



CAPÍTULO 6

RIEGO

Leovigildo Medina M., Ing. Agrónomo Mg. en Cs.

1. Introducción

El avellano europeo es una especie sensible a la falta de agua y presenta una baja capacidad de regulación estomática. Los árboles en condiciones de estrés hídrico presentan una disminución de la funcionalidad foliar y capacidad asimilativa de la copa (Ellena, 2013), (Bignami *et al* 1999).

Los sistemas productivos dependen estrechamente del uso de agua, siendo esta el principal factor limitante de la producción en gran parte del mundo (Steduto *et al.*, 2012). Se ha observado que en climas benignos, no entra en dormancia y presenta crecimiento vegetativo durante todo el año (Lagerstedt, 1978); es un árbol que no tolera veranos excesivamente calurosos y secos (Valenzuela *et al.*, 2000). El avellano europeo (como cultivo) puede alcanzar producciones satisfactorias en condiciones de clima moderado, con veranos frescos e inviernos benignos, sin grandes oscilaciones de temperatura (Medel, 1986; Baldwin, 1998 y Lemus, 2004).

La respuesta productiva de un árbol frutal dependerá de los procesos ecofisiológicos internos de la planta y de las condiciones externas generadas por el clima y suelo (Santibáñez, 2012), lo que se encuentra asociado al crecimiento y reproducción de una planta, influenciada por la capacidad del follaje para realizar fotosíntesis. La capacidad de fotosíntesis depende de la radiación solar, temperatura y estado hídrico de las hojas (Santibáñez, 1994). A su vez, la cantidad total de carbohidratos a producir en una planta es influenciada por la capacidad de intercepción de radiación, es decir del área foliar efectiva de los árboles (Gil, 2000). Las variables ambientales también generan cambiantes condiciones de respuesta, en donde ellas (según su intensidad), se identifican como niveles de estrés: térmico, radiación e hídrico, entre otros (Santibáñez, 1994; Allen y Ort, 2001).

El estrés hídrico se manifiesta en dos dimensiones, el primero donde el agua interviene en el equilibrio interno de los tejidos y célula, y un segundo donde el viento determina que la planta active mecanismos de pérdida de agua, lo que se realiza mediante apertura y cierre de estomas (Hsiao, 1990; Santibáñez, 2012). El cierre de estomas afecta el proceso de fotosíntesis, reduciendo en consecuencia las tasas de crecimiento y productividad (Turner, 1986; Santibáñez, 2012).

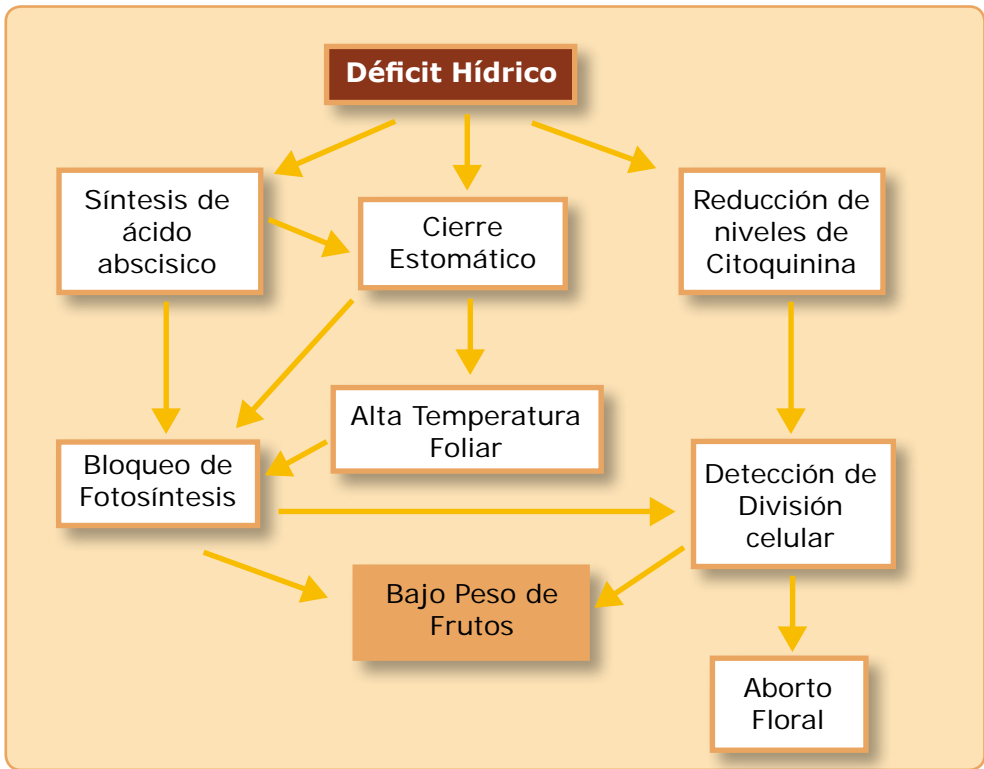


Figura 1. Secuencia de causa y efecto de estrés hídrico

Fuente: Adaptado de Santibáñez, 2012.

La falta de agua disponible para un cultivo, provoca una marcada reducción de la fotosíntesis y en consecuencia reduce la producción de carbohidratos, afectándose el rendimiento (Gil, 2000; Santibáñez, 2012).

El avellano Europeo (*Corylus avellana* L.), es una especie sensible al estrés hídrico ambiental (Schulze y Küppers, 1979; Turner et al., 1984), en áreas en donde el déficit de vapor producido entre el ambiente y la hoja es desfavorable para el cultivo. Por ello, es necesario generar una condición de mayor abastecimiento de agua mediante la aplicación de riego (Girona et al., 1994).

El avellano, tiene un ciclo anual bastante complejo por la sobreposición de estados fenológicos durante los meses de diciembre y enero. En tal sentido, requiere una adecuada disponibilidad hídrica para atenuar la competencia entre los diferentes órganos del árbol (Gispert et al., 2005). Para avellano se ha descrito que la presencia o no de frutos afecta a otros procesos fisiológicos como la fotosíntesis (De Jong, 1986), dado que la producción de avellano es variable, existiendo años de baja producción. A la vez, también se ha demostrado que la aplicación de agua en la etapa de llenado de frutos, tiene incidencia en el producto final (Weinbaum et al., 1994; Girona et al., 1994).

Los árboles de esta especie frutal, en condiciones de estrés hídrico, presentan una disminución de la funcionalidad foliar y la capacidad asimilativa de la copa (Girona *et al.*, 1994), donde la ocurrencia de un estrés hídrico desde polinización a llenado de grano puede reducir la producción en un 60 % (Mingeau *et al.*, 1994). También se afecta negativamente el crecimiento, formación de la estructura, productividad de la planta y algunas características industriales de las avellanas, como el aumento del porcentaje de frutos vanos y disminución del rendimiento al descascarado (Girona *et al.*, 1994); otro período sensible es 10 días antes de la fertilización de la flor (Mingeau *et al.*, 1994). Por otra parte, la ocurrencia de estrés hídrico durante la etapa de fructificación del avellano europeo ocasiona una caída prematura de frutos (Girona *et al.*, 1994).

Esta especie frutal, en forma extensiva y en climas con buena distribución de agua, logra rendimientos aceptables que permiten sostener la rentabilidad de los huertos. Sin embargo, cuando la distribución de lluvias es inadecuada puede afectarse el rendimiento de frutos, lo que se acentúa con escasez de agua en etapas de formación y llenado de éstos, dado una baja capacidad de producir asimilados (inducida por la escasa disponibilidad de agua) (Marsal *et al.*, 1997), (Marsal *et al.*, 1997; Goldhamer y Shackel, 1990); al ocurrir en períodos o etapas sensibles (Chalmers *et al.*, 1981) puede influenciar el rendimiento al descascarado (Bignami *et al.*, 2009).

Un aspecto interesante a destacar es que las necesidades de agua del avellano europeo son crecientes durante el crecimiento vegetativo, inducción floral y desarrollo de la avellana (Valenzuela *et al.*, 2004; Baldwin, 2009).

En la literatura se menciona que la causa de bajos rendimientos es la falta de riego (Solar y Štampar, 2011), en cambio la aplicación regular del riego ocasiona un impacto importante en el rendimiento de este árbol frutal (Dias *et al.*, 2005; Gispert *et al.*, 2005). Por otra parte, la aplicación de riegos suplementarios permiten mejorar su rendimiento respecto de la condición sin regadío (Baldwin, 2009).

Sobre esta materia, Gispert *et al.*, (1996) señalaron que la aplicación de un volumen de riego equivalente a $4000 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ al año, distribuida en una fracción de 40 a 60% de la fracción de sombra y en una profundidad de suelo, de 30 a 40 cm, es suficiente para obtener una buena respuesta vegetativa y de rendimiento en esta especie frutal. En relación a ello, otros investigadores sostienen que el volumen de agua requerido para este árbol frutal es de $2.500\text{-}3000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ al año (Valenzuela *et al.*, 2004).

Los diferentes cultivares varían en las exigencias de tipo climática, presentando algunos un menor grado de tolerancia y otros un mayor grado de adaptación a diferentes condiciones de clima (Medel, 1986).

Cuadro 1. Estimadores climáticos para avellano europeo

Estimador Climático	Severa	Limitación Moderada	Sin Limitación
Radiación (Kcal cm ⁻² año ⁻¹)	< 100	100 – 110	> 110
Temperatura anual (°C)	<11	11 – 12	> 12
Horas frío (N°)	< 600	600 – 800	> 800
Período térmico vegetativo (meses)	< 5	5 – 6	> 6
Temperatura verano (°C)	<14	14-15	>15
Periodo libre de heladas (meses)	< 4	4 - 5	> 5
Precipitación anual (mm)	< 600	600 – 800	> 800
Precipitación primavera-verano (mm)	< 300	300 – 600	> 600
Período seco (meses)	>4	2 - 4	< 2

Fuente: Medel, 1986.

El avellano europeo no debe plantarse en suelos de mal drenaje (Barón *et al.*, 1997), poco profundos y pesados (no tolera excesos de agua) (Tous *et al.*, 1994; Tombesi, 1994), o delgados y en suelos calcáreos. Los árboles pueden crecer bien en este tipo de suelo hasta los primeros 8 a 10 años, pero después producen escasos frutos, dado su pobre sistema radicular, más bien superficial (Tous *et al.*, 1994; Tombesi, 1994; 2001; Grau, 2007). A pesar de esto, la mayoría de sus raíces se encuentran en los primeros 60 cm de profundidad (Barón *et al.*, 1997; Ellena 2010).

Este árbol requiere riego en condiciones de climas cálidos, los cuales deben aplicarse oportunamente, ya que ocurre una caída prematura de frutos al afectarse por una ligera sequía (Girona *et al.*, 1994). En secano requiere suficientes precipitaciones en primavera y verano, y un mínimo de lluvia otoñal para mantener una buena vegetación al momento de aparición de los órganos florales y del desarrollo del fruto (Girona *et al.*, 1994).

Las necesidades de agua son particularmente elevadas durante el período que abarca el crecimiento vegetativo, la inducción floral y el desarrollo de la avellana (Girona *et al.*, 1994; Valenzuela *et al.*, 2000). Por ello, Gispert *et al* (2005) señala que el cultivo de avellano europeo debe regarse en primavera-verano. Aquellos riegos aplicados solamente en verano o reducciones de un 50% de la cantidad de agua requerida, afectan la producción y calidad de frutos.

