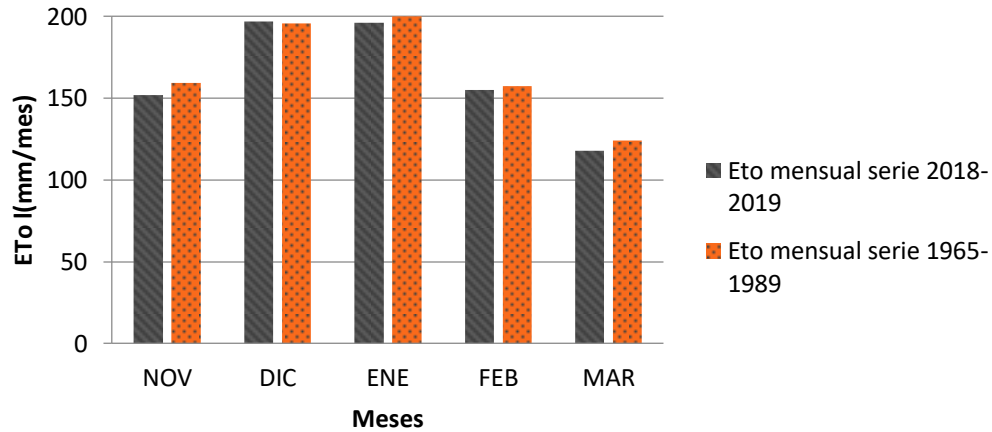


Figura 22. Comparación de ETo para distintas series temporales.

En la Figura 23 se presenta la evolución de las temperaturas máximas (Tmax) y mínimas (Tmin). Además, se grafica la evolución de la evapotranspiración de referencia (ETo). Se puede apreciar cómo la curva de ETo se encuentra influenciada por el comportamiento de la temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin), marcando la relación existente entre ambas variables.

Con respecto a las necesidades fisiológicas del cultivo, se puede observar que en la mayoría de los días las temperaturas estuvieron dentro del rango óptimo de crecimiento de cultivo (10°C - 35°C) (Misle, 2001).

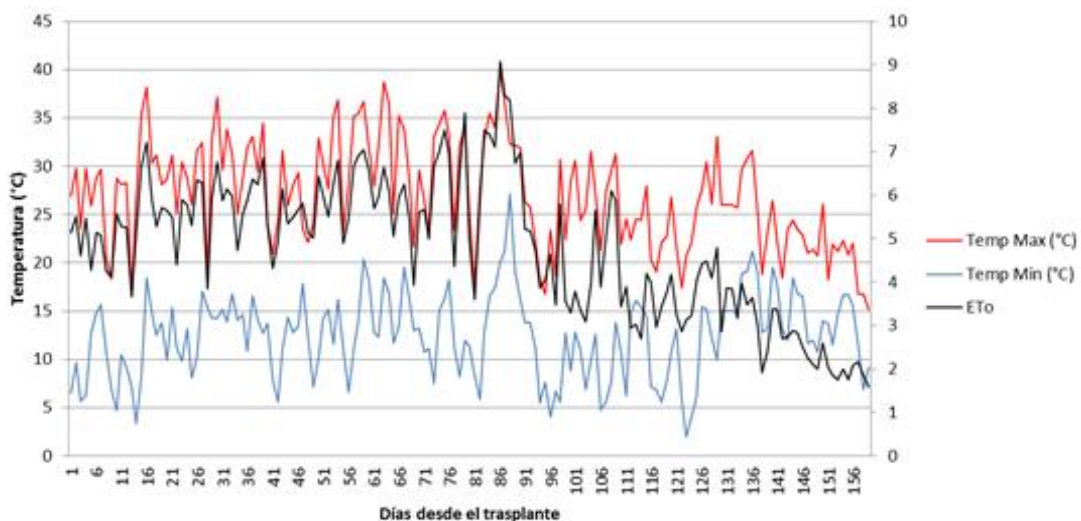


Figura 23. Evolución diaria de las temperaturas máximas, mínimas y la ETo.

A partir del comportamiento observado en la ETo respecto a la temperatura máxima y mínima, se modelizó ETo en función de la Tmax y Tmin mediante un ajuste lineal por mínimos cuadrados ordinarios (Figura 23a y Figura 23b). El grado de ajuste lineal que se puede lograr o “bondad” (R^2), nos puede determinar una herramienta clave de gestión a nivel productor cuando no se dispone de instrumental para medir con precisión los parámetros climáticos a nivel lote. Simplemente al contar con un termómetro de máxima y uno de mínima, podemos registrar la temperatura y estimar la ETo a través de una ecuación matemática que se representa en la gráfica donde la variable independiente es la temperatura máxima. El coeficiente de determinación R^2 determina que aproximadamente el 67% de la variabilidad de ETo se explica por la variabilidad de Tmax, mientras que el 28% de la variabilidad de ETo se explica por la variabilidad de la Tmin. Este resultado implicaría que la temperatura máxima es un determinante importante del nivel de evapotranspiración.

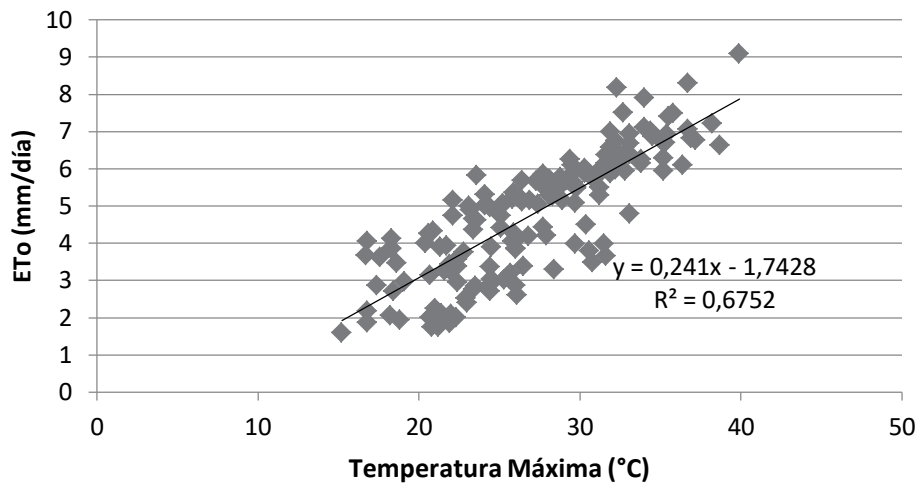


Figura 23a. Regresión lineal entre ETo y Tmax.

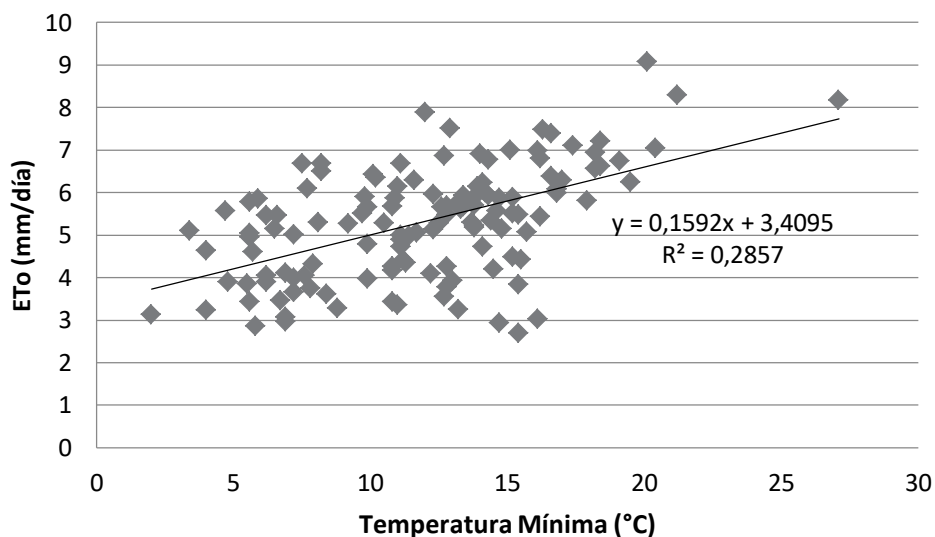


Figura 23b. Regresión lineal entre ETo y Tmín.

Fenología del cultivo

En la tabla 6 se presentan las observaciones fenológicas realizadas sobre el cultivo en lisímetro 1 (LIS1), lisímetro 2 (LIS2) y el sitio muestral (SM), acompañadas con el valor de cobertura que registro cada sitio según el análisis de las fotografías realizado con el software CobCal 2.1.

Tabla 6. Observaciones fenológicas y porcentaje de cobertura.

| DDT (Días) | FECHA | Sitios | | | ETAPA FENOLOGICA |
|---------------|-----------|--------|------|------|---------------------|
| | | LIS1 | LIS2 | SM | |
| 1 | 23-nov-18 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | V |
| 18 | 10-dic-18 | 0,6 | 0,6 | 1,2 | V |
| 36 | 28-dic-18 | 3,8 | 0,8 | 2,4 | V |
| 50 | 11-ene-19 | 6,4 | 3,5 | 10,4 | IF |
| 54 | 15-ene-19 | 14,7 | 7,7 | 20,0 | IF |
| 59 | 20-ene-19 | 30,7 | 15,5 | 25,8 | IF |
| 75 | 05-feb-19 | 54,0 | 42,3 | 47,0 | IC |
| 82 | 12-feb-19 | 63,3 | 62,1 | 61,2 | IC |
| 92 | 22-feb-19 | 76,7 | 64,1 | 67,1 | IC |
| 125 | 27-mar-19 | 82,9 | 75,6 | 83,9 | IM |
| 140 | 11-abr-19 | 74,6 | 68,0 | 75,5 | IM |
| 158 | 29-abr-19 | | 49,3 | | IM |

DDT= Días desde transplante; LIS1= Lisímetro 1; LIS2= Lisímetro 2; SM= Sitio Muestral; V= Vegetativo; IF= Inicio maduración; IC= Inicio cuajado; IM= Inicio maduración;

Evolución de la humedad del suelo

En la Figuras 24_a; 24_b; 24_c y 24_d se presenta la evolución de la humedad del suelo desde el trasplante hasta la cosecha del cultivo para cada uno de los meses del ciclo fenológico respectivamente, a partir de los datos recabados por el sensor de capacitancia Decagon® instalado en el lisímetro 1. Los datos recabados en el lisímetro 2 se presentan en la sección anexo del presente trabajo.

