



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría
de Bioeconomía

Riego en cultivos hortícolas

Guía de programación y planificación de riego por goteo en el Oasis Norte de Mendoza

Ferrari, Florencia N. y Aguado, Germán. D

INTA - EEA Mendoza

Contactos: ferrari.florencia@inta.gob.ar

aguado.german@inta.gob.ar

Introducción

La producción de hortalizas en la provincia de Mendoza es la tercera actividad agrícola, ocupando aproximadamente 31.000 hectáreas (IDR, 2016). Estos cultivos son generalmente regados por sistemas superficiales con eficiencias de riego entre 39 y 64% (Figura 1).

Existen cada vez más explotaciones agrícolas que invierten en la instalación de equipos de riego localizado. Estos no sólo permiten ampliar la frontera agrícola, sino también aumentar la eficiencia de aplicación hasta el 95%. Aunque en Mendoza se estima que sólo del 15 al 18% de la superficie cultivada es regada con sistemas presurizados, el 90% de esta superficie corresponde a viñedos, mientras que el resto pertenece a hortalizas y otros frutales (Morábito, 2011). Dicha situación podría explicarse en parte por la alta inversión en equipos y costos de mantenimiento.

El sistema de riego presurizado no podría garantizar una mayor eficiencia de uso de agua si su diseño es incorrecto, así como también, si no se cuenta con una adecuada planificación del riego en función de las necesidades del cultivo y de las condiciones ambientales del ciclo en curso. Schilardi *et al.* (2015), a partir de un diagnóstico del desempeño de distintos sistemas de riego localizado, determinaron que el 36% de las propiedades evaluadas presentaron problemas en el diseño agronómico y 40% en el hidráulico (problemas en el diseño del sistema de filtrado e inyección de fertilizantes). Además, el 52% de las propiedades mostraban inconvenientes en la operación del riego (ausencia de un plan de riego ajustado y control del mismo) y el 68% no realizaba adecuadamente el mantenimiento de las instalaciones. Por lo tanto, una vez que el productor adquiere esta tecnología y para lograr elevadas eficiencias de riego, no sólo se necesita un buen diseño agronómico e hidráulico, sino también, se debe realizar el mantenimiento adecuado de los equipos y confeccionar una correcta planificación del riego, ajustando el calendario en tiempo real en función de las características del ciclo en curso.

Los futuros escenarios de cambio climático indican que la provincia de Mendoza se enfrentará a mayores temperaturas, generando condiciones de evaporación más elevadas (Gobierno de la República Argentina, 2007; Hulme y Sheard, 1999; IPCC, 2007). A su vez, el menor volumen de agua en los ríos causado por menores precipitaciones nivas en la cordillera de Los Andes (Gobierno de la República Argentina, 2007; Labraga y Villalba, 2009), generarán menor disponibilidad de agua para riego. Esta situación requiere de una importante intervención para mantener o incrementar los niveles productivos por unidad de superficie cultivada. Así también, será necesario aumentar la eficiencia de uso del agua (más kilos cosechados por litro de agua consumido) y, en caso de ser posible, el uso de variedades más tolerantes a mayores temperaturas y estrés hídrico.



Una de las formas de aumentar la eficiencia de uso de agua es utilizar métodos de riego presurizado. Además de regar de manera más eficiente y tener posibilidad de ampliar la frontera agrícola, es posible simplificar la aplicación de agroquímicos (Costa, E. Fernandes da *et al.*, 1994), reduciendo el impacto ambiental de la actividad agrícola, con aplicaciones más precisas y eficientes (Miranda, 2009).

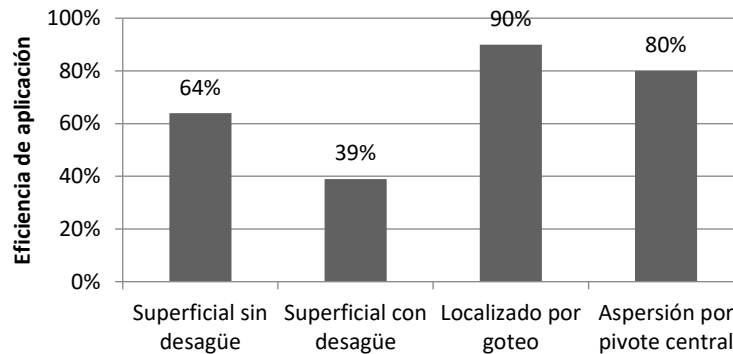


Figura 1. Eficiencia de aplicación de agua según el sistema de riego utilizado (Schilardi *et al.*, 2015).

Dicho cambio tecnológico exige conocer los requerimientos hídricos precisos de los cultivos y la demanda ambiental de la zona. El presente trabajo, pretende aportar información para el manejo del riego presurizado de siete cultivos hortícolas principales del Oasis Norte de Mendoza: ajo, tomate, cebolla, zapallo, zanahoria, lechuga y melón, cuya participación relativa en superficie asciende a 75% (IDR, 2014).

Dentro del Oasis Norte provincial es importante mencionar, por su dinámica y diversidad de cultivos, al Cinturón Verde de Mendoza. El mismo está formado por las áreas irrigadas de los departamentos de Guaymallén y algunos distritos de Maipú (Rodeo del Medio, San Roque, Fray Luis Beltrán y parte de Coquimbito) y Lavalle (Las Violetas y La Pega). En este territorio se practica una agricultura intensiva de alto impacto ambiental que produce la mayoría de las hortalizas frescas consumidas en el mercado local y en otras provincias y países, según las oportunidades comerciales. La estructura productiva indica que el 70% de las explotaciones agropecuarias son menores a 5 ha, administradas especialmente bajo una tipología de agricultura familiar. El principal sistema de riego utilizado es gravitacional por superficie (99%) (INDEC, 2002). Sin embargo, cada vez una mayor cantidad de explotaciones cambian a sistemas de riego presurizados (Morábito, 2011). Es aquí en donde los paquetes tecnológicos adquiridos, en ocasiones con mal diseño agronómico y/o hidráulico, no sólo no permiten satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, sino que ocasionan un deterioro del suelo a través de la salinización de los mismos, con la consecuente disminución del rendimiento.

Este documento proporciona a productores y técnicos las herramientas básicas para la programación del riego por goteo de los principales cultivos hortícolas del Oasis Norte de Mendoza.

Metodología de la programación del riego

El diseño agronómico del sistema de riego debe garantizar que la instalación sea capaz de suministrar, con una óptima eficiencia de aplicación, las necesidades hídricas del cultivo, principalmente en el período de máximo consumo, humedeciendo el volumen de suelo necesario para su desarrollo. En primer lugar, es

preciso calcular las necesidades hídricas de los cultivos y luego, determinar cantidad (¿Cuánto?), frecuencia (¿Cuándo?) y tiempos de riego (¿Cómo?) para cada uno de ellos.

A continuación, se presentan los conceptos teóricos relevantes y necesarios para el diseño del plan de riego de un cultivo en base a la relación agua-suelo-planta-atmósfera, las características del equipo de riego y la operación del riego.