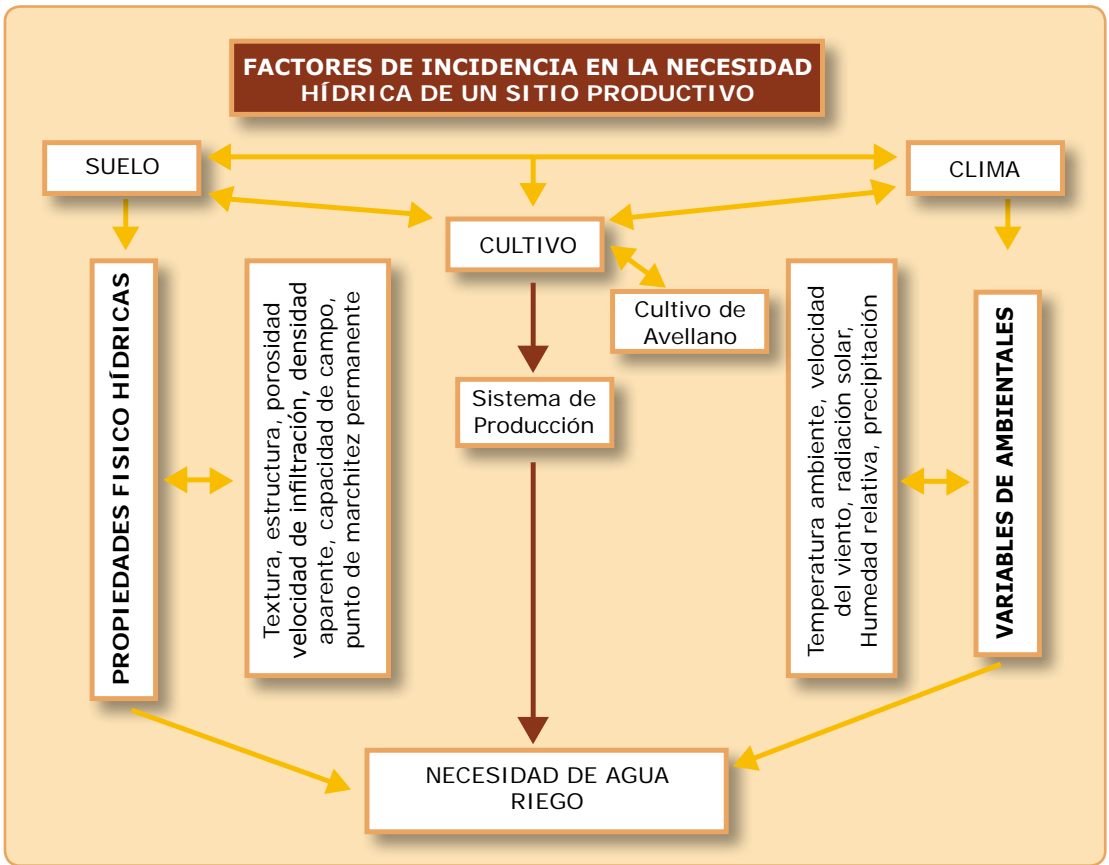


Figura 2. Esquema simplificado de necesidad de agua para un huerto de avellano europeo.

2. Programación de riego

2.1 Determinación de necesidades de riego

La cantidad de agua a aplicar en un huerto de avellano europeo depende de las interacciones suelo-planta-clima. Para estas condiciones, se debe determinar la cantidad de agua evaporada desde el suelo y la cantidad de agua transpirada y utilizada por este árbol frutal (Allen *et al.*, 2006; Rojas *et al.*, 2001) y en su conjunto se denomina evapotranspiración (Allen *et al.*, 2006). Para determinar las necesidades de agua a aplicar a un frutal, mediante riego, se han desarrollado y experimentado diversas metodologías que relacionan elementos del clima, disponibilidad de agua en el suelo y la planta en diferentes estados de desarrollo (Jara y Valenzuela, 1998).

Una de las variables que se necesita determinar es la evapotranspiración de referencia (ET_o). Este concepto considera una cubierta referencial de pradera de gramíneas en condiciones óptimas de crecimiento y abastecimiento de agua (Allen *et al.*, 2006). Esta condición permite que la determinación de la evapotranspiración solo dependa de la demanda atmosférica (Rojas *et al.*, 2001). Para la determinación de ET_o se han desarrollado una gran cantidad de modelos empíricos, siendo los más usados los siguientes: Blanney-Creedley, Turk, Priestley-Taylor y Penman-Montieth (Ortega-Farías *et al.*, 1998; Allen *et al.*, 2006).

Una vez establecido el valor de ET_o , se debe determinar la cantidad de agua a aplicar a un cultivo, que se denomina evapotranspiración del cultivo (ET_c). El valor de ET_c , corresponde a la tasa de evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades, condición óptima de suelo, fertilidad y agua (Marcelis *et al.*, 2009).

En el país, existen datos de evapotranspiración de referencia diaria que pueden consultarse en el sitio web www.agroclima.cl; <http://agromet.inia.cl>.

A modo de ejemplo, se muestran a continuación datos de evapotranspiración de referencia y precipitación para algunas localidades del país (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Datos promedios de evapotranspiración de referencia en algunas localidades del sur de Chile.

Mes	Días	N° Evapotranspiración de Referencia, ET_o (mm mes ⁻¹)				
		Angol	Nueva Imperial	Gorbea	Río Bueno	Osorno
Julio	31	36	20	18	10	17,9
Agosto	31	54	30,6	37	24	24,5
Septiembre	30	70	57,8	64	44	40,8
Octubre	31	126	83,3	88	78	64,9
Noviembre	30	165	101,2	119	94	95,7
Diciembre	31	247	145,3	121	112	138,8
Enero	31	237	161,3	185	150	143,7
Febrero	28	208	126,1	162	152	104,8
Marzo	31	148	93,5	131	111	73,9
Abril	30	104	48	79	64	37,7
Mayo	31	47	27,5	40	30	21,8
Junio	30	39	26,3	21	8	14,6

Cuadro 3. Datos promedios de precipitación mensual acumulada en algunas localidades del sur de Chile.

Mes	N° Días	Precipitación, Pp (mm mes ⁻¹)				
		Angol	Nueva Imperial	Gorbea	Río Bueno	Osorno
Julio	31	207,9	218,1	274	192,4	225,6
Agosto	31	146,8	160,5	328	163,3	143,9
Septiembre	30	79,3	105,6	189	113,3	124
Octubre	31	44,3	99,2	135,8	60,5	72,9
Noviembre	30	23,6	59,9	123,3	46,2	60,8
Diciembre	31	18,4	63,7	105,1	40	43,3
Enero	31	21,4	50,2	52,3	41,5	63,6
Febrero	28	15,8	43	85,5	42,3	49,7
Marzo	31	25,6	41,2	67,4	57,6	46,4
Abril	30	56,8	91,1	167,3	87,2	114,7
Mayo	31	190,1	236,6	301,2	200,2	253,7
Junio	30	224,8	224,9	309,7	222,7	184,4

La cantidad de agua consumida por el cultivo depende de su estado de desarrollo, y se representa por el coeficiente de cultivo (K_c), cuyo valor se obtiene de la relación entre evapotranspiración de cultivo en condición estándar y evapotranspiración de referencia:

$$K_c = ET_c / ET_o$$

El valor de K_c refleja las diferencias entre el cultivo y la superficie de referencia. Como las condiciones del cultivo varían, en función de las etapas de crecimiento, se genera una curva de valores que refleja las condiciones de cobertura vegetal durante el ciclo vegetativo (Allen *et al.*, 2006).

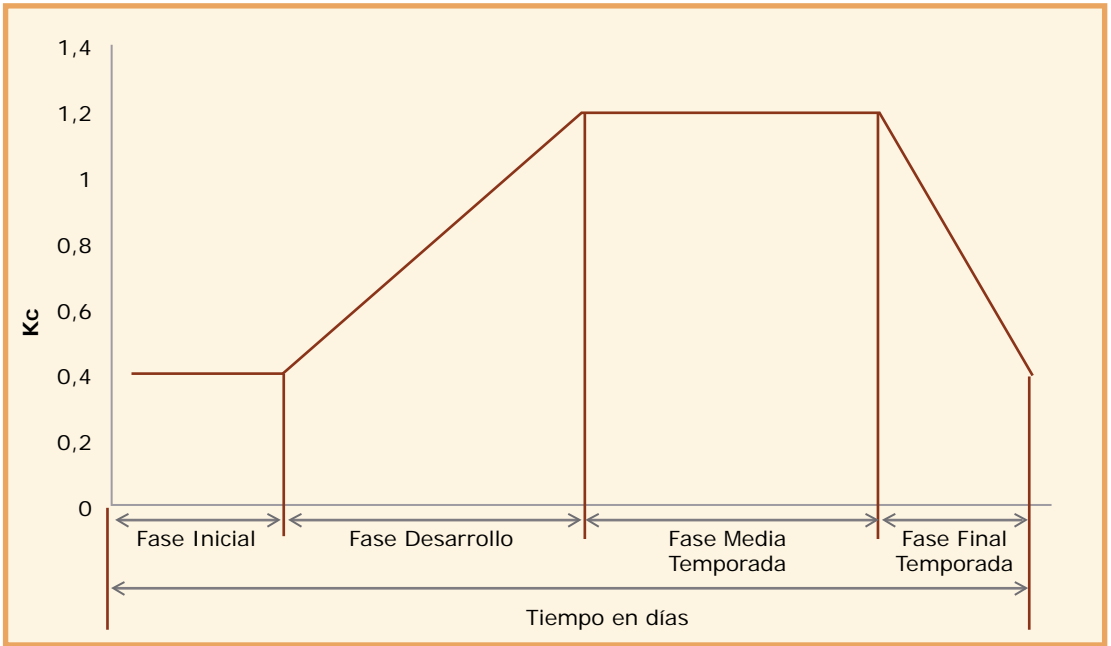


Figura 3. Curva generalizada de K_c

Fuente: Allen *et al.*, 1998

El coeficiente de cultivo (K_c), es propio de cada especie y de la etapa del ciclo vegetativo en que se encuentre. El valor de K_c permite calcular la evapotranspiración de cultivo (ET_c) a partir de la evapotranspiración de referencia (ET_0). Los valores del parámetro están relacionados con las características de cada cultivo, por lo cual son específicos y dependen de las etapas fenológicas de éste, por ello sus valores son variables en el tiempo (Allen *et al.*, 1998).

Los valores presentados (Figura 4) fueron obtenidos del informe final de la Dirección General de Aguas (DGA), estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras (Ayala *et al.*, 2007); quien generó la información desde boletín FAO 56 (Allen *et al.*, 1998). Los valores son referenciales y en cada huerto se debe realizar la validación de sus valores.

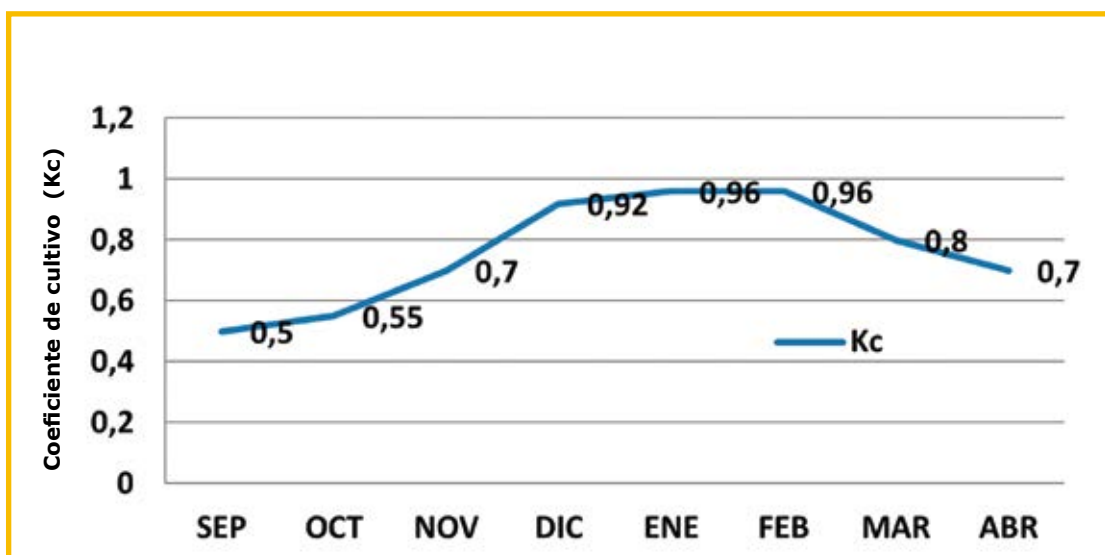


Figura 4. Coeficiente de cultivo referencial para avellano europeo.

Fuente: Adaptado de Allen *et al.* (1998).

Conocido el valor de K_c del cultivo se puede determinar la necesidad de agua, es decir la evapotranspiración (ET_c) mediante el uso de la siguiente expresión:

$$ET_c \text{ (mm día}^{-1}\text{)} = ET_o \text{ (mm día}^{-1}\text{)} \times K_c$$

Donde:

ET_c : evapotranspiración de cultivo en mm día^{-1}

ET_o : evapotranspiración de referencia en mm día^{-1}

K_c : coeficiente de cultivo, representa el estado de desarrollo fenológico del árbol de avellano europeo, adimensional (-).

Con este procedimiento se establece la cantidad de agua en mm día^{-1} que ha consumido un cultivo en una superficie unitaria, es decir 1 m^2 . Sin embargo, los árboles frutales se encuentran en condiciones hileradas y no ocupan toda la superficie. De este modo, para un uso eficiente del agua a aplicar se debe ajustar la superficie individual del árbol.

El área individual (A_i) por cada árbol (m^2), corresponde al área asignada que tiene cada árbol frutal al interior de la plantación y se refiere a la multiplicación de distancia sobre hilera por distancia entre hilera.