Cada “pico” de la gráfica se corresponde con un aporte de agua, ya sea a través del sistema de riego como las precipitaciones. Se puede observar que, en la mayoría de estos “picos”, los valores de humedad de suelo (%) superaron la capacidad de campo. Por otra parte, si se transita la curva, podemos observar que luego de un aporte de agua, la misma comienza a descender hasta llegar a un mínimo. Este descenso es explicado por el consumo de agua de la planta por evapotranspiración.

Se entiende como “agua útil” a aquella fácilmente aprovechable por las plantas y se obtiene a partir de la diferencia entre el Punto de marchitez permanente (representada en la figuras 24_a; 24_b; 24_c y 25_d con una línea roja) y la capacidad de campo (representada en la figuras 24_a; 24_b; 24_c y 25_d con una línea verde). Para Steduto *et al.*, (2012), las plantas de tomate pueden tolerar niveles de humedad de suelo de hasta el 50% del agua útil (CC-PMP; marcado en la gráfica con una línea discontinua) sin pérdidas significativas del rendimiento, después que se haya completado el desarrollo del área foliar. Al analizar el gráfico, se puede observar que durante el transcurso de todo el ciclo del cultivo, en ningún momento el valor de % de humedad del suelo estuvo por debajo del 30%, lo cual confirma que las plantas dentro del lisímetro no registraron estrés hídrico. Además, la humedad en el suelo se mantuvo constante y próxima a la capacidad de campo, condición necesaria para minimizar el error metodológico en la estimación de la ET_c por lisimetría.

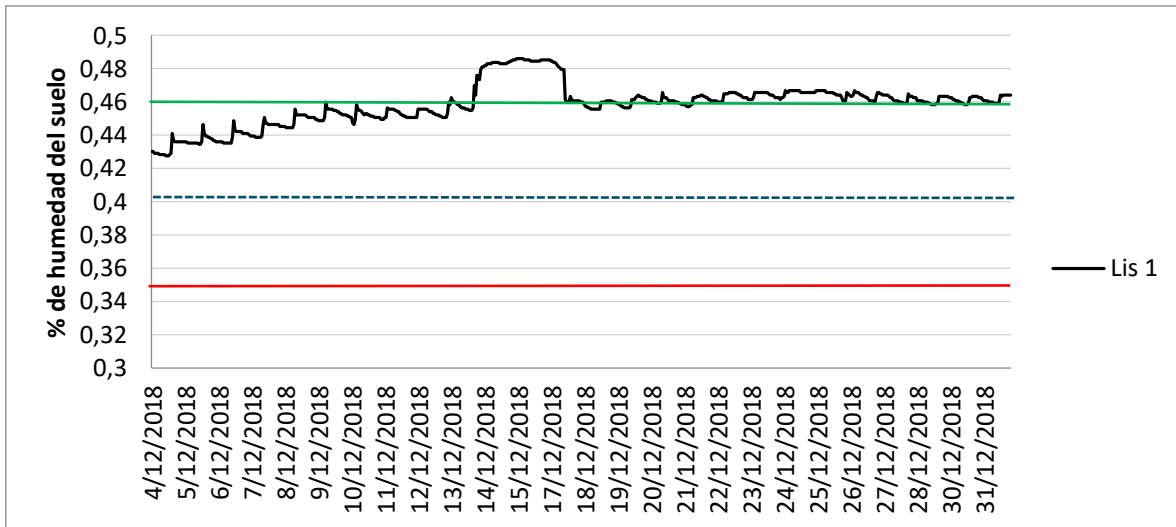


Figura 24a: Evolución de la humedad del suelo para el mes de diciembre.

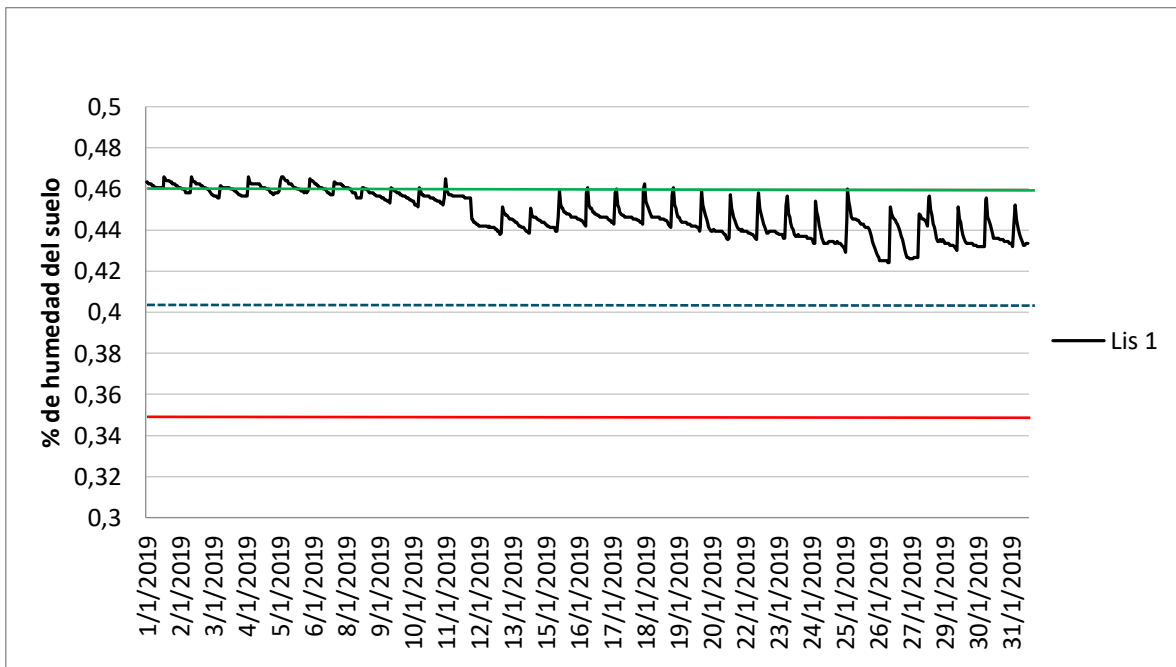


Figura 24b: Evolución de la humedad del suelo para el mes de enero.

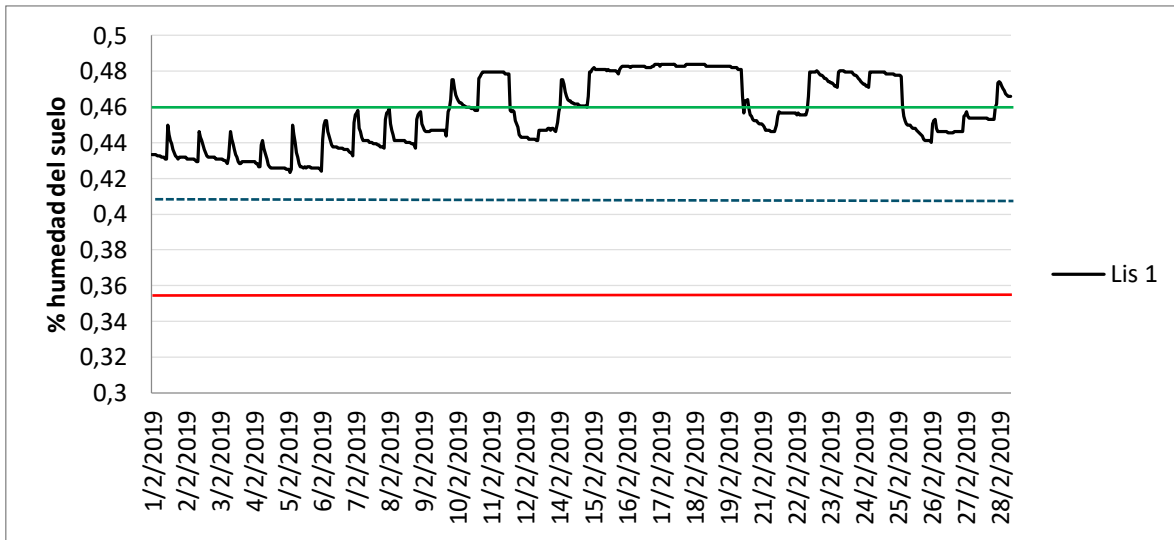


Figura 24_c: Evolución de la humedad del suelo para el mes de febrero.

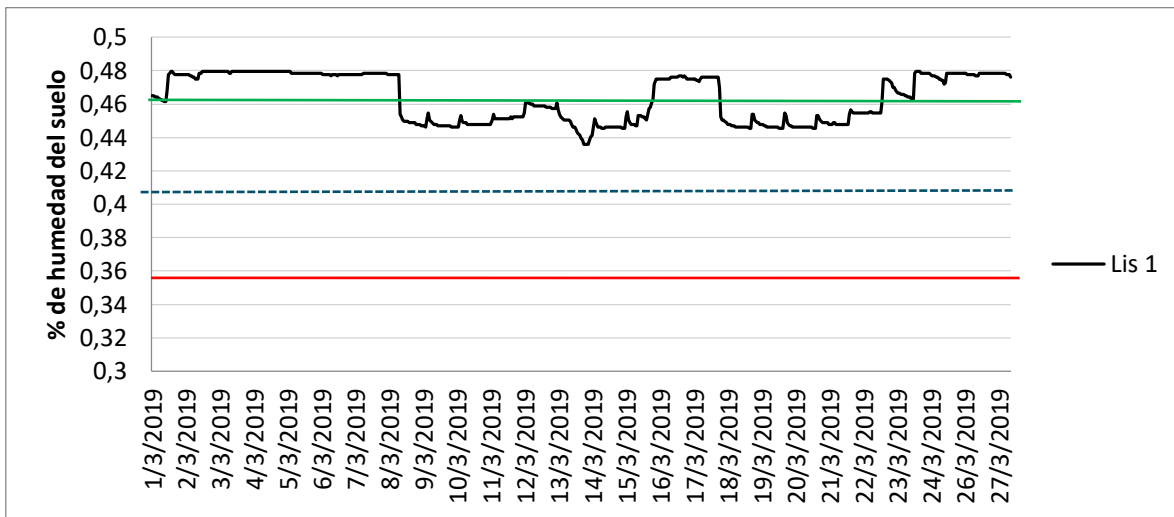


Figura 24_d: Evolución de la humedad del suelo para el mes de marzo.