En el apartado “Resultados de la programación del riego por zona”, se podrán encontrar las recomendaciones de riego (cantidad, frecuencia y tiempos de riego) para diferentes cultivos (ajo, cebolla, tomate, lechuga, melón, zapallo y zanahoria), en tres tipos de suelos (franco arenoso, franco y franco arcilloso) y en tres diferentes zonas: Centro, Este y Norte. La demanda hídrica ambiental de cada zona fue determinada a partir de datos estadísticos (promedio de los últimos 30 años) de las estaciones meteorológicas “Chacras de Coria”, “San Martín” y “Mendoza Aeropuerto”, pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2017).

*Relación agua-suelo-planta-atmósfera

La atmósfera se encuentra en permanente demanda de vapor de agua, generando una continua pérdida de agua desde las hojas (transpiración) y desde el suelo (evaporación). La combinación de estos dos procesos se denomina evapotranspiración (*ET*) (Figura 2). Ambos ocurren en forma simultánea y su dinámica es determinada por la fracción de la radiación solar que llega a la superficie del suelo (FAO, 2006). La evaporación del suelo es mayor durante las primeras etapas del ciclo. Luego, a medida que el cultivo crece y cubre el suelo, la transpiración aumenta considerablemente y es la principal componente de la *ET*.

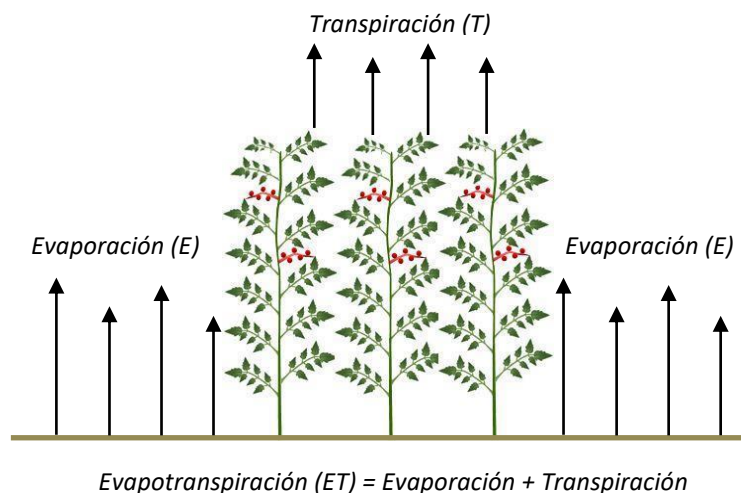


Figura 2. Esquema de componentes de la evapotranspiración.



El parámetro básico inicial para calcular las necesidades de riego es la evapotranspiración de referencia (ET_o). La misma se calcula a partir de la ecuación de Penman-Monteith (ecuación 1), que utiliza datos meteorológicos de la zona en donde se encuentra el cultivo (temperatura, humedad, radiación y viento).

$$ET_o = \frac{0,408 \times \Delta \times (Rn - G) + \gamma \times \frac{Cn}{T + 273} \times u_2 \times (es - ea)}{\Delta + \gamma \times (1 + Cd \times u_2)}$$

Ecuación 1. Evapotranspiración de referencia (ET_o) en mm día^{-1} . Donde: Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Rn es la radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); G es el flujo de calor del suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); γ es la constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Cn es una constante que cambia con el cultivo de referencia; T es la temperatura media del aire a 2 m de altura ($^\circ\text{C}$); u_2 es la velocidad media del viento a 2 m de altura (m s^{-1}); es es la presión de vapor de saturación; ea es presión de vapor actual; y Cd es una constante que cambia con el cultivo de referencia.

En la Tabla 1 se detallan los valores de ET_o calculados a partir de los datos climáticos, promedio de los últimos 30 años, de las estaciones meteorológicas “Chacras de Coria”, “San Martín” y “Mendoza Aeropuerto” pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2017). En los meses de mayor demanda la ET_o de la estación “Chacras de Coria” es un 8% menor que la ET_o de las restantes estaciones. En la Figura 3 se observa la evolución anual de la ET_o con los datos promedio de las tres estaciones meteorológicas y las diferencias entre ellas.

Estación Meteorológica	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Chacras de Coria	0,80	1,30	2,10	3,15	4,18	4,67	4,75	4,04	3,14	2,03	1,19	0,78
Aeropuerto	0,82	1,36	2,18	3,35	4,45	4,99	5,10	4,39	3,30	2,16	1,24	0,81
San Martín	0,98	1,52	2,40	3,50	4,53	5,05	5,18	4,50	3,47	2,33	1,42	0,97

Tabla 1. Valores de evapotranspiración de referencia (ET_o) en mm día^{-1} según tres estaciones meteorológicas del SMN (Chacras de Coria, Aeropuerto, San Martín). Datos promedio desde 1987 hasta 2016 (SMN, 2017).

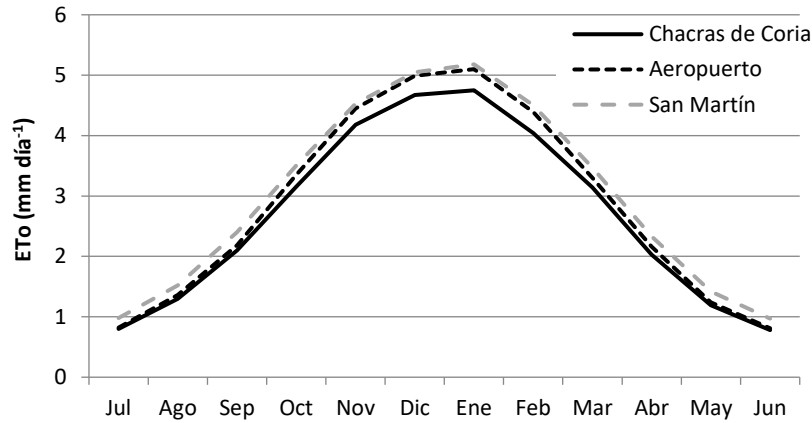


Figura 3. Evolución anual de la evapotranspiración de referencia (ET_o). Datos promedio de los últimos 30 años de las estaciones meteorológicas “Chacras de Coria”, “Aeropuerto” y “San Martín” del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2017).

El suelo almacena el agua que será aportada al proceso de evapotranspiración. El mismo está compuesto por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida se divide en “orgánica” (0-2%): constituida por restos de seres vivos (del reino vegetal y animal) en distintos grados de descomposición e “inorgánica”: constituida por fragmentos de roca y minerales producto de la meteorización. El espacio poroso del suelo puede estar ocupado por la fase líquida (agua) y/o por la fase gaseosa (aire) (Figura 4). Las partículas del suelo, según su tamaño, se clasifican en: arena (50-2000 μm), limo (2-50 μm) y arcilla (< 2 μm) (USDA, 1999) y dependiendo de la proporción de cada una de estas partículas, surge una gran variedad de “tipos o texturas de suelo” con distintas propiedades físicas y químicas (Figura 5).