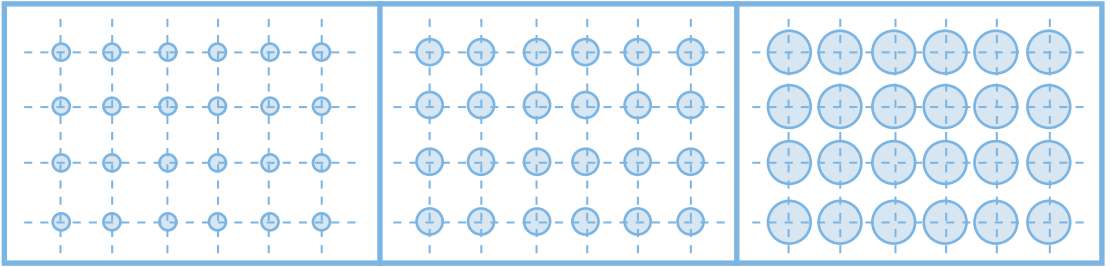


Figura 5. Esquema referencial de evolución del área potencial y disponible respecto al área de sombra al medio día.

El área de cobertura (A_c), corresponde al área de sombreado de cada árbol, se sugiere evaluar al menos dos veces por mes durante la temporada.

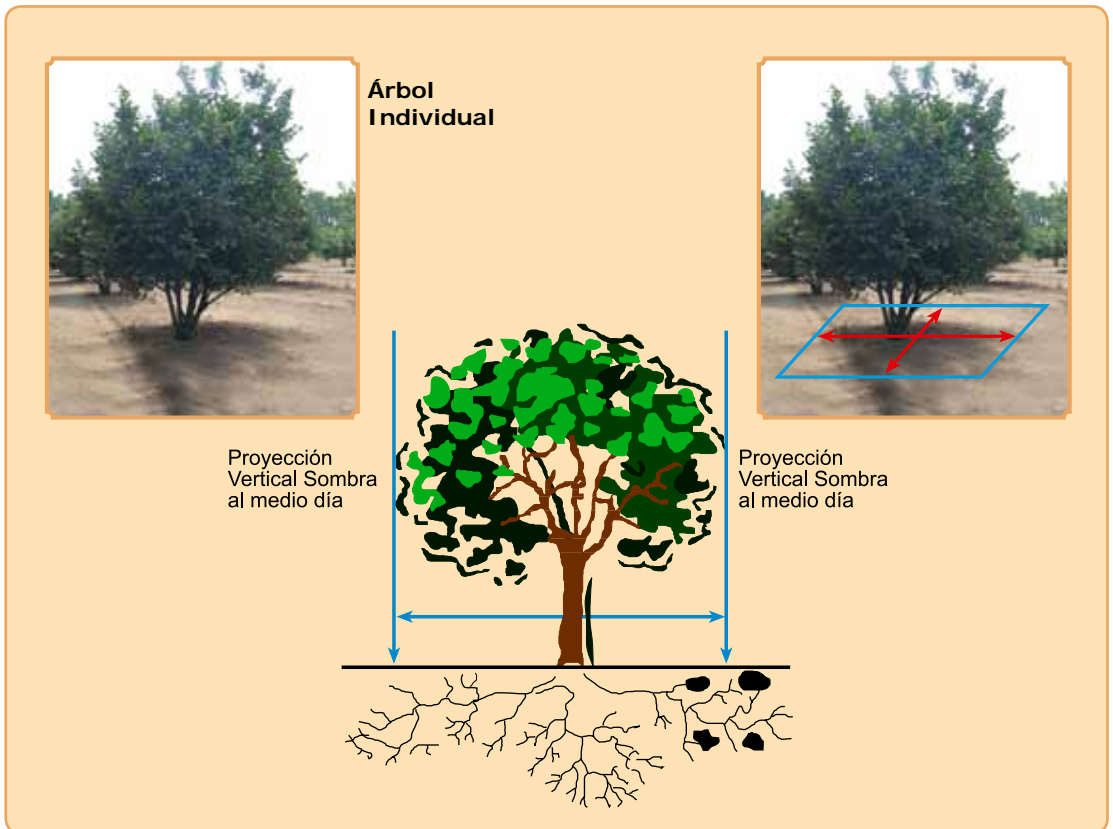


Figura 6. Área individual y área de cobertura de un árbol.

Porcentaje de sombreamiento (Ps), es la relación existente entre área de cobertura y área individual.

$$Ps = (Ac / Ai) \times 100$$

Donde:

Ps: porcentaje de sombra (%).

Ac: área de cobertura (m²).

Ai: área potencial de cobertura (m²)

Cuadro 4. Valores de corrección de cobertura.

Corrección de cobertura (Kr)			
Porcentaje de sombra (Ps)	Kr	Porcentaje de sombra (Ps)	Kr
10	12	60	70
12	14,4	62	72,4
14	16,8	64	74,8
16	19,2	66	77,2
18	21,6	68	79,6
20	24	70	82
22	26,2	72	84,4
24	28,4	74	86,8
26	30,6	76	89,2
28	32,8	78	91,6
30	35	80	94
32	37,4	82	95,2
34	39,8	84	96,4
36	42,2	86	97,6
38	44,6	88	98,8
40	47	90	100
42	49,4	92	100
44	51,8	94	100
46	54,2	96	100
48	56,6	98	100
50	59	100	100
52	61,2	-	-
54	63,4	-	-
56	65,6	-	-
58	67,8	-	-

Fuente: Keller y Karmeli, 1975.

Al realizar este ajuste se logra una mejor estimación del agua a aplicar al cultivo o requerimiento neto de riego (R_n), en donde la dosis de agua se determina al multiplicar el coeficiente de cobertura (K_r) por la superficie total o potencial disponible para el árbol (A_i) y por la evapotranspiración del cultivo (ET_c) (Rojas *et al.*, 2001).

$$R_n = ET_c \times (K_r \times A_i)$$

Donde:

R_n : requerimiento neto de agua, en litros.

ET_c : evapotranspiración del cultivo, $l\ m^{-2}$

K_r : factor de corrección por cobertura

A_i : área potencial del árbol, m^2 .

La aplicación de agua se realiza mediante técnicas de riego, a las cuales se ha determinado un valor de eficiencia de aplicación, que debe considerarse en la determinación de la cantidad bruta de agua a aplicar a un árbol (Rojas *et al.*, 2001).

$$R_b = R_n / E_{fa}$$

Donde:

R_b : requerimiento bruto de agua, en litros

R_n : requerimiento neto de agua, en litros

E_{fa} : eficiencia de aplicación de agua.

La eficiencia de aplicación de agua es la relación de agua efectiva a utilizar respecto de la aplicada (Brouwer *et al.*, 1989).

E_{fa} = (Volumen de agua utilizada / Volumen de agua aplicada).

Cuadro 5. Valores de eficiencia de aplicación, según método de riego.

Método de riego	Normal	Conducción californiana
Tendido	30	35
Surco	45	50
Surco en contorno	50	60
Bordes en contorno	50	65
Bordes Rectos	60	65
Pretiles	60	65
Tazas	65	70
Aspersión	75	-
Microjet	85	-
Microaspersión	85	-
Goteo	90	-

Fuente: Proyectos CNR.

Una vez determinado el volumen bruto de agua a aplicar, se debe elegir la técnica a utilizar. En el caso de riego localizado con aplicación del agua mediante goteros, ella se aplica gota a gota en un determinado punto, ingresando al suelo de forma vertical y horizontal, formando un bulbo húmedo (Fernández *et al.*, 2010).

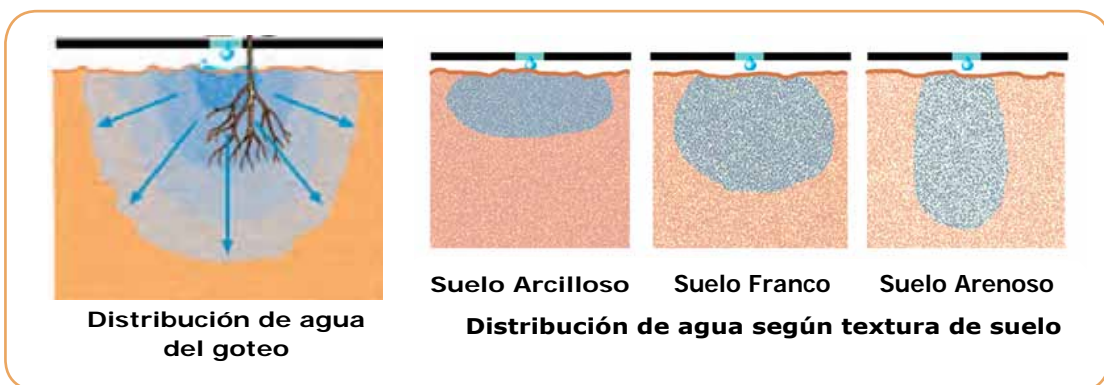


Figura 7. Esquema movimiento del agua en el suelo según textura.

Fuente: Manual de Riego para agricultores. Módulo riego localizado.

El emisor del gotero posee una descarga de agua en términos de volumen por unidad de tiempo, por lo general en litros por hora (l/h^{-1}). Esto permite establecer el tiempo de riego, mediante la siguiente expresión:

$$TR = (Nb \times 60) / (Ng \times qg)$$

Donde:

TR: tiempo de riego (min)

Nb: cantidad de agua bruta y operativa a colocar al suelo, en litros (por árbol o superficie unitaria)

Ng: número de goteros disponibles por unidad (por árbol o superficie unitaria)

qg : caudal del gotero, Lh^{-1} .



Figura 8. Tipos de goteros para la aplicación de agua en frutales.

2.2 Consideraciones físico-hídricas del suelo en la programación de riego.

Cuando se riega un árbol frutal, en el caso de avellano europeo, se aplica agua al suelo y luego la planta la extrae paulatinamente desde éste, en periodos entre riegos consecutivos (Ortega-Farías *et al.*, 2006); por lo tanto el suelo actúa como un depósito desde donde las plantas se abastecen en el tiempo, en función de sus requerimientos (Pizarro, 1996). La capacidad de almacenaje de agua del suelo depende de dos factores: capacidad de retención de agua del suelo y profundidad de raíces (Allen *et al.*, 2006; Jara y Valenzuela, 1998).

Los parámetros físico-hídricos del suelo, asociados a las prácticas de riego, se relacionan directamente con la textura y espesor de cada estrata del perfil del suelo (Valenzuela y Jara, 1979; Hillel, 1980) donde se desarrollan las raíces de los árboles (Carrasco y Ortiz, 2011). Según Narro-Farías (1994), el suelo actúa en numerosos procesos físicos, químicos y biológicos, lo que se considera como un respaldo y aporte de aire, agua y nutrientes (Hirzel, 2008).

La capacidad de retención de agua de un suelo depende de la textura, estructura, profundidad efectiva (profundidad útil de crecimiento del sistema radical), horizontes (estratos de suelo), densidad aparente, compactación, porosidad total, macro porosidad (Hillel, 1980; Carrasco *et al.*, 2008).

La densidad aparente (Dap) de un suelo es la relación existente entre su masa por unidad de volumen (Hillel, 1980), y asociada con la porosidad de éste (Carrasco, 2008).

Cuadro 6. Valores referenciales de densidad aparente (Dap) para suelos de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, según clase textural.

Textura	Dap (g cm ⁻³)	
	Mínimo	Máximo
Arenosa francosa	1,00	1,53
Franco Arenosa	0,6	1,47
Franco *	0,82	1,33
Franco **	0.26	0,85
Franco Limoso	0,57	1,42
Franco Arcillosa	1,11	1,44
Franco Arcillo limoso	0.6	1,57
Franco Arcillo Arenoso	1,13	1,39
Franco Arenoso Fino a Franco	1,07	1,47
Franco Arcillo Arenoso Grueso	0.91	1,6
Franco Arenoso Fino	0.68	1.38
Arcillosa	0,94	1,29

*Valores, Región de La Araucanía.** Valores, regiones de Los Ríos y Los Lagos.

Fuente: Adaptado de CIREN (2002 y 2003).

Los suelos arenosos tienen un gran volumen de macroporos, escasa retención de agua y disponibilidad reducida de ella para las plantas, las raíces penetran con facilidad pero se dificulta la disponibilidad de agua y nutrientes, lo que obliga a utilizar estrategias de riegos frecuentes (Carrasco y Ortíz, 2011).

Un suelo arcilloso tiene gran cantidad de microporos, por lo tanto almacena una gran cantidad de agua, pero el rango de entrega de ésta es limitada debido a las fuerzas de cohesión y adhesión del agua a las partículas de suelo (Hillel, 1980).

Por otro lado, un suelo franco o trumao, tiene un volumen de poros menor que el suelo arcilloso, pero su rango de disponibilidad de agua es mayor (Hillel, 1980, Carrasco y Ortiz 2011).