Evapotranspiración del cultivo

En la tabla 7 se presenta de manera resumida los resultados del balance hídrico realizados con los datos de cada lisímetro. El lisímetro 1 registró un consumo total de 484 mm en todo el ciclo de cultivo, mientras que el lisímetro 2 registró un consumo total de 410 mm.

Durante la fase inicial del cultivo, coincidente con el periodo vegetativo, se encontraron valores promedio de evapotranspiración de 3,84 mm.día⁻¹ y de 2,98 mm.día⁻¹ para el lisímetro 1 y 2 respectivamente.

Durante el transcurso de la fase intermedia de cultivo, se registró el pico máximo de ETc, coincidente con la etapa fenológica de inicio de cuajado, registrando valores de 6,71 mm.día⁻¹ y de 5,64 mm.día⁻¹ para el lisímetro 1 y 2 respectivamente. Estos datos son coincidentes a los señalados por Steduto *et al.*, (2012) quienes reportaron valores máximos de evapotranspiración cultivo de tomate en un rango de 4-7 mm.día⁻¹ durante el máximo periodo de crecimiento del cultivo. Por otra parte, durante esta etapa se registró el porcentaje de cobertura máximos del cultivo, con valores en torno al 80%.

Tabla 7. Tabla resumen. Evapotranspiración de cultivo calculada por balance hídrico.

| N° Periodo extracción | Fechas del periodo | Etc LIS 1 | | Etc LIS 2 | |
|-----------------------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|
| | | (mm/periodo) | (mm promedio/día) | (mm/periodo) | (mm promedio/día) |
| 1 | 23/11/18 al 30/11/18 | 15 | 1,84 | 21 | 2,59 |
| 2 | 01/12/18 al 10/12/18 | 13 | 1,29 | 18 | 1,79 |
| 3 | 11/12/18 al 20/12/18 | 22 | 2,21 | 19 | 1,93 |
| 4 | 21/12/18 al 31/12/18 | 19 | 1,93 | 21 | 1,90 |
| 5 | 01/01/19 al 10/01/19 | 18 | 1,79 | 16 | 1,63 |
| 6 | 11/01/19 al 20/01/19 | 35 | 3,50 | 19 | 1,93 |
| 7 | 21/01/19 al 31/01/19 | 67 | 6,13 | 21 | 1,91 |
| 8 | 01/02/19 al 10/02/19 | 66 | 6,57 | 29 | 2,93 |
| 9 | 11/02/19 al 20/02/19 | 67 | 6,71 | 38 | 3,79 |
| 10 | 21/02/19 al 28/02/19 | 47 | 5,89 | 41 | 5,04 |
| 11 | 01/03/19 al 10/03/19 | 53 | 5,29 | 49 | 4,86 |
| 12 | 11/03/19 al 20/03/19 | 46 | 4,64 | 56 | 5,64 |
| 13 | 21/03/19 al 27/03/19 | 16 | 2,22 | 47 | 4,25 |
| 14 | 28/03/19 al 10/04/19 | | | 15 | 1,48 |
| TOTAL | | 484 | | 410 | |

En la Figura 25 se presentan las curvas de ETc acumuladas a medida que transcurre el ciclo de cultivo. Además se presenta la curva de ETc teórica

programada en el software Cropwat que utiliza los coeficientes bibliográficos propuestos por Allen *et al.*, (2006). Si se compara las curvas descritas por los lisímetros con una curva teórica típica para tomate industria obtenida con datos bibliográficos, podemos distinguir un alargamiento de la etapa media del cultivo. Esto puede ser atribuible a la enfermedad que afectó al cultivo en las etapas iniciales.

Las principales diferencias entre lisímetros se encuentran en la etapa media de cultivo donde el lisímetro 1 adquiere una pendiente mayor que la del lisímetro 2. Esto es coincidente con las observaciones fenológicas y la evolución de la cobertura vegetal observadas en el campo. Por otra parte, cabe destacar que la muerte de una de las plantas en el lisímetro 2 por efecto de la enfermedad es otro factor que puede explicar las diferencias observadas y que debe tenerse en cuenta al analizar los resultados obtenidos. A los fines de valores absolutos de ETc o Kc hace que se considere únicamente el lisímetro 1.

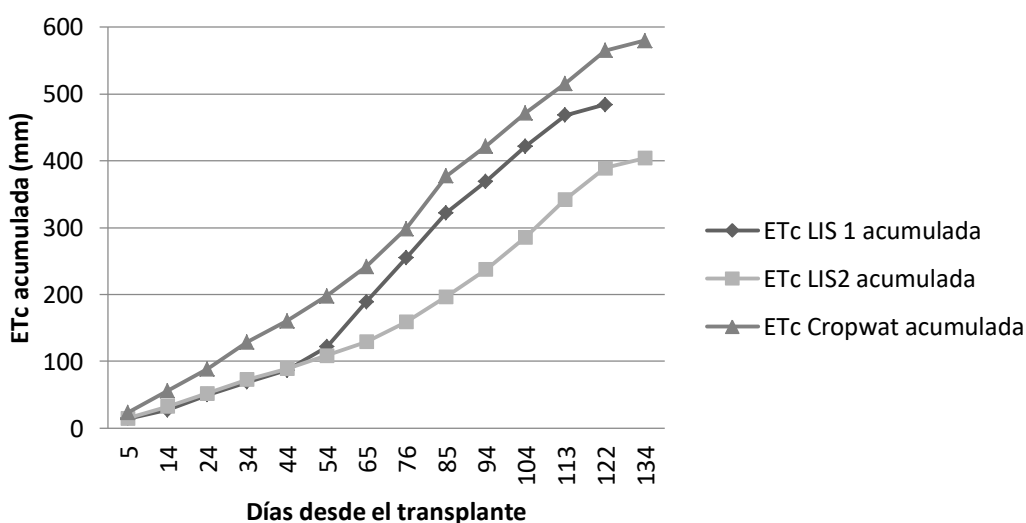


Figura 25. Evolución de la ETc acumulada para cada lisímetro y teórica.

Estos resultados son comparables con los obtenidos por Doorenbos y Kassam (1980), quienes reportaron que las necesidades totales de agua para un cultivo de tomate industria producido a campo se encuentran en el rango de 400 a 600 mm. Asimismo, Mossande, *et al.*, (2015) señalan una evapotranspiración de 432 mm para todo el ciclo del cultivo, valor similar al obtenido en este trabajo.

Por otra parte, los resultados obtenidos son inferiores a los señalados por Hanson y May (2006) y por Rodríguez y Pire (2008), quienes calcularon los requerimientos

hídricos para tomate industrial, obteniendo valores anuales que fluctuaron entre desde 572 hasta 742 mm y desde 512 hasta 613 mm, respectivamente.

Coeficientes de cultivo obtenidos por balance hídrico

En la tabla 8 se presentan los coeficientes de cultivo obtenidos en el lisímetro 1 para cada etapa de cultivo según el criterio tomado por Allen *et al.*, (2006). Además se presentan los valores de Kc bibliográfico que utiliza el software Cropwat para la programación del riego en tomate industria de manera de poder realizar una comparación.

Analizando los valores, se puede comprobar que los valores de Kc tabulados sugeridos por la FAO (Allen *et al*, 2006) se asemejan a los obtenidos en este trabajo para las fases media y final, sin embargo, los valores difieren en la etapa inicial.

Tabla 8. Coeficientes de cultivo según días después del trasplante.

| | DDT | LIS1 | Allen <i>et al.</i> , (2006) |
|------------|-----|------|------------------------------|
| Kc Inicial | 40 | 0,33 | 0,6 |
| Kc Medio | 105 | 1,14 | 1,15 |
| Kc Final | 130 | 0,95 | 0,7 a 0,9 |

Drenaje como porcentaje de la lámina de agua aplicada

En la Figura 26 se presenta la evolución del volumen de agua de drenaje extraído de cada uno de los lisímetros (LIS1 y LIS2) en relación al agua aplicada, durante todos los periodos de extracción que se llevaron a cabo durante el desarrollo del cultivo. Los resultados obtenidos permiten inferir que las plantas ubicadas dentro de los lisímetros siempre tuvieron agua disponible y no sufrieron un estrés hídrico que condicionara su crecimiento y desarrollo.

Para el lisímetro 1, el porcentaje de agua de drenaje en relación al agua aplicada varió entre el 10% y 78%, obteniéndose como promedio un valor de 55%. Para el lisímetro 2, los valores fluctuaron entre el 41% y 77%, obteniéndose como promedio un valor de 65%.

Si analizamos el periodo de extracción número 7 en el lisímetro 1, se obtuvo un volumen de agua de drenaje equivalente al 10% del agua aplicada para ese periodo, registrando el valor mínimo. Luego de este evento se elevó el tiempo de riego, de lo contrario se observaría un déficit de agua en el periodo subsiguiente.

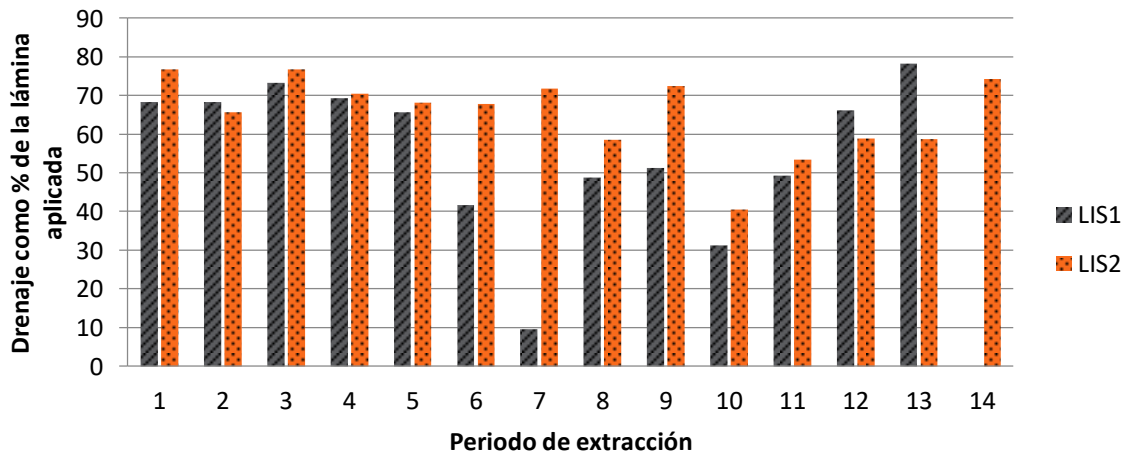


Figura 26. Obtención de drenaje expresada como % de la lámina de agua aplicada para cada lisímetro.