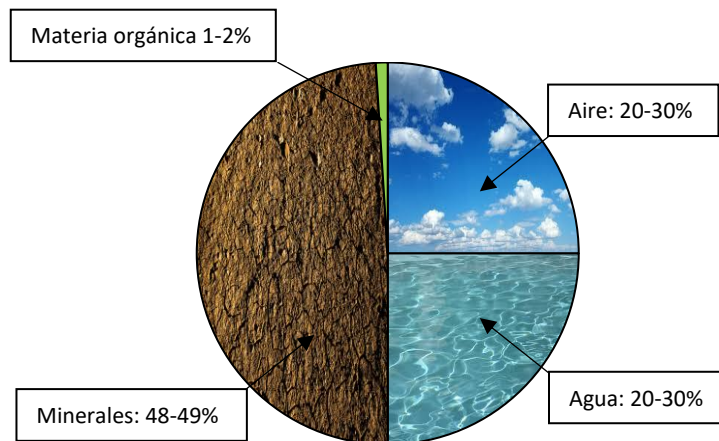


Figura 4. Composición física del suelo: fases sólida (~ 50%), líquida y gaseosa (~ 50%).

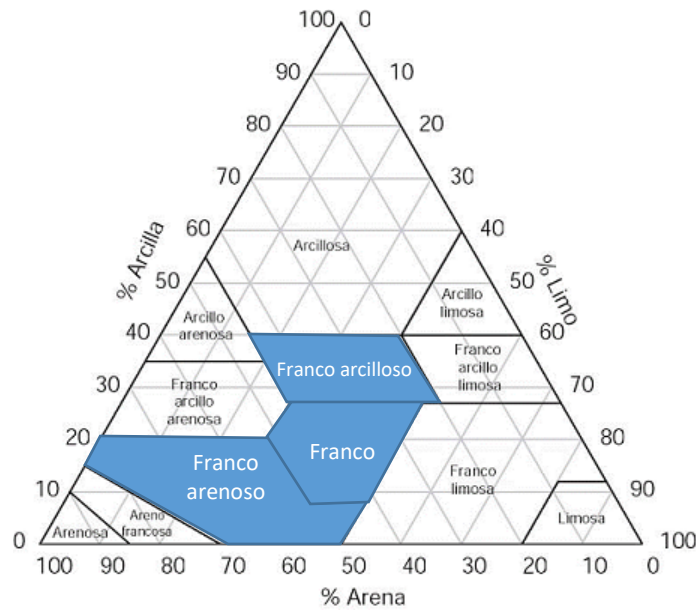


Figura 5. Clases texturales del suelo según la proporción de partículas minerales (arena, limo y arcilla). Tipos de texturas resaltadas: franco arcilloso, franco y franco arenoso; utilizados para la determinación de las necesidades de riego de los cultivos.

La dinámica del agua en el suelo se esquematiza en la Figura 6. Allí se observan las entradas (riego, lluvia y ascenso capilar) y las salidas (evapotranspiración, escurrimiento y percolación profunda) en el perfil del suelo. Luego de un riego, parte del agua se pierde por gravedad, parte queda retenida en los poros del suelo como agua capilar y parte queda retenida muy fuertemente como agua higroscópica (no puede ser extraída por las raíces de las plantas). La capacidad de campo (CC) es la cantidad de agua que un suelo puede retener contra las fuerzas de gravedad luego de su saturación, mientras que el punto de marchitez permanente (PMP) es la cantidad de agua remanente en el suelo que las plantas no pueden extraer. La diferencia entre CC y PMP es el agua disponible total en el suelo (ADT). Sólo una porción de ADT es fácilmente aprovechable por el cultivo (AFA). Por lo tanto, AFA es igual al ADT afectado por un factor p , que representa la fracción de la humedad total disponible que puede ser agotada por el cultivo antes de que el estrés hídrico asintomático provoque disminución de rendimiento. Un término comúnmente utilizado por los productores es el umbral de riego (UR). Este UR es el agua remanente en el suelo luego de consumirse el AFA y está directamente relacionado con el factor p ($UR = 1-p$).

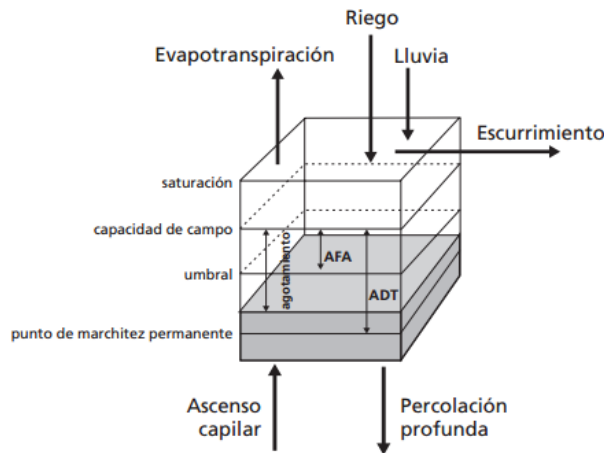


Figura 6. Esquema del suelo, entradas y salidas de agua, agua disponible total (ADT) y agua fácilmente aprovechable (AFA) (FAO, 2006).

En la Figura 7 se observa como varían la CC, el PMP y el ADT en función de la textura del suelo. Por encima de la línea continua de CC el agua drena debido a las fuerzas de gravedad (área sombreada lisa). Por debajo de la línea punteada de PMP el agua remanente es higroscópica y estructural, no disponible para las plantas (área sombreada rayada). Tal como puede observarse el ADT en suelo arenoso es mucho menor que en un suelo arcilloso.

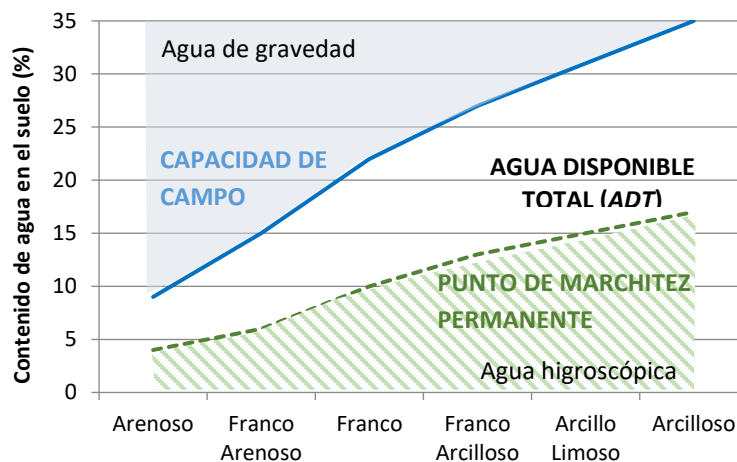


Figura 7. Capacidad de campo (línea continua), punto de marchitez permanente (línea punteada) y agua disponible total (zona sin relleno) según la textura de suelo.



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría
de Bioeconomía

A los fines prácticos y para el cálculo de la lámina de reposición (LR) (ecuación 2), en función del AFA y del cultivo, se consideraron tres texturas de suelo promedio, cuyas propiedades físicas se presentan en la Tabla 2.