La porosidad de un suelo está ligada a la aireación y capacidad de retención de agua (Ferreira y Sellés, 2013) y se relaciona con la densidad aparente (Dap), (Hillel, 1980).

Los macroporos del suelo son aquellos que permiten el desarrollo de las raíces y el movimiento del agua en el suelo (Davies *et al.*, 1987; Wang *et al.*, 1996). Por su parte, los microporos corresponden a una red de poros finos del suelo, que retienen el agua luego de ocurrido el drenaje de éste, siendo vitales en la disponibilidad de agua para las raíces de los árboles (Hillel, 1980; Florentino, 1989). Así, para comparar suelos en función de la porosidad total, Bonneau y Souchier (1987) proponen:

Porosidad Total = Microporosidad (<3-8 μm) + Mesoporosidad + Macroporosidad (>30 μm)

La humedad del suelo es un parámetro dinámico, que varía rápidamente. Adicionalmente, el significado del contenido de humedad en éste no es absoluto y depende del tipo de suelo (Allen *et al.*, 2006; Medina *et al.*, 2013).

Para entender y hacer prácticos los conceptos de la física de suelos aplicada al riego se debe comprender esta situación, sabiendo que la capacidad de almacenaje de agua en el suelo depende de su textura y estructura (Hillel, 1980; Valenzuela y Jara, 1979).

El agua es retenida en el suelo por una energía o tensión y su valor se asocia a la cantidad de agua presente en éste, que dependerá de la textura asociada a tamaño de poros en donde actúan las fuerzas de cohesión y adhesión (Hillel, 1980). Por lo tanto, en sentido inverso, se puede asociar con la energía o tensión que debe generar una planta de avellano europeo para extraer el agua presente en el suelo (Medina *et al.*, 2013). Dicho valor varía con la humedad y la textura de éste. Se entiende por tensión a la fuerza con que las partículas de la matriz de suelo retienen el agua y que las plantas deben vencer para utilizarla (Hillel, 1980; Millar, 1993).

Dichos elementos deben considerarse al momento de establecer un programa de riego y no ocasionar un déficit de agua para las plantas.

La determinación de la humedad aprovechable del suelo utiliza la siguiente expresión:

$$H.A. = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{Dap}{DH_2O} * P$$

Donde:

H.A.: altura de agua aprovechable para el cultivo (mm). Un milímetro de altura corresponde a un litro de agua por un metro cuadrado de terreno

CC: contenido gravimétrico de humedad de suelo expresado en porcentaje (base peso seco) a una energía que oscila entre 1/10 a 1/33 bar. Indica el límite superior o máximo de agua útil para el árbol que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad. Se conoce como capacidad de campo

PMP: contenido gravimétrico de humedad del suelo expresado en porcentaje (base peso seco) a una energía de retención que oscila entre 10 a 15 bar. Indica el límite inferior o mínimo de agua útil para el árbol, asociado a un potencial matricial de 15 bar. Conocido como punto de marchitez permanente

Dap: densidad aparente del suelo ($g\ cm^{-3}$)

DH₂O: densidad del agua ($g\ cm^{-3}$)

P: profundidad de la estrata de suelo considerada útil para riego (mm).

Cuadro 7 .Valores de humedad gravimétrica referencial para capacidad de campo y punto de marchitez permanente, en suelos de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, según clase textural.

Textura	CC (%) a 0,33 Bar		PMP (%) a 15 Bar	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Arenosa francosa	28,9	9,8	12,9	4,1
Franco Arenosa	80,3	5	59,4	3
Franco *	43,1	22,5	22	10,3
Franco **	130,6	39,6	17,7	5,0
Franco Limoso	78,6	10,3	67,6	6,8
Franco Arcillosa	23,3	18,6	16	11,3
Franco Arcillo limoso	62	17,1	52,2	10,5
Franco Arcillo Arenoso	34,4	15,6	22	8,4
Franco Arenoso Fino a Franco	32,3	19	16,8	9,1
Franco Arcillo Arenoso Grueso	29	16	15,4	8,1
Franco Arenoso Fino	61,9	7	37,2	4
Arcillosa	42	29	26	17

*Valores, Región de La Araucanía.** Valores, regiones de Los Ríos y Los Lagos.
Fuente: Adaptado de CIREN (2002 y 2003).

Cuadro 8. Parámetros físico-hídricos del suelo a nivel de estratas, en un perfil igual a 60 cm. Sitios de observación: comunas de Nueva Imperial, Gorbea y Osorno.

Comuna: Nueva Imperial. Ubicación Coordenadas: 684129.53 m E, 5709252.86 m S. Sector: Fundo Santa Adela.

Perfil de suelo (cm)	CC (%)	PMP (%)	Dap (g cm ⁻³)
0-17	38	23	1,15
17-40	39	21	1,05
40-60	42	24	0,97

Comuna: Gorbea. Ubicación Coordenadas: 707203.65 m E 5667228.41 m S. Sector: Fundo San Francisco.

Perfil de suelo (cm)	CC (%)	PMP (%)	Dap (g cm ⁻³)
0-20	64	39	0,93
20-41	66	45	0,97
41-53	63	40	1,05
53-60	58	37	1,16

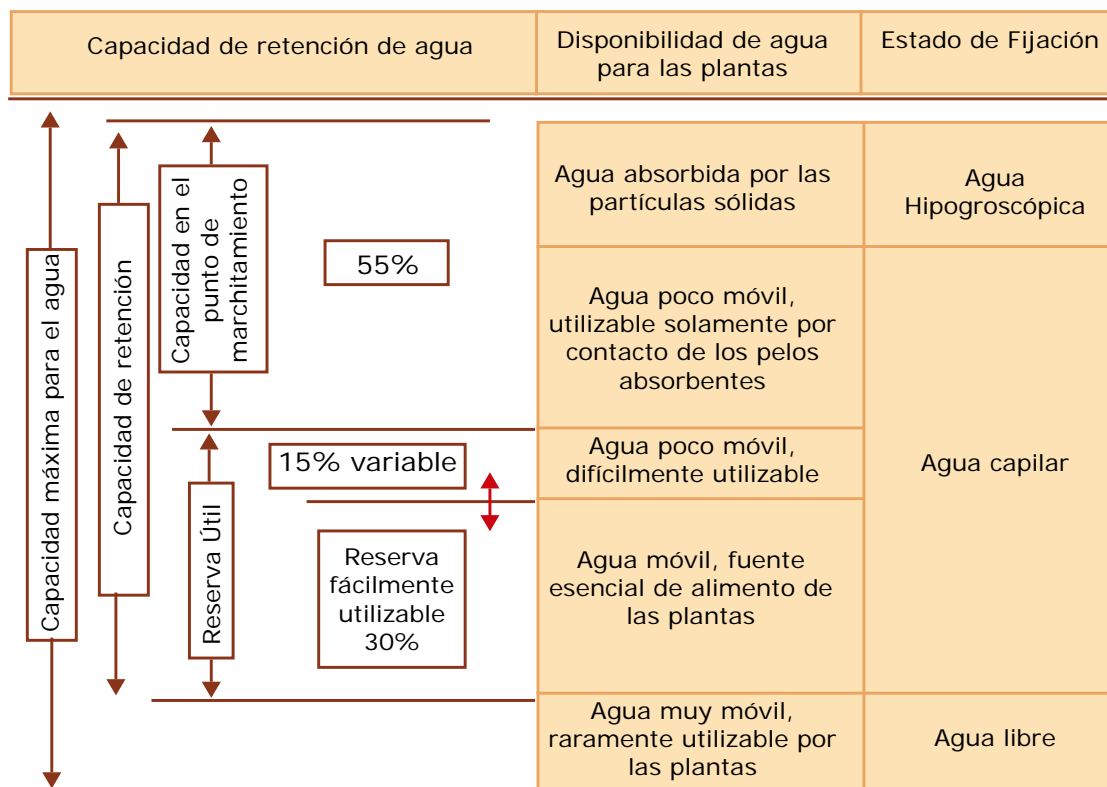
Comuna: Osorno. Ubicación Coordenadas: 641474.64 m E 5494968.27 m S. Sector: **Fundo Los Pinos.**

Perfil de suelo (cm)	CC (%)	PMP (%)	Dap (g cm ⁻³)
0-6	42	29	1,13
6-16	35	26	1,21
16-40	43	32	1,19
40-60	41	32	1,17

Fuente: Análisis físico-hídrico realizado en laboratorio de riego de la Universidad Católica de Temuco.

En el esquema siguiente se muestra la distribución de agua en un suelo

Figura 9. Esquema con los estados físicos del agua y uso agronómico.



Fuente: Tarjuelo, 2005.

2.3 Capacidad para el agua

El agua higroscópica forma una película que recubre las partículas de suelo, no es asimilable por las plantas (no absorbible), está fuertemente retenida por fuerzas superiores a 15 atmósferas. La fuerza de succión es de 31 atmósferas.

El agua capilar, está presente en los tubos capilares del suelo, existiendo agua capilar absorbible y no absorbible. El agua capilar no absorbible por las plantas, se introduce en los tubos capilares más pequeños < 0,2 micras. Está fuertemente retenida y la fuerza de succión es de 31-15 atmósferas. El agua capilar absorbible por las plantas, se encuentra en tubos capilares de 0,2-8 micras. Es agua útil para la vegetación, constituye la reserva durante los períodos secos. La fuerza de retención varía entre 15 a 1 atmósferas.

El agua libre, es aquella que se introduce y fluye por el suelo por efecto de la fuerza de gravedad.

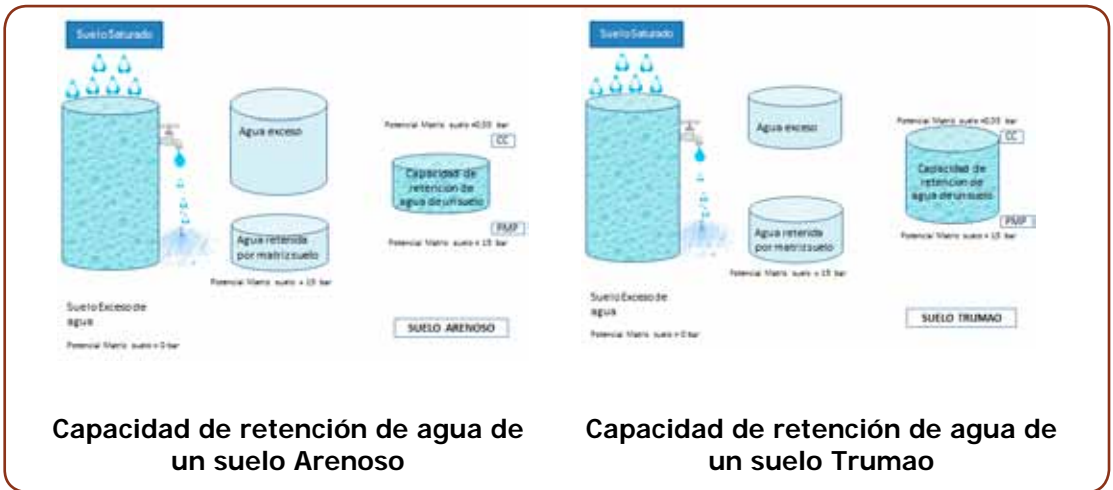


Figura 10. Esquema representativo de humedad aprovechable de un suelo arenoso y un suelo trumao, que refleja la disponibilidad de agua para las plantas, según textura de suelo.

Se debe considerar que los suelos rara vez son homogéneos en profundidad. En este sentido se debe efectuar un análisis de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente del suelo para cada estrata de éste que compone la profundidad de riego a considerar en el frutal (Valenzuela y Jara, 1979).

El cuándo regar se puede establecer en base a tres principios. El primero, basado en la variación de humedad del suelo, según un criterio de riego (CR), el cual indica el porcentaje tolerable de disminución de agua aprovechable del suelo (Valenzuela y Jara, 1979; Millar, 1993). Se sugiere un valor de CR = 50%, asignándose valores de CR = 30 % para cultivos sensibles, y de CR = 60 % para plantas que pueden soportar de buena manera un estrés hídrico (Valenzuela y Jara, 1979; Medina *et al.*, 2013).

El segundo aspecto a considerar es la profundidad de desarrollo de raíces de un cultivo, y se debe diferenciar las raíces efectivas (Valenzuela y Jara, 1979) para la absorción de agua y nutrientes (Hirzel, 2014) de aquellas que permiten un anclaje propio de la condición genética del frutal a considerar (Valenzuela y Jara, 1979).