Evolución de la cobertura vegetal

En la Figura 27 se presenta la evolución de la cobertura a lo largo del ciclo de cultivo para cada uno de los lisímetros (LIS1 y LIS2) y el promedio de los 3 sitios muestrales (SM) fuera de los lisímetros analizada mediante CobCal 2.1 a partir de fotos tomadas en el campo. Además, en la gráfica se detalla cada etapa del ciclo fenológico de acuerdo a las observaciones fenológicas realizadas en el lote.

Se puede observar que el cultivo logró valores de cobertura máxima en torno al 80%. Estos valores coinciden con los observados por Campillo *et al.*, (2008) para el cultivo de tomate industria.

Por otra parte, si analizamos la Figura 27, se observa que la etapa de floración en donde la pendiente de la curva cambia bruscamente (desde el día 50 hasta el 70 posterior al trasplante), coincide con el aumento en el consumo de agua del cultivo observado en la evolución de la Etc acumulada (Figura 25). Esto puede confirmar que durante esta etapa, los requerimientos del cultivo aumentan y se vuelve más susceptible a la falta de agua, afectado directamente a la cantidad de frutos cuajados y teniendo su impacto sobre el rendimiento. Durante la etapa de cuajado, la pendiente se “relaja” hecho que también se refleja en el análisis del comportamiento de la ETc acumulada (Figura 25).

Al igual que lo observado en la evolución de la ETc (Fig. 25), se observa que el lisímetro 1 (LIS1) registra valores de cobertura más altos que los alcanzados por el lisímetro 2 (LIS2). Esto puede ser atribuible a la mayor severidad de la enfermedad (“mancha bacteriana”) que sufrieron las plantas del lisímetro 2 y, a su vez, al remplazo de una de las plantas dentro del mismo.

En lo que respecta a la evolución de la cobertura de los sitios muestrales (SM), se puede apreciar un comportamiento similar a lo observado en el lisímetro 1. Este resultado, junto a los obtenidos por los sensores de humedad, nos permite confirmar que el comportamiento del cultivo fuera de los lisímetros fue similar observado dentro del lisímetro 1.

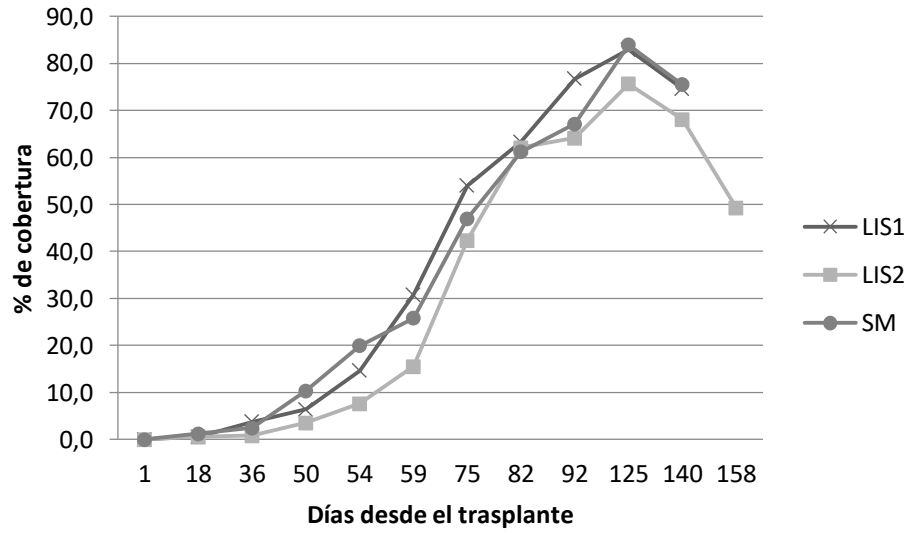


Figura 27. Evolución de la cobertura vegetal analizado mediante CobCal y etapas fenológicas para cada uno de los lisímetros (LIS1, LIS2) y los sitios muestrales (SM).

Por otra parte, en la figura 28 se presentan la correlación lineal entre los datos obtenidos de cobertura vegetal y la evapotranspiración de cultivo (ETc) para el lisímetro 1. El valor obtenido de ajuste cuadrado o “bondad” (R^2) fue de 0,91. Este valor de ajuste confirma la relación existente entre el la cobertura del cultivo y la demanda hídrica del mismo.

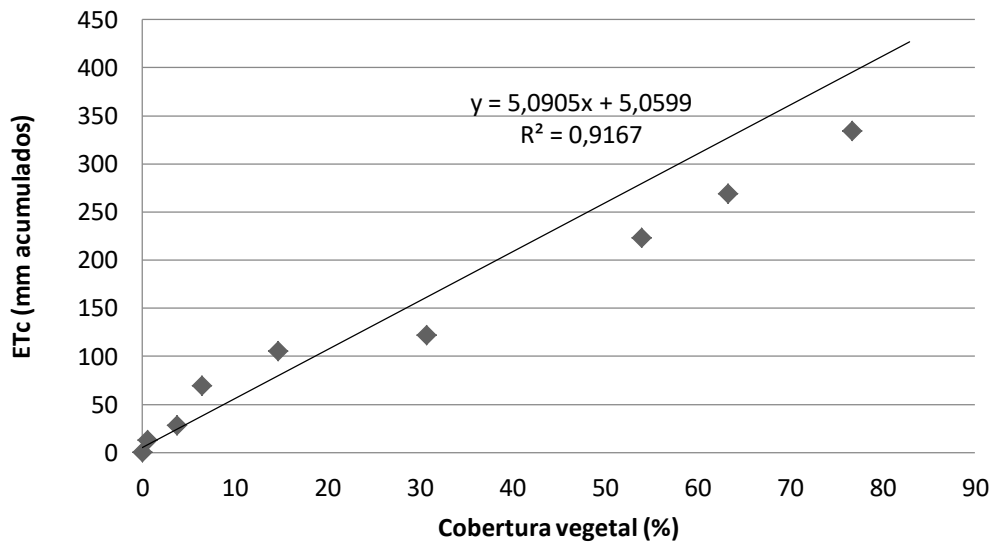


Figura 28. Relación lineal entre ETc y cobertura vegetal para el lisímetro 1.

Evolución de la humedad del suelo registrada a través de la sonda de capacitancia fuera de los lisímetros

En la Figura 29 se presenta la evolución de los registros de humedad de suelo determinado con la sonda de capacitancia Diviner 2000 en los diferentes estratos del perfil del suelo. Estas sondas, se encontraban instaladas fuera de los lisímetros, por lo cual sirven de herramienta para validar que el comportamiento del cultivo fuera de estas áreas fue representativo. Analizando esta figura podemos ver que los cambios más importantes de humedad del perfil se dan en los primeros estratos hasta los 30 centímetros, profundidad a la cual se encuentra el mayor volumen de raíces del cultivo. Por el contrario, en los estratos más profundos la humedad se mantuvo siempre en torno al 50%.

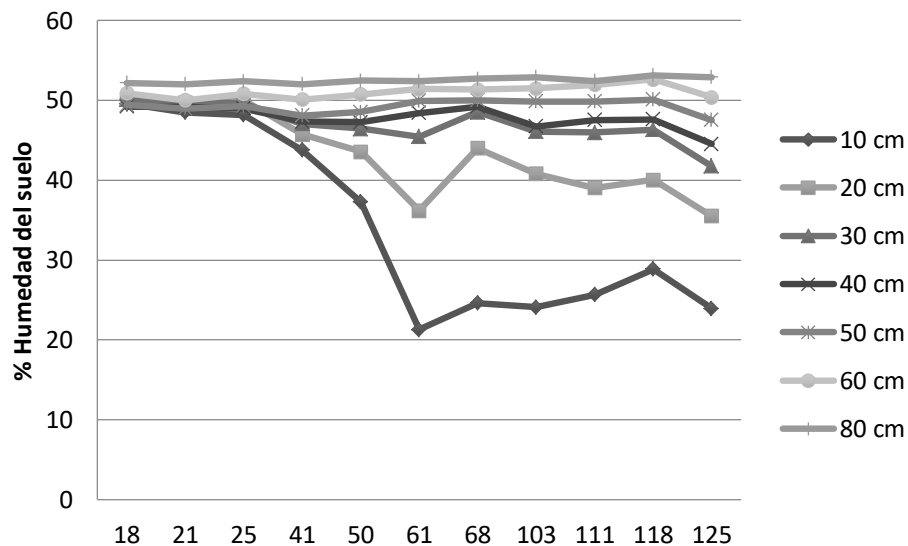


Figura 29. Evolución de la humedad del suelo por estratos registrada por la sonda FDR Diviner 2000 sobre la línea de cultivo fuera de los lisímetros.

En la Figura 30 se puede ver que a medida que nos alejamos de la línea de cultivo, si bien los cambios de humedad importantes se dan en los mismos estratos de profundidad del perfil, el porcentaje de humedad de suelo alcanza valores inferiores, por debajo del 20%. Esto puede explicarse porque a medida que nos alejamos de la línea de cultivo, también se separa de los goteros y del bulbo húmedo, hecho que se refleja en el contenido de humedad registrado.