Para poder transformar los valores de CC y PMP de gravimétricos a volumétricos se usa la densidad del agua (1 g cm^{-3}) y la densidad aparente del suelo (DAP). Por lo tanto, la DAP representa la relación entre la masa del suelo y el volumen que éste ocupa (g cm^{-3}). La misma varía con la textura, el contenido de materia orgánica y el grado de compactación (Tabla 2).

Textura	CC	PMP	PEA	Ib	Agua Disponible Total (ADT)	
	%	%	g cm^{-3}	mm h^{-1}	%	mm cada 10 cm de suelo
Franco arcilloso	27	13	1,35	7,5	14	18,9
Franco	22	10	1,40	12,5	12	16,8
Franco arenoso	14	6	1,50	25,0	8	12,0

Tabla 2. Propiedades físicas de los suelos: contenido hídrico en capacidad de campo (CC), contenido hídrico en el punto de marchitez permanente (PMP), peso específico aparente (PEA) para tres texturas de suelo y velocidad de infiltración básica (Ib) (Chambouleyron, 2005).

$$LR = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) \times PEA \times D \times p \times PSM \times 10$$

Ecuación 2. Lámina de reposición (LR) en mm. Dónde: CC es la capacidad de campo (%); PMP es el punto de marchitez permanente (%); PEA es la densidad aparente del suelo (g cm^{-3}); D es la profundidad de la raíz (cm); p es la fracción de agua fácilmente disponible; PSM es el porcentaje de suelo mojado (%) y 10 es un factor de conversión de unidades.

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (campo extenso, excelente condición agronómica y provisión permanente de agua), representa la necesidad hídrica de las plantas (ETc). La ETc se calcula multiplicando la ETo por un coeficiente (Kc) (ecuación 3). Este Kc es un coeficiente único de cultivo, inherente a la planta, que integra las diferencias entre la ETc del cultivo y la ETo calculada a partir de variables ambientales.



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría
de Bioeconomía

$$ETc = Eto \times Kc$$

Ecuación 3. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*) en mm día⁻¹. Donde: ***ETo*** es la evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹) y ***Kc*** es el factor del cultivo que varía en función de la época del año (Tabla 3).

Mes/Cultivo	Ajo	Cebolla valenciana	Tomate	Lechuga (verano)	Lechuga (invierno)	Melón	Zapallo	Zanahoria
Enero	-	1,10	1,26	-	-	-	0,85	1,10
Febrero	-	-	1,16	-	-	-	0,99	0,65
Marzo	0,40	-	0,65	-	-	-	0,64	-
Abril	0,43	-	-	-	-	-	0,44	-
Mayo	0,62	-	-	-	0,43	-	-	-
Junio	0,82	-	-	-	0,80	-	-	-
Julio	0,88	-	-	-	1,10	-	-	-
Agosto	1,01	-	-	-	1,09	-	-	-
Septiembre	1,18	0,42	-	0,41	-	0,30	-	0,41
Octubre	1,30	0,62	-	0,53	-	0,95	-	0,47
Noviembre	1,29	0,83	0,43	1,11	-	0,90	0,21	0,83
Diciembre	1,05	1,30	0,66	1,04	-	0,60	0,35	1,30

Tabla 3. Coeficientes de cultivos o *Kc*. Extraído de Lavanderos *et al.* (2015), Lipinski and Gaviola (2008), Lipinski com. pers. (2017).

Para el cálculo de la lámina neta de riego (*LN*) se necesita conocer el consumo neto del cultivo (*ETc*) y descontar el aporte del agua de lluvia (ecuación 4). En ciertos momentos, dicho aporte no puede despreciarse, más aún si tenemos en cuenta las probabilidades de aumento de la precipitación en el llano de Mendoza (Hulme y Sheard, 1999). Sólo una porción de la lluvia que llega a la superficie del suelo es utilizada por los cultivos, pues se producen pérdidas por escorrentía, evaporación y percolación profunda. A esta porción de precipitación se la denomina: precipitación efectiva (*PPE*) y puede calcularse de diversas maneras



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría
de Bioeconomía

según diferentes autores. Las ecuaciones utilizadas para los cálculos presentados en este documento, son las descritas por FAO (2006) (ecuación 5 y 6).

$$LN = ETc - PPe$$

Ecuación 4. Lámina neta de riego (**LN**) en mm día⁻¹. Donde: **ETc** es la evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹) y **PPe** es la precipitación efectiva (mm día⁻¹).

$$PPe = (0,6 \times PP) - 10$$

Ecuación 5. Precipitación efectiva (**PPe**) en mm mes⁻¹ para precipitaciones mensuales ≤ 70 mm. Donde: **PP** es la precipitación mensual (mm mes⁻¹).

$$PPe = (0,8 \times PP) - 24$$

Ecuación 6. Precipitación efectiva (**PPe**) en mm mes⁻¹ para precipitaciones mensuales > 70 mm. Donde: **PP** es la precipitación mensual (mm mes⁻¹).

*Equipo de riego

Con el fin de mantener la eficiencia de riego presurizado en niveles aceptables, es imprescindible realizar el mantenimiento periódico de todos los componentes del sistema: reservorio de agua, filtros, tuberías (primarias, secundarias y terciarias), laterales de riego y goteros (Liotta *et al.*, 2015).

Asimismo, es muy importante evaluar la uniformidad de erogación del equipo por subunidad de riego, a fin de poder ajustar la lámina bruta (**LB**). Para ello se determina el coeficiente de uniformidad (**CU**) del equipo. Uno de los métodos más utilizados es el de Merriam y Keller modificado (1992), que evalúa el caudal emitido por 16 goteros ubicados dentro de cada subunidad de riego, distribuidos homogéneamente y el **CU** se calcula según la ecuación 7.

$$CU = \frac{Qmin}{Qmed} \times 100$$

Ecuación 7. Coeficiente de uniformidad (**CU**). Donde: **Qmed** es el caudal medio de todos los goteros evaluados; **Qmin** es el caudal medio del 25% de los goteros que emitieron menos caudal (**CU** > 90% uniformidad excelente, 80-90% buena, 70-80% regular, < 70% inaceptable).



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría
de Bioeconomía

Durante el riego, si sólo se repone el agua evapotranspirada por los cultivos, el suelo se saliniza. Por lo tanto, para calcular la lámina bruta (LB) de riego (ecuación 9), hay que considerar una cantidad extra de agua que permita satisfacer el requerimiento de lixiviación (RL), eliminando las sales solubles de la zona radical. En función de la calidad del agua de riego y de la sensibilidad del cultivo a la salinidad, corresponde calcular el RL según la ecuación 8.

$$RL = \frac{CEi}{(2 \times CEe)}$$

Ecuación 8. Requerimiento de lixiviación (RL). Donde: CEi es la conductividad eléctrica del agua ($dS\ m^{-1}$) y CEe es conductividad eléctrica en el extracto de saturación ($dS\ m^{-1}$) que disminuye un 10% la producción del cultivo.

$$LB = \frac{LN}{[CU \times (1 - K)]}$$

Ecuación 9. Lámina bruta (LB) en $mm\ día^{-1}$. Donde: LN es la lámina neta de riego ($mm\ día^{-1}$), CU es el coeficiente de uniformidad y K es el valor mayor entre la relación de lixiviación (RL) y 1 menos la eficiencia de aplicación (EA) (Tabla 4).