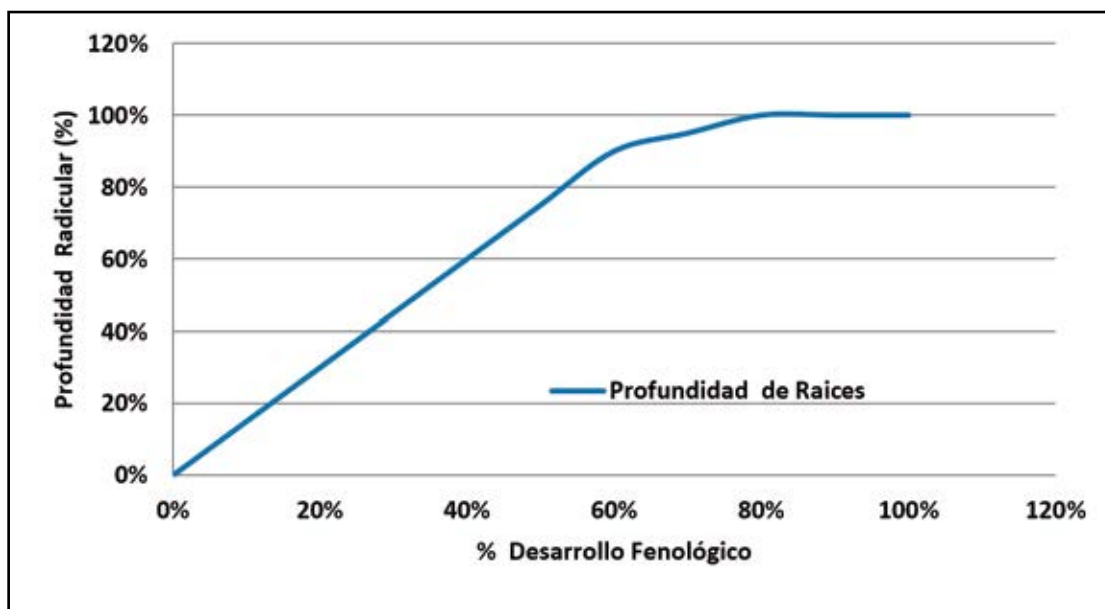


Figura 11. Evolución de la profundidad de raíces acorde con el desarrollo fenológico de una planta.

Un tercer elemento es la cantidad de agua que consume una planta, la cual puede variar con el clima, edad del frutal, ubicación geográfica, manejo de poda (Valenzuela y Jara, 1979; Allen *et al.*, 2006, Medina *et al.*, 2013).

La relación comparada entre la humedad aprovechable de un suelo, considerando un criterio de riego, permite establecer la cantidad de agua neta disponible para un frutal, generándose la siguiente expresión (Medina *et al.*, 2013):

$$\mathbf{Ln = HA \times CR}$$

Donde :

Ln : cantidad de agua neta disponible para la planta (mm)

HA : humedad aprovechable (mm)

CR : criterio de riego, en porcentaje (se sugiere valores entre 0 a 0,5).

Luego, es útil conocer la frecuencia de riego para fines de planificación. Para ello se establece una comparación entre lámina neta y la evapotranspiración de cultivo determinada para el frutal considerado, dando origen a la siguiente expresión (Allen *et al.*, 1998; Centro del Agua para la Agricultura, 2012):

$$\mathbf{FR = Ln / ET_c}$$

Donde:

FR : frecuencia de riego (días)

Ln : cantidad de agua neta disponible para la planta

ET_c: evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹).

2.4 La programación de riego en frutales: avellano europeo

A continuación, se presentan dos ejemplos de procedimiento de cálculo para establecer las cantidades de agua a aplicar (por árbol), tiempo de riego y frecuencia de riego. (Para árboles de 5 y 8 años).

Ejemplo 1:

Variedad	Barcelona
Edad del árbol	5 años
Distancia sobre hilera	4 metros
Distancia entre hilera	5 metros
Lugar	Nueva Imperial
Sistema de riego	Gotero botón, auto compensado.
Descarga de gotero	4 L ha ⁻¹
Nº goteros/árbol	4
Mes de riego	Enero
Caudal descarga/gotero	4 L h ⁻¹ x 4 = 16 L h ⁻¹ por árbol
Nº días/mes	31 días
ET _o	161,3 mm mes ⁻¹ (Cuadro 2)
ET _o	(161,3 mm mes ⁻¹) / 31 = 5,20 mm día ⁻¹
K _c	0,96*
ET _c	5,20 mm día ⁻¹ x 0,96 = 4,99 mm día ⁻¹

* (obtenido de Medina *et al.*, 2013)

Se interpreta de la siguiente forma: en promedio el árbol consumió 4,99 litros de agua por día, en términos netos por cada metro cuadrado de superficie. Se debe corregir este valor considerando el porcentaje de sombreado, según lo propuesto por Keller y Karmeli (1975).

Radio de sombra medido al medio día : 1,4 m (se mide en árboles representativos del huerto)

Área de sombra del árbol individual (Ac) : $\pi R^2 = 3,1415 \times (1.4^2) = 6,16 \text{ m}^2$

Área individual del árbol (Ai) : DSH x DEH = 4 x 5 = 20 m²

Porcentaje de sombreado (Ps) : $(6,16 \text{ m}^2 / 20 \text{ m}^2) \times 100 = 30,78 \%$

Área sombra corregida (As) : 20 m² x (0,35) = 7 m²

Del Cuadro 4, se obtiene el valor de Kr.

Porcentaje de Sombreamiento, Ps (%)	Corrección de cobertura, Kr (%)
30,78	35,00

$$R_n = ET_c \times A_s = (4,99 \text{ L día}^{-1} \times \text{m}^2) \times (7 \text{ m}^2) = 34,93 \text{ L día}^{-1} \text{ por árbol.}$$

A continuación, se realiza la corrección por eficiencia según método o técnica de riego:

Para riego por goteo, si la eficiencia de aplicación (Efa) es: 90 %

$$R_b = (34,93 \text{ L día}^{-1} \text{ por árbol}) (0,9) = 38,81 \text{ L día}^{-1}$$

$$TR = R_b \text{ (descarga por árbol)} = [(38,81 \text{ L}) (16 \text{ L h}^{-1})] \times 60 = 145,54 \text{ minutos}$$

Interpretación: para aplicar 34,93 litros netos de agua para el cultivo, se deben aplicar en términos reales 38,81 litros de esta y considerando 4 goteros, con descarga de emisor de 4 L h⁻¹, la operación de reposición de agua consumida por el cultivo se demora 145,54 minutos.

Al considerar las características del suelo y su capacidad de retención, se establece la frecuencia de riego, es decir cada cuantos días regar.

Conocidas las características físicas del suelo, para un perfil de riego acorde al frutal y en especial la profundidad de raíces, con fines de planificación y operación del riego se determina la humedad total aprovechable del suelo. Para el ejemplo se ha considerado una profundidad de raíces de 60 cm.

Los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente del suelo, se obtienen del Cuadro 8 (Comuna de Nueva Imperial, predio Santa Adela, suelo franco arcilloso).

La humedad aprovechable por estratas de suelo es:

$$HA_1 = ((38\% - 23\%) / 100) \times ((1,15 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 17 \text{ cm} = 2,9325 \text{ cm}$$

$$HA_2 = ((39\% - 21\%) / 100) \times ((1,05 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 23 \text{ cm} = 4,3470 \text{ cm}$$

$$HA_3 = ((42\% - 24\%) / 100) \times ((0,97 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 20 \text{ cm} = 3,4920 \text{ cm}$$

$$HA_t = HA_1 + HA_2 + HA_3 = 2,9325 \text{ cm} + 4,3470 \text{ cm} + 3,4920 \text{ cm}$$

$$HA_t = 10,7715 \text{ cm} \quad \text{o su equivalente} \quad HA_t = 107,715 \text{ mm}$$

La humedad aprovechable para el perfil de suelo útil con raíces es de 10,7715 cm, que es equivalente a 107,715 mm. A su vez en términos de volumen corresponde a 107,715 litros de agua por unidad de superficie de suelo, en 60 cm de profundidad (humedad aprovechable total).

Luego, la cantidad de agua útil para la planta obtenida a partir del valor de humedad aprovechable total, se determina mediante la expresión:

$$\mathbf{Ln = HA \times CR}$$

Si $\mathbf{HA = 107,715 \text{ mm}}$ y $\mathbf{CR = 50 \%}$
 $\mathbf{Ln = 107,715 \text{ mm} \times 0,5 = 53,8575 \text{ mm}}$

La cantidad de agua útil para el avellano europeo, bajo las condiciones de suelo previamente establecidas es de 53,8575 mm, es decir cuando el árbol haya extraído del suelo el 50% de la humedad aprovechable. O sea, en términos equivalentes a 53,8575 litros de agua por unidad de superficie, se debe realizar una reposición de agua al suelo.

Si se desea conocer para cuantos días alcanza el agua, se debe utilizar la siguiente expresión:

$$\mathbf{FR = Ln / ET_c}$$

$\mathbf{Ln = 53,8575 \text{ (mm)}}$.

$\mathbf{ET_c = 4,99 \text{ mm día}^{-1}}$, enero.

$\mathbf{FR = (53,8575 \text{ mm} / 4,99 \text{ mm día}^{-1}) = 10,79 \text{ días}}$

Se debe regar cada 11 días.

Ejemplo2:

Variedad	Barcelona
Edad del árbol	8 años
Distancia sobre hilera	4 metros
Distancia entre hilera	5 metros
Lugar	Nueva Imperial
Sistema de riego	gotero botón, auto compensado.
Descarga de gotero	4 L ha ⁻¹
Nº goteros/árbol	4
Mes de riego	Enero
Caudal descarga/gotero	4 L h ⁻¹ x 4 = 16 L h ⁻¹ por árbol
Nº días/mes	31 días
ET _o	161,3 mm mes ⁻¹ (Cuadro 2)
ET _o	(161,3 mm mes ⁻¹) / 31 = 5,20 mm día ⁻¹
K _c	0,96*
ET _c	5,20 mm día ⁻¹ x 0,96 = 4,99 mm día ⁻¹

* (obtenido de Medina *et al.*, 2013)

Se interpreta de la siguiente forma: en promedio el árbol consumió 4,99 litros de agua por día, en términos netos por cada metro cuadrado de superficie. Se debe corregir este valor considerando el porcentaje de sombramiento, según lo propuesto por Keller y Karmeli (1975).

Radio de sombra medido al medio día : 1,8 m (se mide en árboles representativos del huerto)
 Área de sombra del árbol individual (Ac) : $\pi R^2 = 3,1415 \times (1,8^2) = 10,178 \text{ m}^2$
 Área individual del árbol (Ai) : DSH x DEH = 4 x 5 = 20 m²
 Porcentaje de sombramiento (Ps) : $(10,178 \text{ m}^2 / 20 \text{ m}^2) \times 100 = 50,89 \%$
 Área sombra corregida (As) : 20 m² x (0,59) = 11,8 m²

Del Cuadro 4 se obtiene el valor de Kr.

Porcentaje de Sombramiento, Ps (%)	Corrección de cobertura, Kr (%)
50,89	59,00

$$R_n = ET_c \times A_s = (4,99 \text{ L día}^{-1} \times \text{m}^2) \times (11,8 \text{ m}^2) = 58,88 \text{ L día}^{-1} \text{ por árbol.}$$

A continuación, se realiza la corrección por eficiencia según método o técnica de riego:

Para riego por goteo, si la eficiencia de aplicación (Efa) es: 90 %

$$\mathbf{Rb} = (58,88 \text{ L día}^{-1} \text{ por árbol}) (0,9) = 65,42 \text{ L día}^{-1}$$

$$\mathbf{TR} = \text{Rb (descarga por árbol)} = [(65,42 \text{ L}) (16 \text{ L h}^{-1})] \times 60 = 245,33 \text{ minutos}$$

Interpretación: para aplicar 58,88 litros netos de agua para el cultivo, se deben aplicar en términos reales 65,42 litros y considerando 4 goteros con descarga de emisor de 4 L h⁻¹. La operación de reposición de agua consumida por el cultivo se demora 245,33 minutos.

Al considerar las características del suelo y su capacidad de retención, se establece la frecuencia de riego, es decir cada cuantos días regar.

Conocidas las características físicas del suelo, para un perfil de riego acorde al frutal y en especial la profundidad de raíces con fines de planificación y operación del riego se determina la humedad total aprovechable del suelo. Para el ejemplo se ha considerado una profundidad de raíces de 60 cm.

Los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente del suelo, se obtienen de Cuadro 8 (Comuna de Nueva Imperial, predio Santa Adela, suelo franco arcilloso). Con los valores de humedad aprovechable además de los antecedentes del Cuadro 8, se construye el Cuadro 9 que se muestra más adelante en el texto.