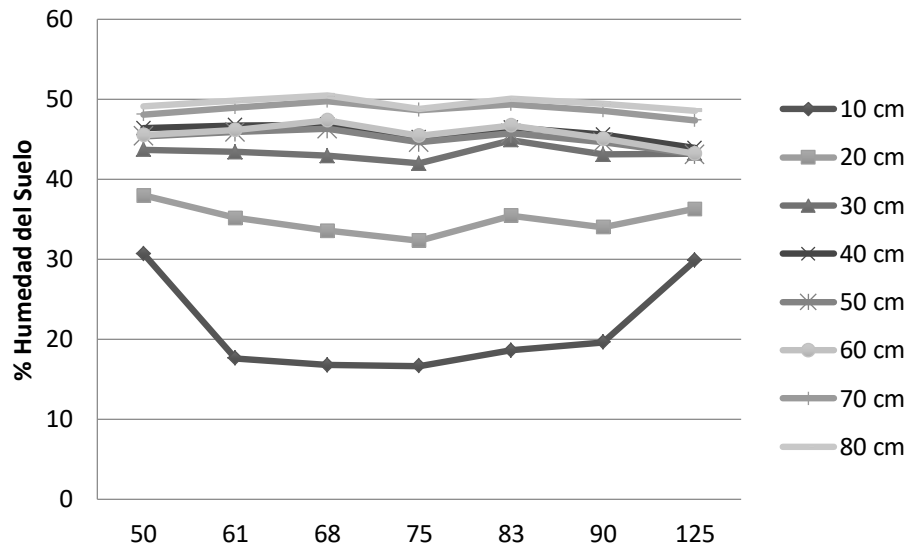


Figura 30. Evolución de la humedad del suelo por estratos registrada por la sonda FDR Diviner 2000 a 10 centímetros de la línea de cultivo fuera de los lisímetros.

Rendimiento, calidad y eficiencia en el uso del agua

En la Figura 31 se presentan los rendimientos obtenidos en cada lisímetro y el promedio de los sitios muestrales fuera de los lisímetros. El rendimiento comercial obtenido en el lisímetro 1 y en los sitios muestrales supera el valor del promedio nacional, que en 2019 fue de 77 tn.ha⁻¹ (Asociación Tomate 2000). El lisímetro 2, al igual que lo observado en el consumo hídrico y la evolución de la cobertura, se vio afectado por la enfermedad que repercutió en el rendimiento comercial, ya que registró un valor de 34 tn.ha⁻¹.

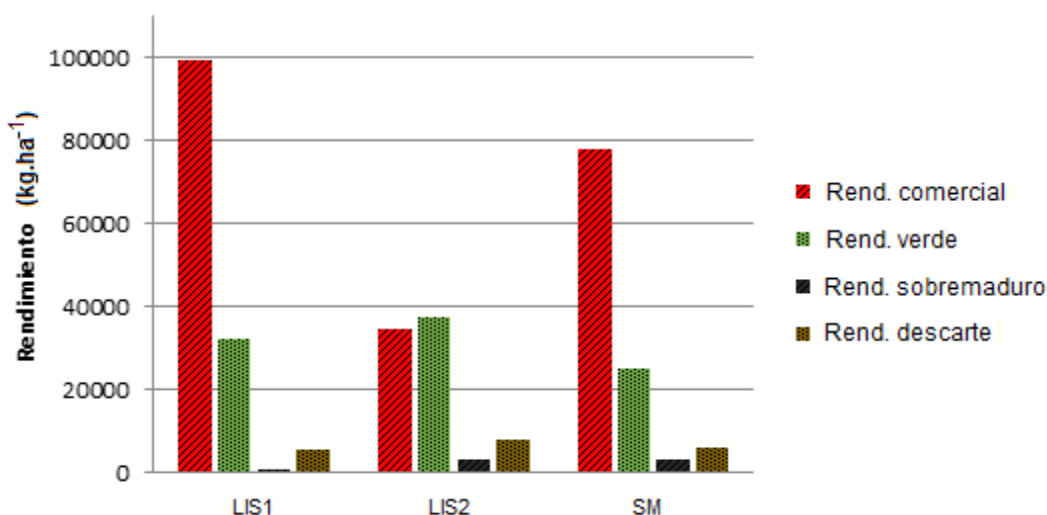


Figura 31. Rendimientos obtenidos en cada lisímetro (LIS1, LIS2) y promedio de los sitios muestrales (SM).

En la figura 31a y 31b se muestran las distintas categorías que componen el rendimiento total para los frutos cosechados dentro de los distintos lisímetros. Al analizar la misma, se observa que en el lisímetro 1, el porcentaje de rendimiento comercial es del 73%; el porcentaje de rendimiento verde es de 23% y el porcentaje de descarte de 4%. Al comparar estos valores con los obtenidos en el lisímetro 2, se destaca un mayor porcentaje de frutos de descarte (9%) y de rendimiento verde (45%), obteniéndose un menor valor de rendimiento comercial (42%). Los resultados se explican a través de la presencia de bacteriosis en el cultivo del lisímetro 2 y muerte de una de las plantas, provocando un retraso en el desarrollo general del cultivo, frutos de menor tamaño y sin la madurez adecuada en cosecha.

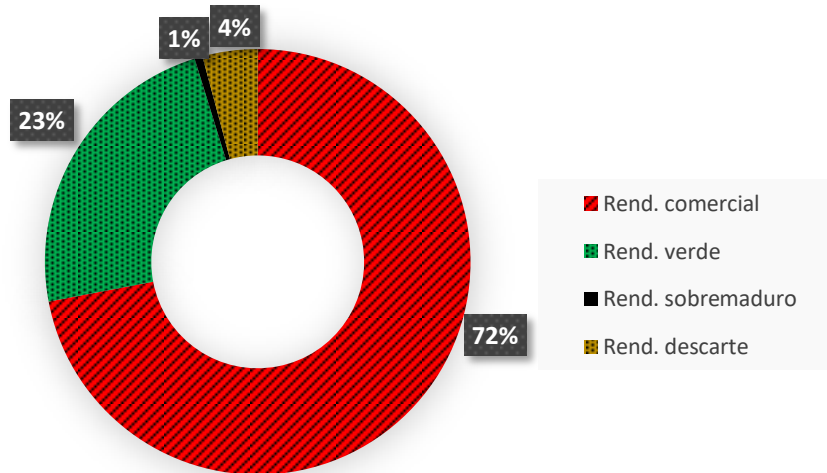


Figura 31_a. Clasificación del rendimiento expresado en % para el lisímetro 1.

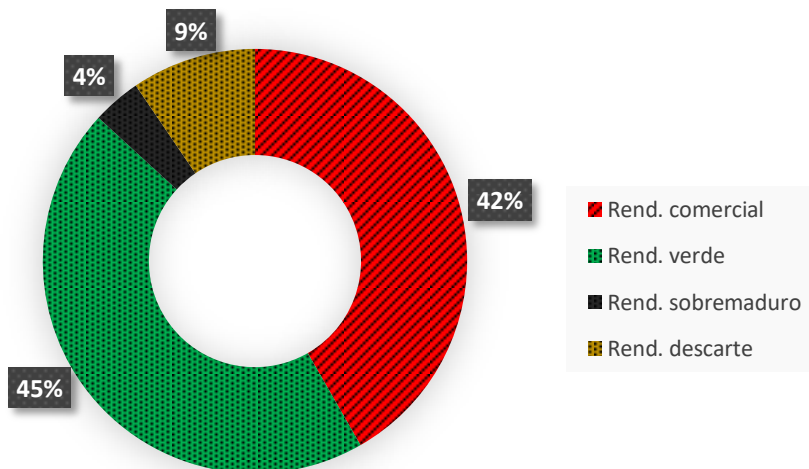


Figura 31_b. Clasificación del rendimiento expresado en % para el lisímetro 2.

En la tabla 9 se presentan los valores promedio de sólidos solubles en el fruto para cada sitio evaluado. En cuanto a la calidad del fruto, todos los sitios evaluados registraron sólidos solubles dentro del rango mínimo aceptado por la industria (Escaff *et al.*, 2005). Si bien el rendimiento comercial del lisímetro 2 se vio afectado por el desarrollo de la enfermedad, no se observa el mismo comportamiento al analizar la calidad de los frutos obtenidos.

Tabla 9. Tabla resumen. Sólidos solubles registrados en frutos.

| Sitio | Grados Brix |
|----------------------------|-------------|
| Lisímetro 1 | 5,8 |
| Lisímetro 2 | 5,1 |
| Promedio sitios muestrales | 5,5 |

En la tabla 10 se presenta la eficiencia del uso de agua en calculada para los lisímetros y el promedio de los 3 sitios muestrales. Para el lisímetro 1, se encontró que la EUA fue de 2,72 kg MS total.m⁻³, mientras que para el lisímetro 2 el valor obtenido fue de 2,02 kg MS total.m⁻³

Tabla 10. Eficiencia del uso del agua.

| Sitio | MS Área (tallo+hoja) (kg.m ⁻²) | MS Fruto (kg.m ⁻²) | MS Total (kg.m ⁻²) | ET _c (m ³ .m ⁻²) | EUA (kg MS Total.m ⁻³) |
|-------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|
| Lisímetro 1 | 0,65 | 0,69 | 1,32 | 0,484 | 2,72 |
| Lisímetro 2 | 0,42 | 0,41 | 0,83 | 0,410 | 2,02 |
| Sitios muestrales | 0,51 | 0,56 | 1,07 | 0,484 | 2,21 |

Estos datos concuerdan con los reportados por Battilani (2006), quien estableció que la EUA del cultivo de tomate expresada como biomasa aérea seca total en relación al volumen de agua evapotranspirado, expresado en metros cúbicos, oscila entre 1,3 a 3,5 kg.m⁻³, siendo 3 kg.m⁻³ un valor considerado estándar para condiciones y practicas favorables para el cultivo de tomate.

CONCLUSIONES

La cantidad de agua evapotranspirada por el cultivo de tomate industria cv. PS 2407002 en el Valle Inferior del Río Negro durante la campaña 2018/2019 fue de 484 mm con un rendimiento comercial cercano a 100 tn.ha⁻¹

Con respecto a los valores de ETc promedios, mínimos y máximos, los mismos estuvieron acordes a las etapas fenológicas del cultivo. En tal sentido, se encontró que la etapa vegetativa tuvo una duración de 36 días posteriores al transplante. Durante esa etapa, los valores de evapotranspiración promedio fueron 3,84 mm.día⁻¹ y 2,98 mm.día⁻¹. La fase intermedia se produjo entre los 50 y 59 días posteriores al transplante y el inicio de cuajado se produjo entre los 75 y 92 días posteriores al transplante. Durante esas etapas los valores de evapotranspiración promedio fueron de 6,71 mm.día⁻¹ y 5,64 mm.día⁻¹. Finalmente, la maduración comenzó entre los 125 y 158 días posteriores al transplante.

Con respecto al porcentaje de cobertura vegetal, se verificaron valores de cobertura máxima en torno al 80%. Se observó que durante la etapa de floración los requerimientos hídricos del cultivo aumentan, volviéndose más susceptible a la falta de agua, lo que afecta directamente a la cantidad de frutos cuajados y, en definitiva, al rendimiento. En efecto se verificó una relación lineal entre la cobertura del cultivo y la demanda hídrica del mismo.