Dado que la eficiencia de aplicación (EA) varía en función de la textura del suelo y de la profundidad de la raíz del cultivo, en la Tabla 4 se detallan los valores para las distintas combinaciones utilizados en el presente trabajo.

Profundidad de raíz	Franco arenoso	Franco	Franco arcilloso
< 0,75 m	0,90	0,95	0,95
0,75-1,50 m	0,90	0,95	1,00
> 1,50 m	0,95	1,00	1,00

Tabla 4. Variación de la eficiencia de aplicación (EA) del riego localizado en función de la profundidad radical del cultivo y la textura del suelo.

Conociendo los datos de distanciamiento y caudal de goteros, espaciado y número de laterales por hilera, se calcula la intensidad de erogación (IE) del equipo de riego (ecuación 10). La misma no debe superar la infiltración básica del suelo (Ib) para evitar encharcamiento o escorrentía (Tabla 2).

$$IE = \frac{Qg}{DEH \times DEG} \times NL$$



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría
de Bioeconomía

Ecuación 10. Intensidad de erogación del equipo de riego (IE) en mm h^{-1} . Donde: Qg es el caudal del gotero (L h^{-1}); DEH es la distancia entre hileras (m); DEG es la distancia entre goteros (m) y NL es el número de laterales de riego por hilera o cama de siembra.

*Operación del riego

Una vez calculada la cantidad de agua que necesitan los cultivos (¿Cuánto?), se define la frecuencia de riego (¿Cuándo?). Para ello, se determina el intervalo de riego según la ecuación 11. Para finalizar, se estiman los tiempos de riego (¿Cómo?) de cada subunidad mediante el uso de la ecuación 12.

$$IR = \frac{LR}{LB}$$

Ecuación 11. Intervalo de riego (IR) en días. Donde: LR es la lámina de reposición (mm) y LB es la lámina bruta de riego (mm día^{-1}).

$$TR = \frac{LR/CU}{IE}$$

Ecuación 12. Tiempo de riego (TR) en horas. Donde: LR es la lámina de reposición (mm); CU es el coeficiente de uniformidad e IE es la intensidad de erogación del equipo de riego (mm h^{-1}).

De esta manera, se completa la programación del riego, la que debe ajustarse en tiempo real en función de las condiciones meteorológicas del ciclo en curso (temperatura, humedad, precipitación, viento y radiación). Además, para llevar a cabo dicho ajuste, es necesario en primer lugar examinar periódicamente el estado hídrico de la planta (mediante una cámara de Scholander o un porómetro, por ejemplo) y en segundo lugar, realizar el monitoreo periódico de la humedad de suelo. La cantidad de agua disponible en el suelo se puede determinar en forma directa con el método gravimétrico o indirectamente con sensores de humedad de suelo. Asimismo, es posible determinar la energía de retención del agua remanente en el suelo mediante métodos directos (tensiómetros) o indirectos (bloques de yeso).

El método de cálculo descrito anteriormente se denomina "lámina fija y frecuencia variable", ya que propone una lámina similar de riego, con intervalos variables en función de los requerimientos del cultivo. Mediante las ecuaciones 1 a 12 se realizaron los cálculos de las necesidades de riego.

En todos los casos, el equipo de riego tomado como ejemplo utiliza laterales tipo "cinta" con goteros de 1 L h^{-1} (Qg) para ajo, cebolla, lechuga y zanahoria y de 2 L h^{-1} para tomate, melón y zapallo, distanciados a 0,3 m



(*DEG*). El agua de riego presentaría una *CEi* de 0,9 dS m⁻¹. Para facilitar los cálculos, se fijó un valor *p* de 0,3 para ajo, cebolla y lechuga, de 0,35 para zanahoria y de 0,4 para tomate, melón y zapallo. El coeficiente de uniformidad (*CU*) del equipo de riego estimado fue de 0,9, valor que puede modificarse en cada evaluación de la uniformidad de goteros. Los valores anteriores fueron fijados de manera que la intensidad de erogación del equipo (*IE*) nunca superara a la infiltración básica del suelo según la textura (Tabla 2) y que los tiempos de riego fueran razonables. Se consideraron meses completos a la hora de determinar los requerimientos hídricos de cada especie. Por lo tanto, si los ciclos de cultivo fueran más cortos de lo calculado, se debería ajustar las láminas brutas de riego. Además, se consideró que en los primeros 30 días del cultivo, la profundidad radical del mismo corresponde al 25% de su profundidad final. De esta manera, la lámina a reponer es menor y la frecuencia de riego es mayor para evitar deshidratación de las plántulas. Se recomienda realizar un control más exhaustivo durante el primer mes de desarrollo de las plantas para ajustar las láminas durante este momento crítico.

Resultados de la programación del riego por zona

Zona centro

Estación meteorológica “Chacras de Coria” SMN

En las tablas de la 5 a la 12, las referencias correspondientes son las detalladas a continuación. *ETc* es la evapotranspiración de referencia, *LN* es la lámina neta de riego diaria, *LB* es la lámina bruta de riego diaria, *IR* es el intervalo de riego y *TR* es el tiempo de riego. En ellas se indica la demanda ambiental para el cultivo en cuestión (*ETc*, *LN* y *LB*) y las necesidades de riego (*IR* y *TR*) en cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

1. Ajo

La densidad de plantación considerada fue de 30 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,4 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por cama (distanciadas a 0,8 m) y dos hileras de plantas por cama.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Marzo	1,26	0,79	1,13	2	40	4	65	4	80
Abril	0,87	0,87	1,25	8	160	13	260	16	330



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría
de Bioeconomía

Mayo	0,74	0,74	1,06	10	160	15	260	19	330
Junio	0,64	0,64	0,92	11	160	18	260	22	330
Julio	0,70	0,70	1,01	10	160	16	260	20	330
Agosto	1,31	1,31	1,88	5	160	9	260	11	330
Septiembre	2,48	2,48	3,55	3	160	5	260	6	330
Octubre	4,10	3,84	5,50	2	160	3	260	4	330
Noviembre	5,39	5,05	7,24	1	160	2	260	3	330
Diciembre	4,90	4,50	6,45	2	160	3	260	3	330

Tabla 5. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para ajo cultivado en la zona centro. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

2. Cebolla tipo valenciana

La densidad de plantación considerada fue de 40 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,4 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de 1 lateral de riego por cama (distanciadas a 0,5 m) y dos hileras de plantas por cama.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Septiembre	0,88	0,88	1,26	2	25	3	40	4	50
Octubre	1,95	1,69	2,43	4	100	7	160	8	200
Noviembre	3,47	3,13	4,49	2	100	4	160	5	200
Diciembre	6,07	5,67	8,12	1	100	2	160	3	200
Enero	5,23	4,51	6,46	2	100	2	160	3	200

Tabla 6. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para cebolla (tipo valenciana) cultivada en la zona centro. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

3. Tomate para industria

La densidad de plantación considerada fue de 2,2 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,8 m. Se consideró que una *EA* de 3,5 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*,



seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 20% para el suelo franco arenoso, 30% para el franco y 40% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por hilera de plantas distanciadas a 1,5 m.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i>	<i>LN</i>	<i>LB</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>
	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	días	min	días	min	días	min
Noviembre	1,80	1,46	1,86	1	30	2	60	3	90
Diciembre	3,08	2,68	3,41	2	115	5	240	7	360
Enero	5,99	5,27	6,71	1	115	2	240	4	360
Febrero	4,69	4,48	5,71	1	115	3	240	4	360
Marzo	2,04	1,58	2,01	4	115	8	240	12	360

Tabla 7. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para tomate para industria cultivado en la zona centro. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

4. Lechuga

La densidad de plantación considerada fue de 8,3 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,3 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por cama (distanciadas a 0,8 m) y dos hileras de plantas por cama.