La humedad aprovechable por estratas de suelo es:

$$\text{HA 1} = ((38\% - 23\%) / 100) \times ((1,15 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 17 \text{ cm} = 2,9325 \text{ cm}$$

$$\text{HA 2} = ((39\% - 21\%) / 100) \times ((1,05 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 23 \text{ cm} = 4,3470 \text{ cm}$$

$$\text{HA 3} = ((42\% - 24\%) / 100) \times ((0,97 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 20 \text{ cm} = 3,4920 \text{ cm}$$

Con los antecedentes del Cuadro 8 y los valores de humedad aprovechable por estratas se genera el Cuadro 9 para esta condición de suelo

$$\text{HA t} = \text{HA1} + \text{HA2} + \text{HA 3} = 2,9325 \text{ cm} + 4,3470 \text{ cm} + 3,4920 \text{ cm}$$

$$\text{HA t} = 10,7715 \text{ cm o su equivalente HA t} = 107,715 \text{ mm}$$

La humedad aprovechable para el perfil de raíces útil es de 10,7715 cm, que es equivalente a 107,715 mm, que a su vez en términos de volumen corresponde a 107,715 litros de agua por unidad de superficie de suelo, en 60 cm de profundidad (humedad aprovechable total).

Luego, la cantidad de agua útil para la planta obtenida a partir del valor de humedad aprovechable total, se determina mediante la expresión:

$$\mathbf{Ln = HA \times CR}$$

Si $\mathbf{HA = 107,715 \text{ mm}}$ y $\mathbf{CR = 50 \%}$
 $\mathbf{Ln = 107,715 \text{ mm} \times 0,5 = 53,8575 \text{ mm}}$

La cantidad de agua útil para el avellano, bajo las condiciones de suelo previamente establecidas es de 53,8575 mm, es decir cuando el árbol haya extraído del suelo el 50% de la humedad aprovechable. Es decir en términos equivalentes a 53,8575 litros de agua por unidad de superficie, se debe realizar una reposición de agua al suelo.

Si se desea conocer para cuantos días alcanza el agua, se debe utilizar la siguiente expresión:

$$\mathbf{FR = Ln / ET_c}$$

$\mathbf{Ln = 53,8575 \text{ mm}}$.
 $\mathbf{ET_c = 4,99 \text{ mm día}^{-1}}$, Enero.
 $\mathbf{FR = (53,8575 \text{ mm} / 4,99 \text{ mm día}^{-1}) = 10,79 \text{ días}}$

Se debe regar cada 11 días, para el mes de Enero.

Resumiendo, cada 11 días debe regar durante el mes de Enero, y en cada oportunidad el sistema de riego debe ser capaz de reponer el valor de la lámina real o bruta, controlada a través del "tiempo de riego" (según "emisor de riego") utilizado para regar.

Cuadro 9. Valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente del suelo, predio Santa Adela. Comuna de Nueva Imperial.

Perfil de suelo (cm)	Es (cm)	CC (%)	PMP (%)	Dap (g cm ⁻³)	HA (cm)
0-17	17	38	23	1,15	2,932
17-40	23	39	21	1,05	4,347
40-60	20	42	24	0,97	3,492

Fuente: análisis físico del suelo realizado en Laboratorio Riego UCT, 2012.

2.4.1 Descripción del ensayo de riego

Se implementó un ensayo de riego, con aplicación de agua mediante goteo, en una plantación de avellano europeo, *Corylus avellana* L., cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, realizada en el año 2008, en el predio Santa Adela, ubicado en la comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía. La distancia de plantación es de 5 m entre hileras y de 4 m sobre hileras, en ambos cultivares.

2.4.2 Tratamientos de agua aplicada

Los tratamientos de agua aplicada, se definieron en base a la estimación de agua en función de datos de evapotranspiración de referencia (ET_0) histórica para la zona agroclimática. Se realizaron los siguientes tratamientos: sin riego, y aplicaciones de 50, 75 y 100% respecto del valor de evapotranspiración de referencia.

Cuadro 10. Descripción de tratamientos.

Tratamiento	Código	Descripción
ET_0 0%	T0	Sin riego
ET_0 50%	T1	Aplicación de agua en un 50% del valor de evapotranspiración de referencia.
ET_0 75%	T2	Aplicación de agua en un 75% del valor de evapotranspiración de referencia.
ET_0 100%	T3	Aplicación de agua en un 100% del valor de evapotranspiración de referencia.

Se establecieron tratamientos con aplicaciones de diferentes cantidades de agua estandarizadas para períodos semanales. La cantidad de agua de cada tratamiento se aplicó mediante líneas de goteo con 2 goteros de botón auto compensados por árbol, con descarga de cada gotero igual a 4 L h^{-1} . La operación de riego se realizó con un programador de riego, definiéndose sectores de riego con válvulas independientes para cada tratamiento, para los cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, de manera que al accionar un tratamiento de forma simultánea se regaban ambas variedades. El volumen de agua aplicado por árbol se ajustó al área de sombra de cada temporada, definiéndose de esa forma el área correspondiente a uso de agua durante cada temporada evaluada.

La revisión de la programación de riego y su ajuste de agua a aplicar se llevó a cabo semanalmente. La operación de riego, en términos prácticos, se realizó programando el tiempo de riego correspondiente para cada tratamiento.

Las cantidades de agua aplicada por tratamiento de riego, en términos reales por mes y temporada fueron registradas (día, mes), de igual manera las precipitaciones efectivas. El agua planificada y aplicada, corresponde a cada tratamiento por mes. Esta cantidad de agua aplicada es influenciada por el agua de lluvias, lo que en términos reales por mes y total de la temporada (por tratamiento) considera el agua del tratamiento más aquella correspondiente a la lluvia de la temporada.

La precipitación acumulada por mes considerada en el ensayo corresponde a la precipitación efectiva (producto de un registro de análisis diario de datos) del período considerado en cada temporada de riego.

La precipitación efectiva es aquella cantidad de agua proveniente de una lluvia, que se incorpora al suelo y queda efectivamente disponible para las plantas (Ferrerres *et al.*, 1981). Existen varias técnicas para estimar la lluvia efectiva (Jensen *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1998), sin embargo en términos prácticos se puede considerar que toda lluvia superior a 5 mm día⁻¹ es efectiva para suelos con baja cobertura vegetal, y para frutales toda lluvia superior a 10 mmdía⁻¹ es considerada efectiva y disponible para el uso de un árbol (Medina *et al.*, 2013), aunque en muchos casos se considera la lluvia total ocurrida para la aplicación de riego, sobre todo en períodos cortos (Gil-Albert, 2015).

2.4.3 Resultados de rendimiento de fruto en las temporadas productivas 2013-2014 y 2014-2015

Los resultados corresponden a evaluaciones realizadas en estas temporadas, en árboles plantados en el año 2008.

Los rendimientos obtenidos corresponden al efecto de los tratamientos de cantidad de agua aplicada por temporada en avellano europeo, cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, en el Huerto Santa Adela, en la comuna de Nueva Imperial. Los valores de rendimiento son producto de la evaluación total de tres árboles al momento de cosecha en cada temporada y tratamiento del ensayo.

En la temporada 2013-2014 se aprecia, en ambas variedades, una tendencia de mayor producción frutos en árboles regados respecto de aquellos sin regadío (Figura 12:A y B). Esta respuesta productiva se mantiene y concuerda con diversos trabajos realizados respecto de agua aplicada a frutales (Holzapfel *et al.*, 2006).

Al observar por cultivar, en esta temporada, en el caso del cv.Barcelona (A), los tratamientos T0, T1 y T2 forman un grupo de mayor rendimiento de frutos que se diferencia significativamente del tratamiento T3 (test de Tukey, $P \leq 0,05$), no diferenciándose significativamente entre ellos en relación a este parámetro.

Por su parte en esta misma temporada, en el caso del cv. Tonda di Giffoni (B), se aprecia que los tratamientos T1 y T3 determinan un significativo mayor rendimiento de frutos que los obtenidos con los tratamientos T0 y T2 (test de Tukey, $P \leq 0,05$).

En la temporada 2014-2015, se observa en ambas variedades una tendencia a un mayor rendimiento de frutos con el tratamiento T2 respecto de los alcanzados con los tratamientos T0, T1 y T3. No obstante, en el caso del cv. Barcelona (Figura 12: C) no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de agua total aplicada (test de Tukey, n.s.) en relación al rendimiento de frutos. En contraste, en el caso del cv. Tonda di Giffoni (Figura 12: D), el tratamiento T2 de agua total aplicada determinó un rendimiento de frutos significativamente superior al obtenido con los tratamientos T0, T1 y T3 (test de Tukey, $P \leq 0,05$).

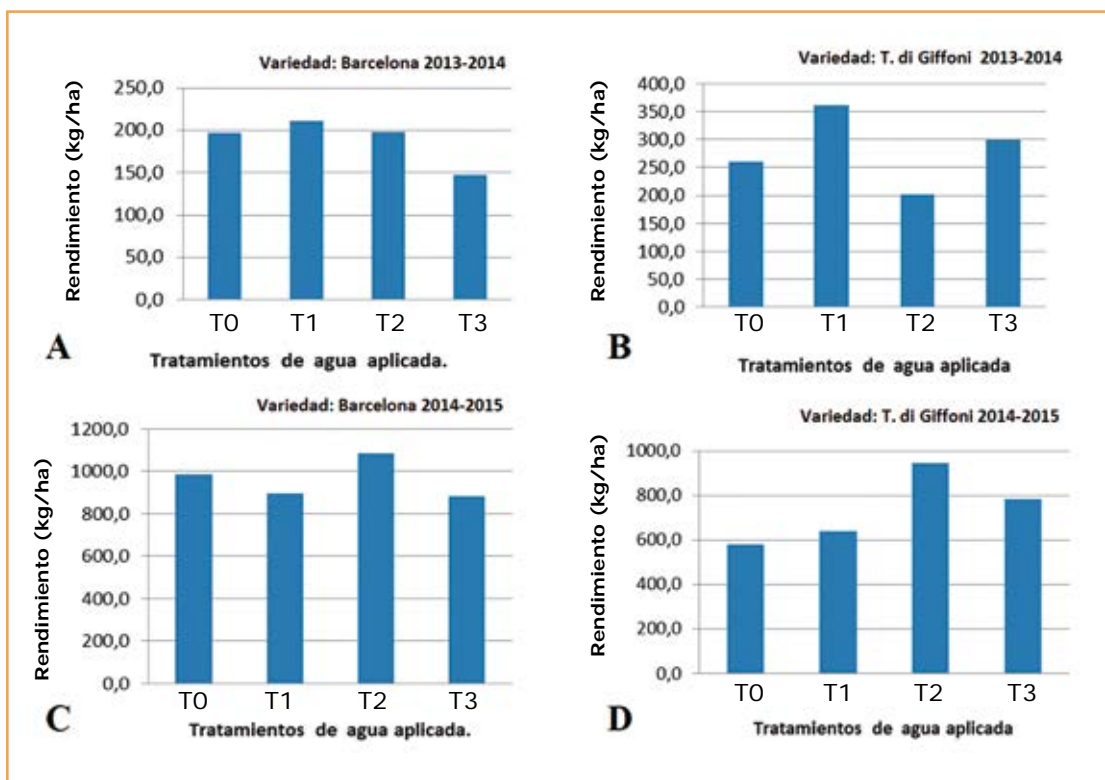


Figura 12. Efecto del agua total aplicada, temporadas 2013-2014 y 2014-2015, en el rendimiento de frutos de avellano europeo, cvs. Barcelona (A, C) y Tonda di Giffoni (B, D).

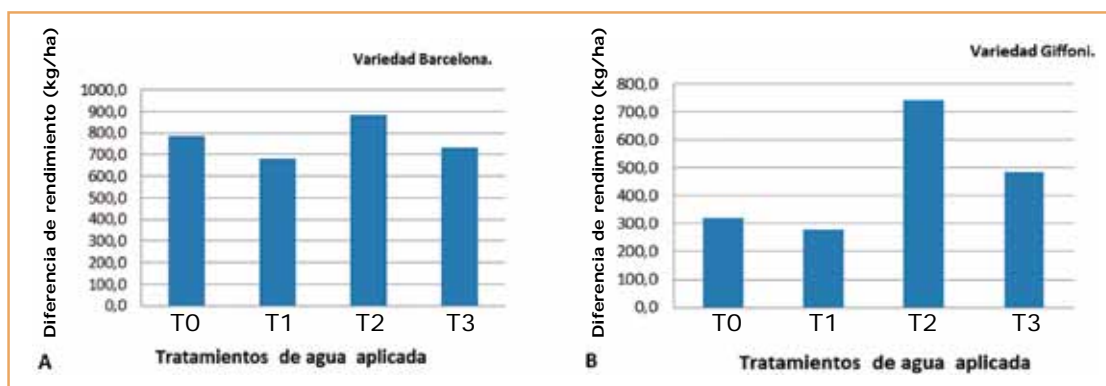


Figura 13. Diferencia en rendimiento de frutos entre temporadas productivas (2013-2014 y 2014-2015), cvs. Barcelona (A) y Tonda di Giffoni (B).