Los valores de Kc de cultivo obtenidos fueron de 0,33 para el Kc Inicial, 1,14 para el Kc Medio y 0,95 para el Kc Final, valores comparables con los indicados por FAO.

Con respecto a la eficiencia en el uso del agua, se encontró que la EUA fue de 2,72 kg MS total.m⁻³ para el lisímetro 1. Estos resultados concuerdan con los reportados por la literatura que considera 3 kg.m⁻³ un valor estándar para condiciones y prácticas favorables para el cultivo de tomate.

Los resultados presentados surgieron de un experimento en el que se controlaron distintos factores que pueden influir en ellos. En primer lugar, se constató que las temperaturas diarias se encontraran en el rango óptimo del cultivo (10°C - 35°C). En segundo lugar, se controló que las plantas no sufrieran estrés hídrico verificándose que la humedad en el suelo se mantuviera constante y próxima a la capacidad de campo, condición necesaria para minimizar el error metodológico en la estimación de la ETc por lisimetría. Por último, se verificó que el comportamiento del cultivo fuera representativo de otras áreas fuera de la línea de cultivo.

Una limitación en este análisis surge de la enfermedad que atacó al cultivo en su etapa inicial de desarrollo. Esto puede estar explicando la diferencia encontrada entre la curva que describen los lisímetros y la curva teórica típica para el tomate industria (se habría producido un alargamiento de la etapa media del cultivo). En particular, el rendimiento comercial obtenido en el lisímetro 1 y en los sitios muestrales superó el valor del promedio nacional de 77 tn.ha^{-1} . Sin embargo, la enfermedad que atacó al cultivo no parece haber afectado sustancialmente la calidad del fruto, pues en todos los sitios evaluados el valor registrado de sólidos solubles estuvo dentro del rango mínimo aceptado por la industria.

Pese a las limitantes antes descritas, la utilización del lisímetro de drenaje para determinar la evapotranspiración del cultivo de tomate industria demostró ser una técnica útil y posible de ser aplicada. Se debería continuar trabajando con esta línea de investigación para lograr un ajuste del método que permita calcular el K_c de los principales cultivos de la región.

ANEXOS

Calculo de la Evapotranspiración de referencia (ETo) para la serie 2019-2022 por el método Penman & Monteith (1985)

| Fecha | ETo | Fecha | ETo | Fecha | ETo | Fecha | ETo | Fecha | ETo |
|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | (mm/día) | | (mm/día) | | (mm/día) | | (mm/día) | | (mm/día) |
| 01-nov-18 | 3,8 | 01-dic-18 | 4,4 | 01-ene-19 | 5,4 | 01-feb-19 | 5,7 | 01-mar-19 | 3,5 |
| 02-nov-18 | 2,6 | 02-dic-18 | 6,2 | 02-ene-19 | 4,7 | 02-feb-19 | 4,8 | 02-mar-19 | 4,7 |
| 03-nov-18 | 4,8 | 03-dic-18 | 6 | 03-ene-19 | 5,6 | 03-feb-19 | 6,5 | 03-mar-19 | 5,3 |
| 04-nov-18 | 6,2 | 04-dic-18 | 6 | 04-ene-19 | 7 | 04-feb-19 | 6,8 | 04-mar-19 | 4,2 |
| 05-nov-18 | 5,4 | 05-dic-18 | 3,6 | 05-ene-19 | 5,6 | 05-feb-19 | 7,1 | 05-mar-19 | 4,4 |
| 06-nov-18 | 4,7 | 06-dic-18 | 5,7 | 06-ene-19 | 6,3 | 06-feb-19 | 6,7 | 06-mar-19 | 5,9 |
| 07-nov-18 | 5,9 | 07-dic-18 | 7,6 | 07-ene-19 | 6,5 | 07-feb-19 | 4,5 | 07-mar-19 | 4,9 |
| 08-nov-18 | 4,6 | 08-dic-18 | 8,3 | 08-ene-19 | 5,2 | 08-feb-19 | 6,2 | 08-mar-19 | 3,7 |
| 09-nov-18 | 4,9 | 09-dic-18 | 6,8 | 09-ene-19 | 5,1 | 09-feb-19 | 6,9 | 09-mar-19 | 4,6 |
| 10-nov-18 | 4,4 | 10-dic-18 | 6,2 | 10-ene-19 | 5,6 | 10-feb-19 | 4,9 | 10-mar-19 | 5,2 |
| 11-nov-18 | 2,9 | 11-dic-18 | 6,4 | 11-ene-19 | 7,3 | 11-feb-19 | 3,4 | 11-mar-19 | 5,2 |
| 12-nov-18 | 1,9 | 12-dic-18 | 6,4 | 12-ene-19 | 6,8 | 12-feb-19 | 5,5 | 12-mar-19 | 3,2 |
| 13-nov-18 | 2,8 | 13-dic-18 | 6,5 | 13-ene-19 | 5,9 | 13-feb-19 | 6,6 | 13-mar-19 | 3,8 |
| 14-nov-18 | 5,7 | 14-dic-18 | 5 | 14-ene-19 | 7,2 | 14-feb-19 | 6,8 | 14-mar-19 | 2,7 |
| 15-nov-18 | 4,3 | 15-dic-18 | 6,7 | 15-ene-19 | 7,8 | 15-feb-19 | 6,5 | 15-mar-19 | 2,8 |
| 16-nov-18 | 5,4 | 16-dic-18 | 6,6 | 16-ene-19 | 5,2 | 16-feb-19 | 7,7 | 16-mar-19 | 2,7 |
| 17-nov-18 | 4,5 | 17-dic-18 | 6 | 17-ene-19 | 6,1 | 17-feb-19 | 7,2 | 17-mar-19 | 3,9 |
| 18-nov-18 | 5,5 | 18-dic-18 | 7,2 | 18-ene-19 | 7,5 | 18-feb-19 | 5,5 | 18-mar-19 | 3,5 |
| 19-nov-18 | 6,8 | 19-dic-18 | 7,2 | 19-ene-19 | 7,8 | 19-feb-19 | 5,9 | 19-mar-19 | 2,8 |
| 20-nov-18 | 7,3 | 20-dic-18 | 2,8 | 20-ene-19 | 8 | 20-feb-19 | 6,2 | 20-mar-19 | 3,3 |
| 21-nov-18 | 7,5 | 21-dic-18 | 6,9 | 21-ene-19 | 7,1 | 21-feb-19 | 4,8 | 21-mar-19 | 3,4 |
| 22-nov-18 | 5,3 | 22-dic-18 | 7,8 | 22-ene-19 | 6,3 | 22-feb-19 | 4,6 | 22-mar-19 | 3,8 |
| 23-nov-18 | 5,9 | 23-dic-18 | 6,6 | 23-ene-19 | 6,7 | 23-feb-19 | 4,1 | 23-mar-19 | 2,8 |
| 24-nov-18 | 6,4 | 24-dic-18 | 7,1 | 24-ene-19 | 7,6 | 24-feb-19 | 3,6 | 24-mar-19 | 2,6 |
| 25-nov-18 | 5,3 | 25-dic-18 | 6,8 | 25-ene-19 | 7 | 25-feb-19 | 3,4 | 25-mar-19 | 2,9 |
| 26-nov-18 | 6,3 | 26-dic-18 | 4,9 | 26-ene-19 | 5,5 | 26-feb-19 | 4,3 | 26-mar-19 | 3 |
| 27-nov-18 | 4,9 | 27-dic-18 | 6,3 | 27-ene-19 | 6,8 | 27-feb-19 | 3,3 | 27-mar-19 | 3,6 |
| 28-nov-18 | 5,9 | 28-dic-18 | 6,7 | 28-ene-19 | 6,9 | 28-feb-19 | 5,3 | 28-mar-19 | 3,7 |
| 29-nov-18 | 5,9 | 29-dic-18 | 7,3 | 29-ene-19 | 5,8 | | | 29-mar-19 | 4 |
| 30-nov-18 | 4,4 | 30-dic-18 | 7 | 30-ene-19 | 3,7 | | | 30-mar-19 | 3,5 |
| | | 31-dic-18 | 7,8 | 31-ene-19 | 6,3 | | | 31-mar-19 | 4,2 |

Datos obtenidos a partir del método método Penman & Monteith (1985) con datos climáticos recabados por la estación Davis de la EEAVI.

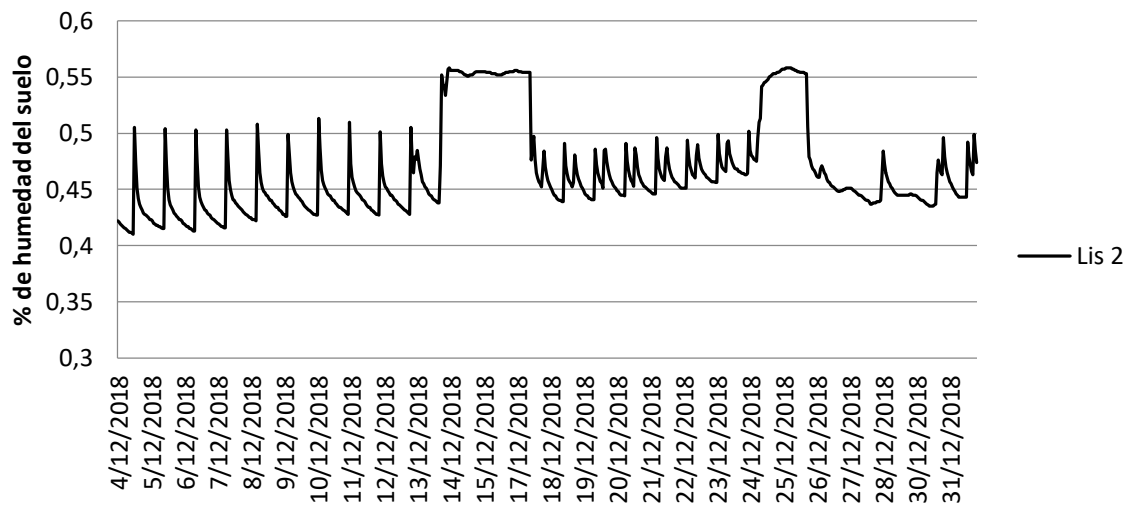
Calculo de la Evapotranspiración de referencia (ET_o) por el método Penman & Monteith (1985) con datos serie histórica 1965-1989 (Martín, 2009)

País: Argentina
 Altitud: 10 m.