Lechuga de verano

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i>	<i>LN</i>	<i>LB</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>
	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	días	min	días	min	días	min
Septiembre	0,86	0,86	1,23	2	30	2	45	3	60
Octubre	1,67	1,41	2,02	4	120	6	190	8	245
Noviembre	4,64	4,30	6,16	1	120	2	190	2	245
Diciembre	4,86	4,45	6,38	1	120	2	190	2	245



Tabla 8. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para lechuga de verano cultivada en la zona centro. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

Lechuga de invierno

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Mayo	0,51	0,55	0,79	2	30	4	45	5	60
Junio	0,62	0,62	0,89	8	120	14	190	17	245
Julio	0,88	0,88	1,26	6	120	10	190	12	245
Agosto	1,42	1,42	2,03	4	120	6	190	8	245

Tabla 9. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para lechuga de invierno cultivada en la zona centro. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

5. Melón

La densidad de plantación considerada fue de 0,8 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,9 m. Se consideró que una *CEe* de 3,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 20% para el suelo franco arenoso, 30% para el franco y 40% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por hilera de plantas, distanciadas a 2,5 m.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Septiembre	0,63	0,63	0,82	3	50	6	115	8	170
Octubre	2,99	2,73	3,57	2	215	5	460	8	680
Noviembre	3,76	3,42	4,47	2	215	4	460	6	680
Diciembre	2,80	2,40	3,13	3	215	6	460	9	680

Tabla 10. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para melón cultivado en la zona centro. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).



6. Zapallo

La densidad de plantación considerada fue de 0,4 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,8 m. Se consideró que una *CEe* de 3,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 20% para el suelo franco arenoso, 30% para el franco y 40% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por hilera de plantas distanciadas a 2,5 m.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Noviembre	0,88	0,54	0,70	3	50	6	100	9	150
Diciembre	1,63	1,23	1,61	5	190	10	400	15	600
Enero	4,04	3,32	4,34	2	190	4	400	6	600
Febrero	4,00	3,79	4,96	2	190	3	400	5	600
Marzo	2,01	1,54	2,02	4	190	8	400	12	600
Abril	0,89	0,89	1,17	7	190	14	400	21	600

Tabla 11. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para zapallo cultivado en la zona centro. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

7. Zanahoria

La densidad de plantación considerada fue de 50 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,5 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de dos laterales de riego por cama y seis hileras de plantas por cama (camas distanciadas a 0,8 m).

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Septiembre	0,86	0,86	1,23	3	30	5	45	6	60
Octubre	1,48	1,22	1,75	8	115	13	190	17	240
Noviembre	3,47	3,13	4,49	3	115	5	190	7	240
Diciembre	6,07	5,67	8,12	2	115	3	190	4	240
Enero	5,23	4,51	6,46	2	115	4	190	5	240
Febrero	2,63	2,42	3,47	4	115	7	190	9	240



Tabla 12. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para zanahoria cultivada en zona centro. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

Zona este

Estación meteorológica “San Martín” SMN

En las tablas de la 13 a la 20, las referencias correspondientes son las detalladas a continuación. *ETc* es la evapotranspiración de referencia, *LN* es la lámina neta de riego diaria, *LB* es la lámina bruta de riego diaria, *IR* es el intervalo de riego y *TR* es el tiempo de riego. En ellas se indica la demanda ambiental para el cultivo en cuestión (*ETc*, *LN* y *LB*) y las necesidades de riego (*IR* y *TR*) en cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

1. Ajo

La densidad de plantación considerada fue de 30 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,4 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por cama (distanciadas a 0,8 m) y dos hileras de plantas por cama.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Marzo	1,39	0,92	1,32	2	40	3	65	4	80
Abril	1,00	1,00	1,44	7	160	11	260	14	330
Mayo	0,88	0,88	1,26	8	160	13	260	16	330
Junio	0,80	0,80	1,14	9	160	14	260	18	330
Julio	0,86	0,86	1,24	8	160	13	260	17	330
Agosto	1,54	1,54	2,20	5	160	7	260	9	330
Septiembre	2,83	2,83	4,06	2	160	4	260	5	330
Octubre	4,55	4,29	6,15	2	160	3	260	3	330
Noviembre	5,84	5,50	7,89	1	160	2	260	3	330
Diciembre	5,30	4,90	7,02	1	160	2	260	3	330

Tabla 13. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para ajo cultivado en la zona este. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).



2. Cebolla tipo valenciana

La densidad de plantación considerada fue de 40 plantas m^{-2} . La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,4 m. Se consideró que una CEe de $2,0 \text{ dS } m^{-1}$ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El PSM , seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de 1 lateral de riego por cama (distanciadas a 0,5 m) y dos hileras de plantas por cama.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i>	<i>LN</i>	<i>LB</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>
	$mm \text{ día}^{-1}$	$mm \text{ día}^{-1}$	$mm \text{ día}^{-1}$	días	min	días	min	días	min
Septiembre	1,01	1,01	1,45	2	25	3	40	4	50
Octubre	2,17	1,91	2,74	4	100	6	160	7	200
Noviembre	3,76	3,42	4,90	2	100	3	160	4	200
Diciembre	6,57	6,16	8,83	1	100	2	160	2	200
Enero	5,70	4,98	7,14	1	100	2	160	3	200

Tabla 14. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para cebolla (tipo valenciana) cultivada en la zona centro. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

3. Tomate para industria

La densidad de plantación considerada fue de 2,2 plantas m^{-2} . La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,8 m. Se consideró que una CEe de $3,5 \text{ dS } m^{-1}$ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El PSM , seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 20% para el suelo franco arenoso, 30% para el franco y 40% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por hilera de plantas, distanciadas a 1,5 m.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i>	<i>LN</i>	<i>LB</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>
	$mm \text{ día}^{-1}$	$mm \text{ día}^{-1}$	$mm \text{ día}^{-1}$	días	min	días	min	días	min
Noviembre	1,95	1,61	2,05	1	30	2	60	3	90
Diciembre	3,33	2,93	3,73	2	115	4	240	6	360
Enero	6,53	5,81	7,41	1	115	2	240	3	360
Febrero	5,22	5,01	6,39	1	115	3	240	4	360
Marzo	2,26	1,79	2,28	3	115	7	240	11	360



Tabla 15. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para tomate para industria cultivado en la zona este. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

4. Lechuga

La densidad de plantación considerada fue de 8,3 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,3 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por cama (distanciadas a 0,8 m) y dos hileras de plantas por cama.