Al observar las diferencias de rendimiento entre temporadas productivas (Figura 13), se aprecia una tendencia a un mayor rendimiento de frutos con el tratamiento T2 de agua total aplicada en la temporada, en ambos cvs. de avellano europeo (A y B). En el caso del cv. Barcelona (A) la diferencia de rendimiento entre tratamientos de agua total aplicada en la temporada no muestra una tendencia clara. Sin embargo en el caso del cv. Tonda di Giffoni (B), la diferencia de rendimiento lograda con el tratamiento T2 de agua total aplicada en la temporada es claramente superior a la de los otros tratamientos (Figura 13).

Estudios realizados en Italia, por Girona *et al.* (1994), indican que la mayor respuesta productiva del avellano europeo se logra con tratamientos que consideran la aplicación de riego respecto de aquellos no regados; en el caso de tratamientos con riego, las aplicaciones de agua equivalentes a 75% de ET_c favorecen el rendimiento (Bignami *et al.*, 2009). Sobre esto, Marsal *et al.* (1997) en un estudio realizado sobre el comportamiento de avellano europeo en condiciones de stress, encontraron que las aplicaciones de agua, particularmente en el "llenado de grano", mantienen altos niveles de fotosíntesis, que inciden en el rendimiento de frutos.

2.4.4 Distribución de raíces en plantas de avellano

Los antecedentes presentados corresponden a observaciones realizadas durante la temporada 2013-2014 en un huerto de avellano europeo, plantado el año 2012 en la comuna de Gorbea y también a aquellas realizadas el año 2014 en plantaciones efectuadas en 2008 en el predio Santa Adela, de la comuna de Nueva Imperial (Región de La Araucanía).

Se observó la presencia de raíces en plantas de avellano europeo de 2º año de plantación (Gorbea), encontrándose una mayor concentración de estas en plantas regadas (A) que en aquellas no regadas (B).

La profundidad de raíces en ambas situaciones no es mayor a 40 cm.



Foto 1. Vista de desarrollo radicular de un árbol joven de avellano, cvs. Barcelona (izquierda) y Tonda di Giffoni (derecha) durante su segundo año de plantación.

Fuente: INIA Carillanca

Al revisar la distribución de las raíces en plantas de avellano europeo, cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, en un suelo franco arcilloso (Comuna de Nueva Imperial), en un perfil de suelo de 0-60 cm de profundidad se observa:

En condiciones de riego por goteo, las raíces de las plantas se encuentran distribuidas en un perfil de 60 centímetros de suelo. En detalle, se aprecia que en la profundidad 0-20 cm hubo escasa presencia de raíces, encontrándose en aquella de 20-50 cm una mayor concentración de raíces de anclaje y de raíces finas; entre 50-60 cm también hubo escasa presencia de raíces. Al observar el alcance de las raíces, se constató una alta concentración de ellas con orientación sobre las hileras de plantas, es decir la mayor concentración de raíces se orientan de forma preferente sobre la banda de humedad.

En condiciones sin riego, las raíces de las plantas se distribuyen en un perfil de 50 cm de suelo. En particular se aprecia que en la profundidad 0-10 cm hay escasa presencia de éstas, observándose en aquella correspondiente a 10-50 cm una mayor concentración de raíces de anclaje y raíces finas; entre 50-60 cm de profundidad hay una escasa a nula presencia de ellas. En relación al alcance de las raíces, se observó una alta concentración de ellas con orientación sobre las hileras y las entre hileras de plantas, es decir las raíces se orientan radialmente en torno al árbol.



Foto 2. Vista de la densidad de raíces en plantas regadas de avellano europeo, de 8 años de edad, con distribución orientada y concentrada sobre hileras.

Fuente: INIA Carillanca

La distribución de las raíces de avellano europeo encontrada en las inspecciones realizadas, concuerda con lo indicado en la literatura en el sentido que ellas son superficiales y poco profundizadoras, lo cual determina que este árbol frutal sea sensible al estrés hídrico, afectándose con ello la producción de frutos (Tous *et al.*, 1994; Tombesi, 1994; Grau, 2007).

2.4.5 Observación de crecimiento del eje principal y ramas, diámetro del tronco, y número de frutos

En la temporada agrícola 2011 se determinó la altura del eje principal, longitud de ramas laterales y diámetro del tronco. Al revisar los datos registrados y establecer la diferencia de altura, denominada "incremento de la altura del eje" (período enero-diciembre 2011), en función del efecto de los tratamientos de agua aplicada, se observó una tendencia a un mayor valor del parámetro con el tratamiento T2 para el caso del cv. Barcelona (A); en el cv. Tonda di Giffoni (A), se apreció una tendencia a un mayor valor del parámetro, con el tratamiento T1.

Respecto de la longitud de ramas, para la temporada y período evaluado, se observó (para ambos cultivares) una tendencia a un mayor incremento de ellas con el tratamiento T3.

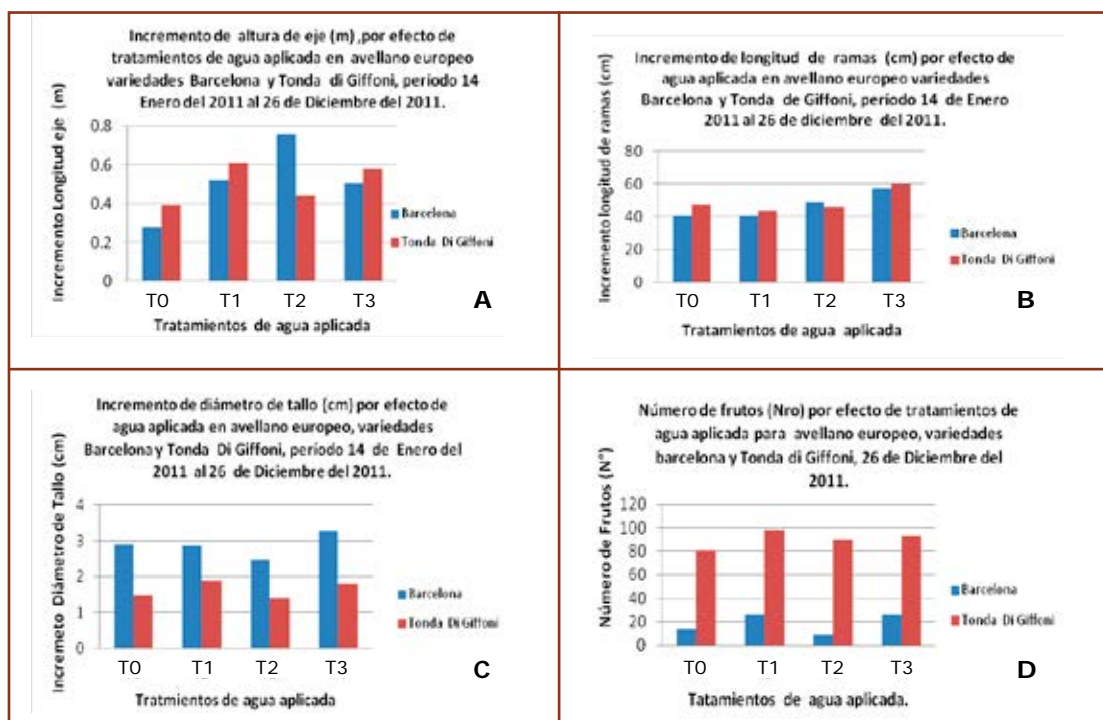


Figura 14. Incremento de la longitud del eje (A), ramas (B) y diámetro del tallo (C), número de frutos (D) por efecto de tratamientos de agua, período enero-diciembre de 2011, cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, predio Santa Adela, comuna de Nueva Imperial. Región de La Araucanía.

El incremento del diámetro del tallo (C), (período evaluado), en el caso del cv. Barcelona Giffoni muestra valores similares con los tratamientos T0 y T1, presentándose el menor incremento con el Tratamiento T2; se aprecia una tendencia a un mayor incremento con el tratamiento T3. En el caso del cv. Tonda Di Giffoni, los tratamientos T0 y T2 determinan los menores incrementos de diámetro del tallo. Sin embargo, los tratamientos T1 y T3 conducen a mayores incrementos del parámetro.

Para la evaluación del número de frutos se consideraron tres árboles por tratamiento, en su primera producción, contabilizándose el total de éstos a la cosecha.

En general, los tratamientos regados determinaron una mayor cantidad de frutos que aquellos sin riego. Se aprecia una tendencia a una mayor cantidad de frutos con el tratamiento T1 (50 % de reposición de agua respecto de la evapotranspiración potencial). También se observa una tendencia a una mayor cantidad de frutos con el cv. Barcelona que con el cv Tonda di Giffoni.

Evaluaciones y valores acumulados temporada 2010 a 2013 (Los tratamientos de izquierda a derecha son: T4, T2, T3, riego productor (Rp) y T0.

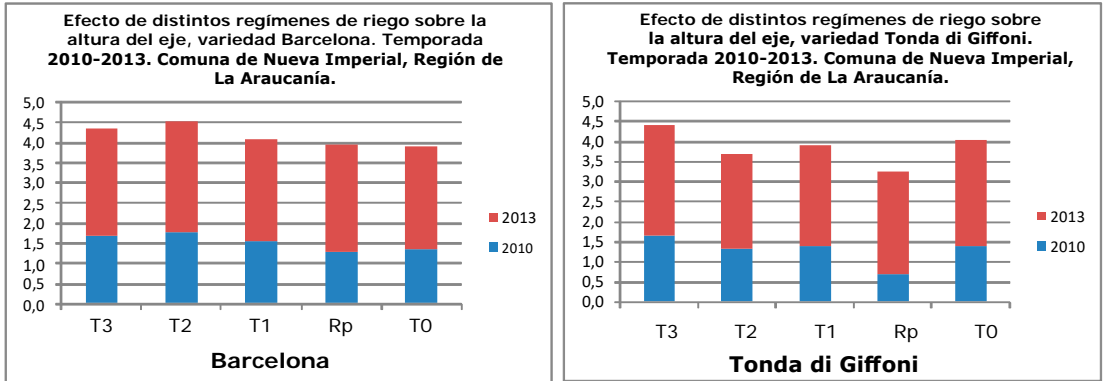


Figura 15. Efecto de 4 regímenes de riego sobre la altura del eje (m), en avellano europeo cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni. Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

En el caso del cv. Barcelona, se observa una tendencia a una mayor longitud del eje con el tratamiento T1, mientras que ello ocurre con el tratamiento T3 en el cv. Tonda di Giffoni. En ambos cultivares se aprecia una tendencia a un mayor crecimiento del eje con plantas regadas respecto de aquellas sin riego.

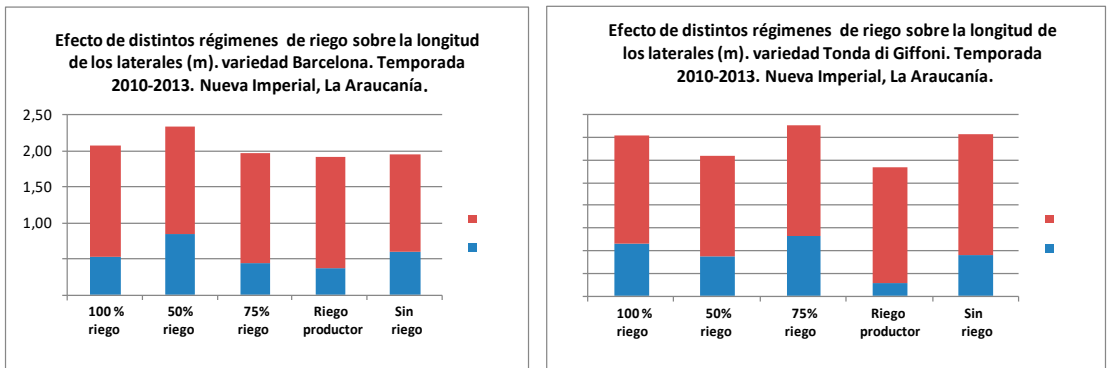


Figura 16. Efecto de 4 regímenes de riego sobre la longitud promedio de los laterales (m), en avellano europeo cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni. Comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

Por otra parte, respecto a la longitud de los laterales se aprecia una tendencia a un mayor valor de este parámetro con el tratamiento T1 en el caso del cv. Barcelona; por el contrario ello se observó con el tratamiento T2 con el cv. Tonda di Giffoni. Para ambos cultivares se aprecia una mayor longitud de los laterales con los tratamientos regados respecto de aquella alcanzada sin riego.

Referencias Bibliográficas

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper N° 56. Rome, Italy. 300 p.

Allen, D.J., and D.R. Ort. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends Plant Sci.* 6 (1): 36-42.