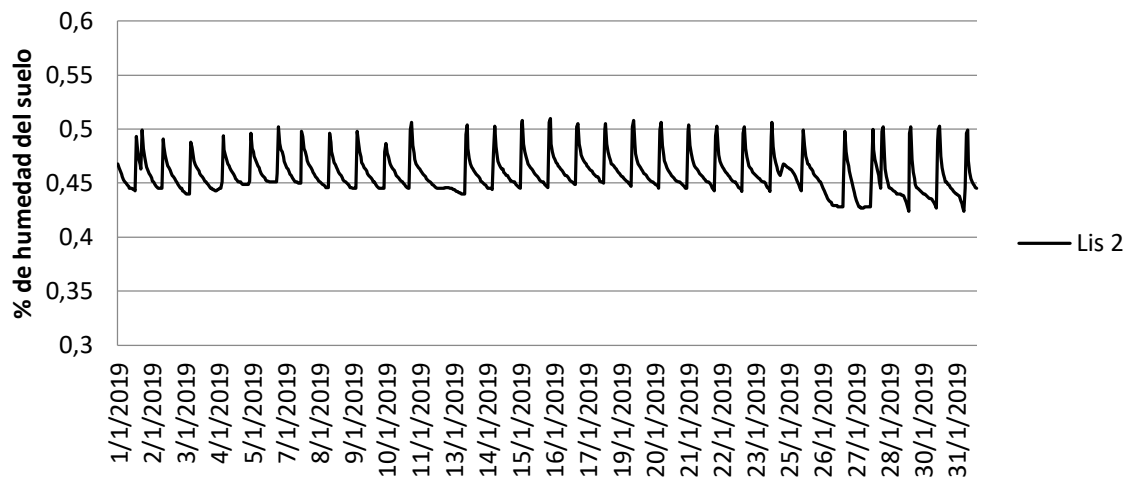
Estación: EEA Valle Inferior
 Latitud: 40.50 °S Longitud: 63.00 °W

| Mes | Temp Min °C | Temp Max °C | Humedad % | Viento km/día | Insolación horas | Rad MJ/m ² /día | ET _o mm/mes |
|------------|----------------|----------------|--------------|------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Enero | 14.0 | 28.8 | 57 | 336 | 10.0 | 25.6 | 200.36 |
| Febrero | 13.5 | 27.8 | 60 | 312 | 9.5 | 22.8 | 157.43 |
| Marzo | 11.6 | 25.0 | 66 | 264 | 8.1 | 17.6 | 124.29 |
| Abril | 7.8 | 20.8 | 69 | 240 | 6.9 | 12.4 | 78.40 |
| Mayo | 5.0 | 16.3 | 75 | 240 | 5.2 | 8.0 | 48.08 |
| Junio | 2.7 | 13.0 | 78 | 264 | 4.3 | 6.1 | 33.70 |
| Julio | 2.2 | 13.0 | 75 | 264 | 4.6 | 6.9 | 38.65 |
| Agosto | 2.5 | 15.2 | 68 | 288 | 6.0 | 10.3 | 61.11 |
| Septiembre | 4.5 | 17.8 | 64 | 312 | 6.9 | 14.7 | 87.51 |
| Octubre | 7.3 | 21.1 | 62 | 312 | 8.1 | 19.7 | 124.38 |
| Noviembre | 10.3 | 24.7 | 58 | 312 | 9.3 | 24.0 | 159.32 |
| Diciembre | 12.8 | 27.2 | 55 | 336 | 9.9 | 25.9 | 195.65 |
| Promedio | 7.8 | 20.9 | 66 | 290 | 7.4 | 16.2 | 1308.88 |

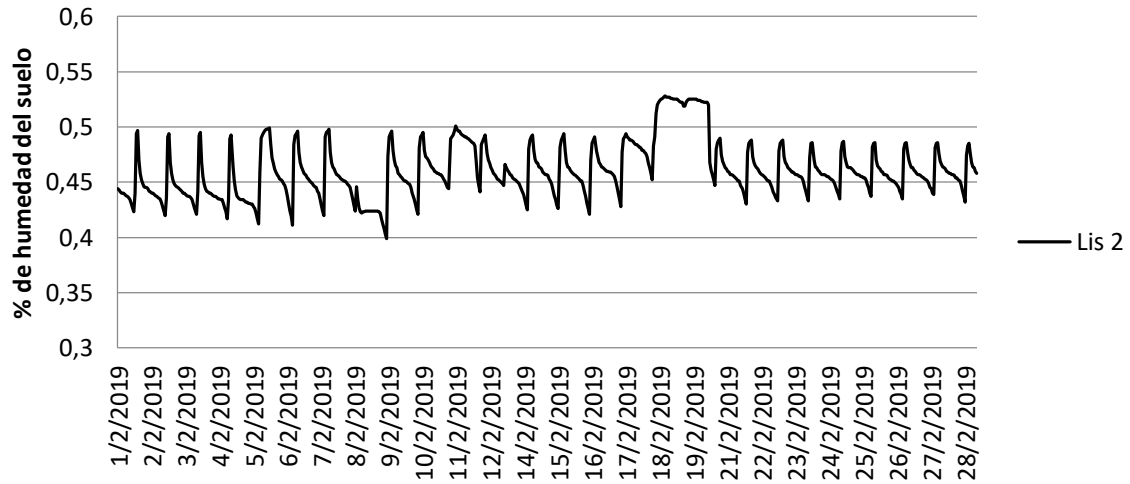
Evolución humedad del suelo Lisímetro 2



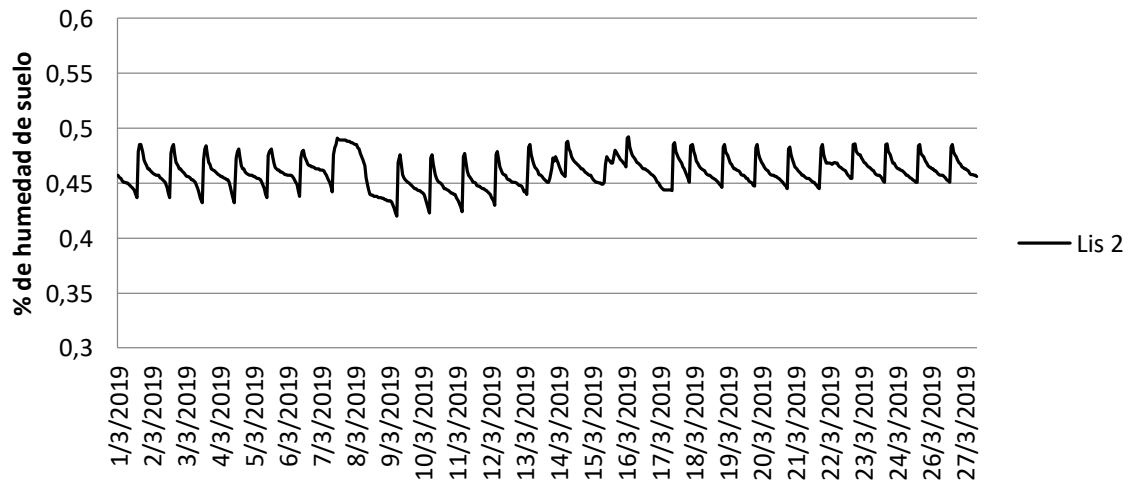
Evolución de la humedad del suelo en el lisímetro 2 para el mes de Diciembre.



Evolución de la humedad del suelo en el lisímetro 2 para el mes de Enero.



Evolución de la humedad del suelo en el lisímetro 2 para el mes de Febrero.



Evolución de la humedad del suelo en el lisímetro 2 para el mes de Marzo.

BIBLIOGRAFIA

ABOUKHALED, A.A., ALFARO, A. Y SMITH, M. (1981). Los lisímetros. FAO. Paper 39. Roma. 68p

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S. (2009). Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrig. Sci.* 28 (1), 17-34.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. Y SMITH, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. Cuaderno N° 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. Y SMITH, M. (1998). Crop evapotranspiration —guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.

ALVA A.K, FARES A. (1999). New techniques for continuous monitoring of soil moisture content to improve citrus irrigation. Proceedings of the Florida State Horticulture Society FSHS, St Petersburg. FL.

ANDRIANI, J. M., OLIVEROS, I. E., & FE, S. (2016). Lo que hay que saber del consumo de agua de los cultivos. Para mejorar la producción. INTA EEA Oliveros, (50), 100.

ARGERICH, C.; LORENZO, M.; NAVARRO, P. (2006). Evaluación de diferentes densidades de plantación con dos variedades: NUM 6011 y HYPEEL 696 en riego por goteo en cuanto a la producción del cultivo de tomate para industria. Asociación Tomate 2000. Campañas 2006 - 2007.

ARGERICH, C. (2006). Seminario Internacional de Producción de Tomate para Procesamiento. Autor: Saavedra; Gonzalez.

ARGERICH, C. A., AQUINDO, N. S., & NAVARRO, A. P. (2012). Evaluación del momento oportuno de cosecha en el cultivo de tomate para industria.

ARGERICH, C.A Y TROILO, L. (2010). Manual de buenas prácticas agrícolas en la cadena de tomate. Ed. MINAGRI, FAO y INTA. 264 pp.

AUNG, L. H. (1976). Effect of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive response of *Lycopersicon esculentum* Mill. J. Am. Soc. Hort. Sci., 101: 358 - 3

BATTILANI, A. (2006). Water and nitrogen use efficiency, dry matter accumulation and nitrogen uptake in fertigated processing tomato. IX ISHS Symposium on Processing Tomato, Melbourne, nov. 15 -18 de 2004. Acta Horticulturae, 724:67:74.

BLASCO, J., ALEIXOS, N., ROGER, J., RABATEL, G., MOLTO, E. (2002). AE–Automation and Emerging Technologies: robotic weed control using machine vision. Biosyst. Eng. 83, 149–157.

BRANDÁN DE ANTONI, E., GONZALEZ, A. y SECO, E. (2009). Tomate Destinado a Industria.2009.Secretaría de Ciencia y Tecnología. Editorial Científica Universitaria. ISBN: 978 - 987 - 1341.

