

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



MANEJO DEL RIEGO EN CEREZOS

ESTEFANÍA MORÁN HENRÍQUEZ

PROYECTO DE TÍTULO
PRESENTADO A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL AGRÍCOLA

CHILLÁN-CHILE

2024

MANEJO DEL RIEGO EN CEREZOS

Aprobada por:

Eduardo Holzapfel Hoces

Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

Profesor Titular/Emérito

Profesor Guía

Camilo Souto Escalona

Ingeniero Civil Agrícola, Dr.

Profesor Asistente

Profesor Co-guía

Jerónimo Paredes Cáceres

Licenciado en Matemática, Dr.

Profesor Asociado

Profesor Asesor

José Luis Arumí Ribera

Ingeniera Civil, Ph. D.

Profesor Titular

Director de Departamento

María Eugenia González Rodríguez

Ingeniera Agrónoma, Ph. D.

Profesor Asociado

Decana

DEDICATORIA

Dedicada a mi familia, en especial a mis abuelos; Miguel y Regina, gracias por creer siempre en mí, por apoyarme en todo momento, por su comprensión, su preocupación, su amor infinito y por ser parte siempre de este proceso hasta el final de este sueño. A mi pololo Jonathan que ha sido una persona fundamental en este último año tanto en mi vida personal como universitaria, a mis amigos Omar y Diego y a mi profesor guía PhD. Eduardo Holzapfel quien me guio de buena manera para lograr ser un buen profesional.

AGRADECIMIENTOS

Al centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería – CRHIAM,
proyecto ANID/FONDAP/15130015.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
SUMMARY	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo General	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1. Factores que determinan el consumo de agua de la planta	8
3.2. Bulbo húmedo según sistema de riego.	9
3.3. Antecedentes generales del cerezo	12
3.4. Características fenológicas principales del cerezo	14
3.5. Riego presurizado en cerezos.....	16
3.6. Características del riego por goteo.....	18
3.7. Características del riego por microaspersión	19
3.8. Demanda del agua en cerezos.....	21
3.9. Métodos para determinar la demanda hídrica	22
3.10. Propiedades físico-hídricas que se utilizan en la programación del riego.....	30
3.11. Métodos utilizados para monitorear la humedad del suelo.....	34
3.12. Técnicas de laboratorio para determinar la humedad del suelo.....	34
3.13. Técnicas en terreno para determinar la humedad del suelo.....	36
3.14. Programación de riego	40
3.15. Efectos del riego y la lluvia en la producción de cerezas	44
3.16. Manejo del agua y sus efectos en la producción.....	47

3.17. Estrategias de riego deficitario controlado en cerezo en el valle de Jerte, Cáceres, España.	47
3.18. Análisis de la variación del porcentaje de la evapotranspiración de referencia (ET _o) en la producción de cerezas.....	58
3.19. Respuesta del cerezo al riego deficitario, en la región de Murcia, España	64
3.20. Estudio de caso: Evaluación el manejo y operación de un sistema de microriego en cerezos en las variedades Bing, Lapins y Regina	68
3.21. Análisis del uso de cubiertas y su efecto.....	80
3.22. Efectos de la cubierta	82
3.23. Principales resultados del uso de cubiertas en cerezos en las variedades Royal Dawn y Santina. Chile 2017.	82
3.24. Analisis de heladas y su efecto	89
3.25. Clasificación heladas.....	89
3.26. Sistema de control de heladas con agua.....	90
3.27. Riego con microaspersión para el control de heladas sobre follaje en cerezos	92
3.28. Estudio del caso: protección contra heladas con aspersion en arándanos	94
4. CONCLUSIONES	100
5. LITERATURA CITADA	102