Allen, R.G., Pruitt, W.O., Wright, J.L., Howell, T.A., Ventura, F., Snyder, R., Itenfisu, D., Steduto, P., Berengena, J., Yrisarry, J.B., Smith, M., Pereira, L.S., Raes, D., Perrier, A., Alves, I., Walter, I., and R.Elliott. 2006. A Recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by FAO56 Penman–Monteith method. *Agricultural Water Management* 81:1-22.

Ayala, C.Y.A.L. 2007. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV. S.I.T. N° 122. República de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.

Baldwin, B. 1998. Hazelnuts, in the new rural industries. p. 428-435. *In* K. Hyde (ed.) *A Handbook for Farmers and Investors*, Rural Industries Research and Development Corporation. Canberra, Australia.

Baldwin, B. 2009. The effects of site and seasonal conditions on nut yield and kernel quality of hazelnut genotypes grown in Australia. *Acta Hort.* 845 : 83-88.

Barón, L.I., Rigert, C., Stebbins, R., y S.Bell. 1997. El cultivo del avellano europeo (*Corylus avellana* L.). 29 p. *En*: El cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación La Platina, Santiago, Chile.

Bignami, C., Cristofori, V., Ghini, P., and E. Rugini. 2009. Effects of irrigation on growth and yield components of hazelnut (*Corylus avellana* L.) in Central Italy. VII Int. Congress on hazelnut. Viterbo, Italy. *Acta Hort.* 845: 309-314.

Bonneau, M. y B. Souchier. 1987. Edafología 2: Constituyentes y propiedades del suelo. Masson (ed.). Barcelona. 462 p.

Brouwer, C., Prins, K., and M. Heibloem. 1989. Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling. Training Manual N° 4. Water Resources, Development and Management Service. Land and Water Development Division. FAO. Rome, Italy.

Carrasco, J., Felmer, S., y G. Lemus. 2008. Frutales: Labor de subsolado de suelos compactados. *Tierra Adentro* (Chile) 79: 24-27.

Carrasco, J. 2008. Propiedades físicas del suelo y su relación con la productividad de frutales y vides. p.11-47. En: Hirzel, J.(ed.) Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Colección Libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

Carrasco, J., y M. Ortiz. 2011. Propiedades físicas del suelo que condicionan el desarrollo de frutales en la Región de O´Higgins. p. 17-54. En: Lemus, G. y Salgado, I. (eds.) Centro de Frutales de Carozo: Resumen técnico. Boletín INIA N° 227. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Rayentue, Rengo, Chile.

Centro del Agua para la Agricultura. 2012. Necesidades de agua de los cultivos. Boletín Técnico N°1. 25p. Departamento Recursos Hídricos, Facultad Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

CIREN. 2002. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Estudio agrológico IX Región. Publicación N° 122. 360 p. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, Chile.

CIREN. 2003. Descripciones de suelo, materiales y símbolos. Estudio agrológico X Región. Tomo II. Publicación N° 123. 412 p. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, Chile.

Chalmers, D.J., Mitchell, P.D., and L. Van Heek. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply tree density, and summer pruning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 307-312.

Ellena, M., 2013. Avellano Europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIA N° 274, P.202.

Ellena, M. y Sandoval, P. 2013. Avellano Europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva, organografía. Boletín INIA N° 274, P.27-48, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco-Chile.

Ellena, M., 2010. Polinización y Manejo del Avellano Europeo. Boletín INIA N° 202, P.98.

Davies, B., Tagle D., and B. Finney. 1987. Manejo del suelo. 4ª Edición. Traducido por Ingrid G. Adam. Editorial El Ateneo. Buenos Aires, Argentina.

De Jong, T.M. 1986. Fruits effects on photosynthesis in *Prunus persica*. *Physiol. Plant.* 66:149-153.

Dias, R., Gonçalves, B., Moutinho-Pereira, J., Carvalho, J.L., and A.P. Silva. 2005. Effect of irrigation on physiological and biochemical traits of hazelnuts (*Corylus avellana* L.). *Acta Hort* 686: 201 -206.

Fereres, E., Aldrich, T.M., Schulbach, H., and D.A. Martinich. 1981. Responses of young almond trees to late-season drought. *Cal. Agric.* July-August: 11-12.

Fernández, R., Yruela, M., Milla, M., García, J. y N. Oyanarte. 2010. Manual de riego para agricultores. Módulo 4. Riego Localizado. Empresa Pública para el desarrollo agrario y pesquero de Andalucía S.A. Junta de Andalucía, España.

Ferreira, R., y G. Sellés. 2013. Manual de riego para especies frutales. Uso eficiente del agua de riego y estrategias para enfrentar períodos de escasez. Boletín INIA 278. 320 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile.

Florentino, A. 1989. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la Colonia Agrícola de Turén (Estado Portuguesa). Su incidencia agronómica. 207 p. Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencias del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Gil, S.G. 2000. La producción de Fruta. 583 p. Colección Agricultura, Facultad de Agronomía y Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Gil-Albert, V.F. 2015. Manejo, riego y abonado del suelo. Ediciones Paraninfo. 211 p. Madrid, España.

Girona, J., Cohen, M., Mata, M., Marsal, J., and C. Miravete. 1994. Physiological, growth and yield responses of hazelnut (*Corylus avellana* L.) to different irrigation regimes. *Acta Hort.* (ISHS) 351:463-472

Gispert, J.R., Gil, J., y A. Company. 1996. La superficie mullada del sòl en el cultiu de l'avellaner. *Catalunya Rural i Agraria* 29: 29-37.

Gispert, J.R., Tous, J., Romero, A., Plana, J., Gil, J., and A. Company. 2005. The influence of different irrigation strategies and the percentage of wet soil volume on the productive and vegetative behaviour of the hazelnut tree (*Corylus avellana* L.). *Acta Hort.* 686: 333-341.

Goldhamer, D.A., and K.Shackel.1990.Irrigation cut off and drought irrigation strategy effects on almond. 18th Annu. Almond Res. Conf. Fresno, California 1990: 30-35

Grau, P. 2007. Establecimiento, fenología y desarrollo del avellano europeo. Seminario: Avellano Europeo: una oportunidad productiva para la zona centro sur de Chile. Centro de eventos Fimaule, Talca, Julio 18.

Disponible en: http://www.fdf.cl/biblioteca/presentaciones/2007/02_avellano_europeo/descargas/05_Pablo_Grau.pdf Leído el 01 de Abril de 2016.

Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. 425 p. Academic Press, Inc., New York, USA.

Hirzel, J. 2008. El suelo como fuente nutricional. p. 49-83. En: Hirzel, J. (ed.) Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Colección Libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

Hirzel, J. 2014. El suelo como fuente nutricional. p. 71-109. En: Hirzel, J. (ed.) Diagnóstico Nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Segunda edición corregida y aumentada. Colección Libros INIA N°31. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

Holzappel, E., y J.L. Arumí. 2006. Interim Report. Tecnología de manejo de agua para una agricultura intensiva sustentable. 70 p. Proyecto D02I-1146. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile.

Hsiao, T. 1990. Fisiología general, estrés de agua y dinámica de crecimiento y rendimiento de las plantas cultivadas, técnicas de medición del estado dinámico en la planta. p.1-102. En: Curso internacional manejo de agua en frutales. Dpto. Ing. Agr., Facultad de Cs. Agronómicas, Veterinarias y Forestales, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

Jara, J., y A. Valenzuela. 1998. Necesidades de agua de los cultivos. 24 p. CNR-Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

Jensen, M.E., Burman, R.D., and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N° 70, Am. Soc. Civil Engr., New York, USA. 332 p.

Keller, J., and D. Karmeli. 1975. Trickle irrigation design. 133 p. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation. California, USA.

- Lagerstedt, H. 1978. The fabulous filbert. HortScience 13 (2): 122 p.
- Lemus, G. 2004. El cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) La Platina-Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Proyecto FIA N° C.96-I-1-025. 29 p.
- Marcelis, L. F. M., Elings, A., de Visser, P. H. B., and E.Heuvelink. 2009. Simulating growth and development of tomato crop. Acta Hort. 821:101-110
- Marsal, J., Girona, J., and M. Matta. 1997. Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. J.Amer.Soc.Hort. Sci. 122 (4): 582-587.
- Medel, F. 1986. Requerimientos climáticos y edáficos para las especies frutales en el sur de Chile. Agrosur 14(1): 48-56.
- Medina, L., Ellena, M., Sandoval, P., González, A., y G. Azócar. 2013. Riego. p.113-144. En: Ellena, M. (ed.) Avellano Europeo: Establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIA N° 274. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.
- Mingeau, M., Ameglio, T., Pons, B., and P. Rousseau. 1994. Effects of water stress on development growth and yield of hazelnut trees. Acta Hort. (351):305-314
- Millar, A. 1993. Manejo de agua y producción agrícola. 556 p. IICA y Universidad de Concepción, Chile.
- Narro-Farías, E. 1994. Física de suelos. con enfoque agrícola. 193 p. Editorial Trillas, México.
- Ortega-Farías, S., Acevedo, C., and S. Fuentes. 1998. Estimation of tomato evapotranspiration by the Penman-Monteith method. 23rd Conference on Agricultural and Forest Meteorology, edited by Strand, J.F. and Goens, D. American Meteorological Society Vol. 1: 136-138.
- Ortega-Farías, S., Carrasco, M., Poblete, C., Acevedo, C., and A. Oliosio. 2006. Evaluation of a two-layer model to estimate the latent heat flux over a cabernet sauvignon vineyard. 5th International Symposium Irrigation of Horticultural Crops, Mildura-Victoria, Australia, 28 August-02 September.
- Pizarro, F. 1996. Riego localizado de alta frecuencia. 513 p. Mundi-Prensa, España.

Rojas,W., Ferrada, L., e Y. Nakamura. 2001. Programación para riego presurizado en frutales: conceptos aplicados a partir de la experiencia en La Provincia de Limarí. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena), Oficina Técnica Limarí (Ovalle), Chile.

Santibáñez, F. 1994. Crop requirements-temperate crops. En: Griffith J. (ed.) Handbook of Agricultural Meteorology. Oxford Univ. Press (Chapter 17).

Santibáñez, F. 2012. Cómo los cambios climáticos afectan a la fruticultura chilena. Revista Fedefruta N° 134: 16-22.

Solar, A., and F. Stampar. 2011. Characterisation of selected hazelnut cultivars: phenology, growing and yielding capacity, market quality and nutraceutical value. J.Sci.Food Agric. 91: 1205-1212.

Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., y D. Raes. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. 510 p. Estudio FAO: riego y drenaje N°66. Roma, Italia.

Schulze, E.D., y M.Küppers. 1979. Short-term and long-term effects of plant water deficits on stomatal response to humidity in *Corylus avellana* L. Planta 146: 319-326.

Tarjuelo, J.M. 2005. Riego por Aspersión y Tecnología. 581p. Editorial Mundiprensa.

Tombesi, A. 1994. Influence of soil water levels on assimilation and water use efficiency in hazelnut. Acta Hort. 351: 247-255.

Tous, J., Girona J., and J. Tacias. 1994. Cultural practices and costs in hazelnut production. Acta Hort. 351: 395-418.

Tous, J., Romero, A., Rovira, M.,and J.Clave. 1994. Comparison of different training systems on hazelnut. Acta Hort. 351: 455-461.

Turner,N.C.1986. Adaptation to water deficits: a changing perspective. Austr. J. Plant Physiol. 13(1) 175 – 190.

Turner, N.C., Schulze, E.D., and T.Gollan. 1984. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content: I. species comparisons at high soil water contents. Oecologia 63: 338-342

Valenzuela, A., y J. Jara.1979. Prácticas de riego: Fundamentos de riego y drenaje. 234 p. Universidad de Concepción, Instituto de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile.

Valenzuela, J., Lemus, G., Lobato, A. 2001. Avellano Europeo. P.68-86. En: Lemus S, Gamalier (Ed) Curso frutales de nuez no tradicionales: Macadamia, pistacho, pecano, avellano europeo. Santiago, INIA La Platina, 28 Mar 2001. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/bibliotecas/serieactas/NR26376.pdf>.

Valenzuela, J., Lemus, G., y A. Lobato. 2004. El cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.). 29p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación La Platina, Santiago, Chile.

Wang, D., Lowery, B.Norman,J.M., and K. McSweeney. 1996. Ant burrow effects on water flow and soil hydraulic properties of Sparta sand. Soil Tillage Research 37: 83-93.

Weinbaum, S.A., Picchioni, G.A., Muraoka, T.T., Ferguson,L., and P.H. Brown. 1994. Fertilizer nitrogen and boron uptake, storage, and allocation vary during the alternate-bearing cycle in pistachio trees. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 119:24-31.