BRANDELIK A. Y HUBNER C. (1997). Soil moisture determination- Accurate, large and deep. PHys. Chem. Earth. Vol.21, Nº 3 pp. 157-160.

CAMPECHE, L. F. S. M. (2002). Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'tahiti'(Citrus latifolia Tan.). Citrus latifolia.

CAMPILLO C., PRIETO M.H., DAZA C., MONINO M.J. y GARCIA M.I. (2008). Using digital images to characterize canopy coverage and light interception in a processing tomato crop. Hortscience 43:1780-1786.

CAMPILLO TORRES, C.; GONZÁLEZ GARCÍA, J. A.; FORTES GALLEGO, R.; MILLÁN ARIAS, S.; GONZÁLEZ GARCÍA, V.; CHÁVEZ CEFERINO, A.; DAZA DELGADO, C. Y PRIETO LOSADA, M. H. (2015). Manual práctico de riego para tomates de industria. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX).

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

CHAMARRO, J. (1995). Anatomía y fisiología de la planta. In *El cultivo del tomate* (pp. 43-91). Mundi-Prensa.

CONGLING, W., GUANGHUI, T., CHANGYING, L., (2005). Application and validation of computer vision based nondestructive measurement system for cucumber seedling growth conditions. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 21 (4), 109–112.

CORPEÑO, B. (2004). Manual del cultivo de tomate. Centro de inversión, desarrollo y exportación de agronegocios. El Salvador.

CPA - Cámara de Productores Hortícolas del Departamento Avellaneda (2014). Sobre diseño e implementación de políticas para la producción de economías regionales.

CSIZINSZKY A.A. (2015). Production in open field E. Heuvelink (Ed.), *Tomatoes*, Cabi Publishing, London, UK, pp. 237-256.

DE KONING, A. N. M. (1988). The effect of different day/night temperature regimes on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science*, 63(3), 465-471.

DE MEDEIROS, G.A., ARRUDA, F.B., SAKAI, E.L., FUJIWARA, M., (2001). The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agric. Water Manage.* 49, 211–224.

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.

ESCAFF, M., GIL, P., FERREYRA, R., ESTAY, P., BRUNA, A., MALDONADO, P., & BARRERA, C. (2005). Cultivo del tomate bajo invernadero. *Boletín INIA* No, 128.

ESCALONA, V., ALVARADO, P., MONARDES, H., URBINA, C., & MARTÍN, A. (2009). Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Facultad de Ciencias Agronomicas, Universidad de Chile, Chile.

FARES A. Y ALVA, A.K. (2000). Soil water components based on capacitance probes in a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 311-318

FRANCO, D. (2016). Tomate industrializado. presentación, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina [en línea] http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/47/cadenas/r47_06_TomateIndustrializado.pdf.

FUENTES YAGUE, J.L. (1998). Técnicas de Riego. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 457 p.

GONZALEZ, A. G. (2009). Tomate destinado a industria (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Catamarca).

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.

HANSON, B. YD. MAY. (2006). Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Management* 81: 381- 399.

HANSON, B.R., MAY, D.M. (2006). Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agric. Water Manage.* 81, 381–399.

HURD, R. G., y GRAVES, C. J., (1985). Some effects of air and root temperatures on the yield and quality of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science*, 60(3), 359-371

INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL (IDR), (2014). Red Provincial de Precios Pagados al Productor. IDR (Instituto de Desarrollo Rural). Godoy Cruz 111 Mendoza. Tel.: 0261-4056000. Fax: 0261 - 4056001 info@idr.org.ar - www.idr.org.ar

JONES, J. (1998). *Tomato Plant Culture: The field, greenhouse and home garden*. 224 p. CRC Press, Boca Raton, USA.

KHAYAT, E., RAVAD, D., & ZIESLIN, N. (1985). The effects of various night-temperature regimes on the vegetative growth and fruit production of tomato plants. *Scientia horticultrae*, 27(1-2), 9-13.

KINET, J. (1977). Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Sci. Hort.*, 6: 27 - 35.

KINET, J. M., & PEET, M. M. (1997). *Tomato* (No. BOOK). CABI.

LALIBERTE, A., RANGO, A., HERRICK, J., FREDRICKSON, E.L., BURKETT, L., (2007). An object-based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green vegetation with digital plot photography. *J. Arid. Environ.* 69, 1–14.

LENHER O. (2016). Lenher: Los proyectos industriales frustrados del Valle Inferior y el acecho de las políticas liberales. Agencia Periodística Patagónica (APP), http://www.appnoticias.com.ar/desarro_noti.php?cod=21768.

LÓPEZ-URREA, R., MARTÍN DE SANTA OLALLA, F., MONTORO, A., LÓPEZ-FUSTER, P. (2009). Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. *Agric. Water Manage.* 96 (6), 1031–1036.

LORENTE, D., ALEIXOS, N., GÓMEZ-SANCHIS, J., CUBERO, S., GARCÍA-NAVARRETE, O.L., BLASCO, J. (2012). Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food Bioprocess Technol.* 5, 1121–1142.

MARQUELLI, W.A., PEREIRA, W., SILVA, H.R., SILVA, W., CARVALHO, L. Y SOUZA, A. (1999). Resposta da abóbora híbrida tipo tetsukabuto a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1999, Pelotas. A Engenharia Agrícola, Tendências e Inovações. Pelotas: SBEA, Vol. 1.

MARTIN, D. M. (2015). Estadísticas Climáticas del Valle de Viedma. Información Técnica Nº 27. AÑO 4 - Nº 9 - ISSN 1666-6054

MASOTA, H. (1975). Reconocimiento detallado de suelos con fines de riego. Subzonas F yvG II Etapa –Valle Inferior del Río Negro – Argentina. IDEVI – Estación Experimental de Riego y Cultivos – Informe mecanografiado. 131pp.

MEDRANO, H., BOTA, J., CIFRE, J., FLEXAS, J., RIBAS-CARBÓ, M., GULÍAS, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (43),63-84.[fecha de Consulta 16 de Noviembre de 2021]. ISSN: 0213-4691. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17604304>

MELIS, O.A. (2014). Evaluación del efecto del mulching, densidad y fecha de plantación sobre aspectos cuali – cuantitativos en tomate (*solanum lycopersicum* L.) para industria en yuto (jujuy, argentina). universidad nacional de cuyo, facultad de ciencias agrarias.

MISLE, E. (2001). Comportamiento térmico del suelo bajo cubiertas plásticas.: i. efecto de diferentes tipos de láminas. *agricultura técnica*, 61(4), 488-499.

MUZI, E., DOÑATE, T., MOREIRA, A. Y MARTINEZ, R.S. (2016). Gestión asociada como herramienta para el agregado de valor en origen en los valles irrigados de la norpatagonia. xviii jornadas nacionales de extensión rural y x del mercosur. cinco saltos, argentina.

NUEZ, F. (1995). El cultivo del tomate. *Mundi-Prensa. Madrid, España*.

PALTINEANU, I.C. Y STARR, J.L. (1997). Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: Laboratory Calibration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1576-1585.

PAPADOPOULOS, A., y TIESSEN, H. (1987). Root and air temperature effects on elemental composition of tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 112: 988 - 993.

PERALTA, I., KNAPP, S., & SPOONER, D. (2007). The taxonomy of tomatoes: a revision of wild tomatoes (*Solanum* L. section *Lycopersicon* (Mill.) Wettst.) and their outgroup relatives (*Solanum* sections *Juglandifolium* (Rydb.) Child and *Lycopersicoides* (Child) Peralta). *Systematic Botany Monographs*, 84, 1-186.

PERI, G. (2004). "La agricultura irrigada en Rio Negro y su contribución al desarrollo regional". Informe para el Banco Mundial. Disponible en http://siteresources.worldbank.org/INTARGENTINAINSPANISH/Resources/Rio_Negro_ll_agricultura_irrigada.pdf

PRIESTLEY, C. H. B., Y TAYLOR, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly weather review*, 100(2), 81-92.

EWING R. P. Y HORTON. R. (1999). Discriminating Dyes in Soil with Color Image Analysis. Journal Paper no. J-17756 of the Iowa Agric. and Home Econ.

RICHARDSON, M., KARCHER, D., PURCELL, L. (2001). Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Sci.* 41, 1884–1888.

RIGA, P., ANZA, M., GARBISU, C. (2008). Tomato quality is more dependent on temperature on photosynthetically active radiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 88: 158 - 166.

RIVERO, M. L., QUIROGA MARTIN, M. I., GONZALEZ ERBIN, O. A. y MORAGA, L. M. (2013). Maduración artificial. postcosecha de tomate, (5).

SALAZAR-MORENO R., ROJANO-AGUILAR A., LÓPEZ-CRUZ, I.L. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. V, núm. 2, marzo-abril de 2014, pp. 177-183.

STEDUTO, P., HSIAO, T. C., FERERES, E., & RAES, D. (2012). Crop yield response to water (Vol. 1028). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

TARJUELO, J.M. (1999). El riego por aspersión y su tecnología. 2da Edición. Editorial MundiPresa. Madrid. España. 569p.

TOMATE, A. (2019). Programa para el aumento de la competitividad de la industria del tomate. Informe progresos 2018-2019. Ediciones INTA. La Consulta, INTA EEA La Consulta. Edición impresa ISSN 1853-6972.[En línea].

TORRETA, J. (2012). Cálculo de los requerimientos hídricos del maíz y ajuste del Kc mediante el uso de lisímetros de drenaje en el Valle Inferior del río Negro. Universidad Nacional de Río Negro.

TRPIN, V., ABARZÚA, F.D. Y BROUCHOUD, M. S. (2015). Producción de tomate para industria en el Valle Medio de Río Negro: una perspectiva desde los actores involucrados. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios* N° 43.

VALENCIA GONZÁLEZ, J. (1998). Cultivo del tomate de industria en California (U.S.A.). En: *El tomate de industria. Jornadas Técnicas*. 16 y 17 de febrero de 1998. Navarra, España. <http://www.itga.com/docs/Libreria/Tomate.pdf> .

WALTHALL, C., DULANEY, W., ANDERSON, M., NORMAN, J., FANG, H., LIANG, S. (2004). A comparison of empirical and neural network approaches for estimating corn and soybean leaf area index from Landsat ETM+ imagery. *Remote Sens. Environ.* 92, 465–474.

WENT, F. (1957). The experimental control of plants growth. *Chronica botánica* n. ° 17: 343.