Lechuga de verano

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Septiembre	0,98	0,98	1,41	1	30	2	45	3	60
Octubre	1,86	1,60	2,29	3	120	5	190	7	245
Noviembre	5,03	4,69	6,72	1	120	2	190	2	245
Diciembre	5,25	4,85	6,95	1	120	2	190	2	245

Tabla 16. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para lechuga de verano cultivada en la zona este. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

Lechuga de invierno

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Mayo	0,61	0,65	0,93	2	30	3	45	4	60
Junio	0,78	0,78	1,11	7	120	11	190	14	245
Julio	1,08	1,08	1,55	5	120	8	190	10	245
Agosto	1,66	1,66	2,38	3	120	5	190	6	245

Tabla 17. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para lechuga de invierno cultivada en la zona este. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).



5. Melón

La densidad de plantación considerada fue de 0,8 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,9 m. Se consideró que una C_{Ee} de 3,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El PSM, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 20% para el suelo franco arenoso, 30% para el franco y 40% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por hilera de plantas, distanciadas a 2,5 m.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i>	<i>LN</i>	<i>LB</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>
	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	días	min	días	min	días	min
Septiembre	0,72	0,72	0,94	2	50	5	115	7	170
Octubre	3,33	3,07	4,01	2	215	5	460	7	680
Noviembre	4,08	3,74	4,88	2	215	4	460	6	680
Diciembre	3,03	2,62	3,43	3	215	5	460	8	680

Tabla 18. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para melón cultivado en la zona este. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

6. Zapallo

La densidad de plantación considerada fue de 0,4 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,8 m. Se consideró que una C_{Ee} de 3,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El PSM, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 20% para el suelo franco arenoso, 30% para el franco y 40% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por hilera de plantas distanciadas a 2,5 m.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i>	<i>LN</i>	<i>LB</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>
	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	días	min	días	min	días	min
Noviembre	0,95	0,61	0,80	2	50	5	100	8	150
Diciembre	1,77	1,36	1,78	4	190	9	400	14	600
Enero	4,40	3,68	4,82	2	190	3	400	5	600
Febrero	4,46	4,25	5,55	1	190	3	400	4	600
Marzo	2,22	1,76	2,30	3	190	7	400	11	600
Abril	1,03	1,03	1,34	6	190	12	400	18	600



Tabla 19. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para zapallo cultivado en la zona este. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

7. Zanahoria

La densidad de plantación considerada fue de 50 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,5 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de dos laterales de riego por cama y seis hileras de plantas por cama (camas distanciadas a 0,8 m).

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Septiembre	0,98	0,98	1,41	3	30	4	45	5	60
Octubre	1,65	1,39	1,99	7	115	12	190	15	240
Noviembre	3,76	3,42	4,90	3	115	5	190	6	240
Diciembre	6,57	6,16	8,83	2	115	3	190	3	240
Enero	5,70	4,98	7,14	2	115	3	190	4	240
Febrero	2,93	2,72	3,90	4	115	6	190	8	240

Tabla 20. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para zanahoria cultivada en zona este. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

Zona norte

Estación meteorológica “Mendoza Aeropuerto” SMN

En las tablas de la 21 a la 28, las referencias correspondientes son las detalladas a continuación. *ETc* es la evapotranspiración de referencia, *LN* es la lámina neta de riego diaria, *LB* es la lámina bruta de riego diaria, *IR* es el intervalo de riego y *TR* es el tiempo de riego. En ellas se indica la demanda ambiental para el cultivo en cuestión (*ETc*, *LN* y *LB*) y las necesidades de riego (*IR* y *TR*) en cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).



1. Ajo

La densidad de plantación considerada fue de 30 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,4 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por cama (distanciadas a 0,8 m) y dos hileras de plantas por cama.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Marzo	1,32	0,86	1,23	2	40	3	65	4	80
Abril	0,93	0,93	1,33	8	160	12	260	15	330
Mayo	0,77	0,77	1,10	9	160	15	260	19	330
Junio	0,66	0,66	0,95	11	160	17	260	21	330
Julio	0,72	0,72	1,03	10	160	16	260	20	330
Agosto	1,37	1,37	1,97	5	160	8	260	10	330
Septiembre	2,57	2,57	3,69	3	160	4	260	6	330
Octubre	4,36	4,10	5,87	2	160	3	260	3	330
Noviembre	5,74	5,40	7,74	1	160	2	260	3	330
Diciembre	5,24	4,83	6,93	1	160	2	260	3	330

Tabla 21. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para ajo cultivado en la zona norte. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

2. Cebolla tipo valenciana

La densidad de plantación considerada fue de 40 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,4 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de 1 lateral de riego por cama (distanciadas a 0,5 m) y dos hileras de plantas por cama.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Septiembre	0,92	0,92	1,31	2	25	3	40	4	50
Octubre	2,08	1,82	2,61	4	100	6	160	8	200
Noviembre	3,69	3,35	4,81	2	100	3	160	4	200



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría
de Bioeconomía

Diciembre	6,49	6,08	8,72	1	100	2	160	2	200
Enero	5,61	4,89	7,01	1	100	2	160	3	200

Tabla 22. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para cebolla (tipo valenciana) cultivada en la zona norte. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

3. Tomate para industria

La densidad de plantación considerada fue de 2,2 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,8 m. Se consideró que una *CEe* de 3,5 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 20% para el suelo franco arenoso, 30% para el franco y 40% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por hilera de plantas, distanciadas a 1,5 m.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Noviembre	1,91	1,57	2,01	1	30	2	60	3	90
Diciembre	3,29	2,89	3,68	2	115	4	240	7	360
Enero	6,43	5,71	7,28	1	115	2	240	3	360
Febrero	5,09	4,88	6,23	1	115	3	240	4	360
Marzo	2,15	1,68	2,14	4	115	8	240	11	360

Tabla 23. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para tomate para industria cultivado en la zona norte. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

4. Lechuga

La densidad de plantación considerada fue de 8,3 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,3 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por cama (distanciadas a 0,8 m) y dos hileras de plantas por cama.



Lechuga de verano

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Septiembre	0,89	0,89	1,28	1	30	2	50	3	60
Octubre	1,78	1,52	2,17	3	120	6	190	7	245
Noviembre	4,94	4,60	6,59	1	120	2	190	2	245
Diciembre	5,19	4,78	6,86	1	120	2	190	2	245

Tabla 24. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para lechuga de verano cultivada en la zona norte. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

Lechuga de invierno

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i> mm día ⁻¹	<i>LN</i> mm día ⁻¹	<i>LB</i> mm día ⁻¹	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min	<i>IR</i> días	<i>TR</i> min
Mayo	0,53	0,57	0,82	2	30	4	50	5	60
Junio	0,65	0,65	0,93	8	120	13	190	16	245
Julio	0,90	0,90	1,29	6	120	9	190	12	245
Agosto	1,48	1,48	2,13	4	120	6	190	7	245

Tabla 25. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para lechuga de invierno cultivada en la zona norte. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

5. Melón

La densidad de plantación considerada fue de 0,8 plantas m². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,9 m. Se consideró que una *CEe* de 3,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 20% para el suelo franco arenoso, 30% para el franco y 40% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por hilera de plantas, distanciadas a 2,5 m.



Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i>	<i>LN</i>	<i>LB</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>
	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	días	min	días	min	días	min
Septiembre	0,65	0,65	0,85	3	55	5	115	8	170
Octubre	3,18	2,92	3,82	2	215	5	455	7	680
Noviembre	4,01	3,66	4,79	2	215	4	455	6	680
Diciembre	2,99	2,59	3,38	3	215	5	455	8	680

Tabla 26. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para melón cultivado en la zona norte. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

6. Zapallo

La densidad de plantación considerada fue de 0,4 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,8 m. Se consideró que una *CEe* de 3,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 20% para el suelo franco arenoso, 30% para el franco y 40% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de un lateral de riego por hilera de plantas distanciadas a 2,5 m.

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i>	<i>LN</i>	<i>LB</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>
	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	días	min	días	min	días	min
Noviembre	0,93	0,59	0,78	2	50	5	100	8	150
Diciembre	1,75	1,34	1,75	4	190	9	400	14	600
Enero	4,34	3,62	4,73	2	190	3	400	5	600
Febrero	4,35	4,14	5,41	1	190	3	400	4	600
Marzo	2,11	1,65	2,15	4	190	7	400	11	600
Abril	0,95	0,95	1,24	6	190	13	400	19	600

Tabla 27. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para zapallo cultivado en la zona norte. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).



7. Zanahoria

La densidad de plantación considerada fue de 50 plantas m⁻². La profundidad de raíz del cultivo se fijó en 0,5 m. Se consideró que una *CEe* de 2,0 dS m⁻¹ disminuye el 10% del rendimiento del cultivo. El *PSM*, seleccionado en función del distanciamiento de hileras, fue del 70% para el suelo franco arenoso, 80% para el franco y 90% para el franco arcilloso. Se consideró el uso de dos laterales de riego por cama y seis hileras de plantas por cama (camas distanciadas a 0,8 m).

Mes	Demanda ambiental			Franco arenoso		Franco		Franco arcilloso	
	<i>ETc</i>	<i>LN</i>	<i>LB</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>	<i>IR</i>	<i>TR</i>
	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	mm día ⁻¹	días	min	días	min	días	min
Septiembre	0,89	0,89	1,28	3	30	5	45	6	60
Octubre	1,57	1,32	1,89	8	115	12	190	16	240
Noviembre	3,69	3,35	4,81	3	115	5	190	6	240
Diciembre	6,49	6,08	8,72	2	115	3	190	3	240
Enero	5,61	4,89	7,01	2	115	3	190	4	240
Febrero	2,85	2,65	3,79	4	115	6	190	8	240

Tabla 28. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*), lámina neta (*LN*) y lámina bruta de riego (*LB*) para zanahoria cultivada en zona norte. Intervalos (*IR*) y tiempos de riego (*TR*) recomendados para cada tipo de suelo (franco arenoso, franco y franco arcilloso).

Consideraciones finales

La activa participación del productor en la gestión del agua en los predios irrigados, es un paso importante hacia el incremento de la eficiencia en el uso del recurso provincial. Es por ello, que el conocimiento aquí transferido permitiría orientar la ejecución de la planificación y programación del riego por goteo, teniendo en cuenta la complejidad que este sistema presenta.

Tal como se indicó anteriormente, debe tenerse en cuenta el ajuste en tiempo real de las láminas de riego determinadas en la programación inicial, debido a la variabilidad y dinámica de las condiciones ambientales de cada ciclo de cultivo. Así también, un cambio en la variedad, híbrido y clon de la especie a cultivar y/o stand de plantas por unidad de superficie modificará los requerimientos hídricos de la parcela o subunidad de riego en cuestión.

Por último, es de suma importancia realizar el mantenimiento periódico de todos componentes del equipo (reservorio, bombas, filtros, tuberías, válvulas, laterales, goteros), incluyendo mecanismos de control y seguridad del mismo.



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría
de Bioeconomía

Bibliografía

- Chambouleyron, J. (2005). Riego y drenaje. Mendoza: EDIUNC
- Costa, E. Fernandes da; Vierra, R. Faria y Vianan, P.A. (1994). Quimigação. Aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasil: EMBRAPA. 315 p.
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO. 299 pp. (Riego y Drenaje, 56)
- Gobierno de la República Argentina. (2007). 2da Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Sustentable. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 199 p.
- Hulme, M. y Sheard, N. (1999). Escenarios de cambio climático para Argentina. Norwich, Reino Unido: Unidad de Investigación Climática. 6 p. Disponible en: <http://www.cru.uea.ac.uk>.
- IDR. (2016). Estimación de la superficie cultivada con hortalizas en Mendoza, temporada 2013-2014. Mendoza, Argentina: Fundación Instituto de Desarrollo Rural.
- INDEC. (2002). Censo Nacional Agropecuario. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: http://www.indec.gob.ar/cna_index.asp.
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Cambridge, UK: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press.
- Labraga, J.C. y Villalba, R. (2009). Climate in the Monte Desert: Past trends, present conditions, and future projections. *Journal of Arid Environments*, 73: 154-163.
- Lavanderos, D.M., Lipinski, V.M. y Ribas, F. (2015). Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en sistema de riego por goteo. VII Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego, Mendoza, Argentina.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N. y Olguín, A. (2015). Mantenimiento de los equipos de riego. En: PROSAP y UCAR (Eds.), *Manual de capacitación 3. Riego por goteo*. San Juan, Argentina. 23 p.
- Lipinski, V.M. y Gaviola, S. (2008). Riego por goteo en las principales hortalizas en San Carlos, Mendoza. IV Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego, Mendoza, Argentina.
- Merriam, J.L. y Keller, J. (1992). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. University, U.S., Utah, USA: Logan, 271 p.
- Miranda, O. (2009). Trayectoria tecnológica y uso del agua en la agricultura argentina bajo riego. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, Sep-Dic: 277-291.
- Morábito, J. (2011). Riego presurizado en el 15% de los cultivos de Mendoza. *Diario Uno*. Mendoza, Argentina.
- Schilardi, C., Rearte, E., Martín, L. y Morábito, J. (2015). Diagnostico prospectivo del desempeño de métodos de riego en la provincia de Mendoza. Puntos de atención y estrategias de optimización. XXV Congreso Nacional del Agua, Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- SMN. (2017). Datos estadísticos de estaciones meteorológicas "Chacras de Coria", "San Martín" y "Mendoza Aeropuerto". EXP_165546. Buenos Aires, Argentina: Departamento de Procesamiento de datos, Servicio Meteorológico Nacional (<http://www.smn.gov.ar/>).
- USDA. (1999). *Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo*. Suelos, I.d.C.d., Washington, USA.