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Evapotraspiración de referencia (ET _o) diaria promedio para cada mes (mm día ⁻¹) y anual (mm año ⁻¹) para diversas localidades del país	25
Tabla 2. Coeficientes de cultivo (K _c) para el mes de máxima demanda para diferentes frutales	28
Tabla 3. Valores sugeridos del factor de cobertura (F _c) en función de la edad del huerto y/o del porcentaje de cobertura (% cobertura) de la cubierta vegetal	29
Tabla 4. Pauta para estimar por sensaciones visuales y de tacto la humedad del suelo	35
Tabla 5. Clasificación de variedades en relación a la susceptibilidad a la partidura	46
Tabla 6. Valores medios de K _r según los marcos de plantación mas utilizados en el Valle del Jerte para diferentes diametros de copa de cerezo	48
Tabla 7. K _r para cerezo en plantaciones juvenes hasta que los árboles sombreen el 60% del suelo, a partir de dicho valor no se utiliza este coeficiente corrector	48
Tabla 8. Calendario de riego medio para una plantación de cerezo Joven (Lapins) el valle del Jerte (Cáceres, España), utilizando una estrategia de riego completo	52
Tabla 9. Calendario de riego medio para una plantación de cerezo adulta (Early Lory) el valle del Jerte (Cáceres, España), utilizando una estrategia de riego completo	53
Tabla 10. Calendario de riego medio para una plantación de cerezo Joven (Lapins) en el valle del Jerte (Cáceres, España) utilizando estrategias de riego deficitario	56
Tabla 11. Calendario de riego medio para una plantación de cerezo Joven (Lapins) en el valle del Jerte (Cáceres, España) utilizando estrategias de riego deficitario. Dependiendo del momento de ecolección, mantener estrategia del 100% hasta recolección	57

Tabla 12.	Producción de cerezas Lapisn y Mazzard para los diferentes tratamientos de evapotranspiración de referencia (ET _o).....	59
Tabla 13.	Agua usada y ahorros que se generaron en la producción de cerezas Lapisn y Mazzard para los diferentes tratamientos de evapotranspiración de referencia (ET _o).....	59
Tabla 14.	Producción y parámetros de calidad medidos en la primera recolección	66
Tabla 15.	Área en estudio que comprende los huertos de cerezos de las parcelas 10 y 18.....	69
Tabla 16.	Retención de agua del suelo en la parcela 10.....	70
Tabla 17.	Retención de agua del suelo en la parcela 18.....	70
Tabla 18.	Capacidad de retención considerando un porcentaje de 50% piedras de en la matriz de suelo y utilizando los criterios de regar al 30% y 50% de agotamiento respectivamente en parcela 10.....	72
Tabla 19.	Capacidad de retención considerando un porcentaje de 50% de piedras en la matriz de suelo y utilizando los criterios de regar al 30% y 50% de agotamiento respectivamente, en parcela 18.....	72
Tabla 20.	Demanda en cerezos para diferentes porcentajes de cobertura en un arreglo de 3 por 4,5 metros en parcela 10 variedad Bing.....	74
Tabla 21.	Demanda en cerezos para diferentes porcentajes de cobertura en un arreglo de 1,8 por 4 metros en `parcela 18 variedad Lapins	74
Tabla 22.	Demanda en cerezos para diferentes porcentajes de cobertura en un arreglo de 2 por 4 metros en `parcela 18 variedad Regina	75
Tabla 23.	Resumen de las características de los distintos tipos de cubierta utilizados en cerezos en Chile	82

Página

Tabla 24.	Firmeza (Unidad Durofel) de cerezas según altura para las variedades Royal Dawn bajo macro túnel y al aire libre y Santina bajo carpa y al aire libre	89
Tabla 25.	Resultados del estudio del riego por aspersión y microaspersión para el control de heladas.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Tamaño del bulbo húmedo en relación con el caudal de los emisores	10
Figura 2. Triángulo textural de suelos.....	11
Figura 3. Tasa de infiltración según estado del suelo en función del tiempo.....	11
Figura 4. Distribución de raíces según método de riego.....	12
Figura 5. Distribución del agua en gotero y cinta en el bulbo húmedo generado según la textura del suelo.....	12
Figura 6. Bulbo húmedo para un riego por microaspersión y el afecto del viento en su forma	13
Figura 7. Estado fenológico del cerezo.....	15
Figura 8. Etapas del estado fenológico del cerezo	15
Figura 9. Sistema de riego por goteo en cerezos	19
Figura 10. Sistema de riego por microaspersión en cerezos.....	20
Figura 11. Proceso de evapotranspiración	22
Figura 12. Bandeja de evaporación	23
Figura 13. Evapotranspiración de cultivo (ETc) en condiciones estándar de ETo.....	26
Figura 14. Evolución de la evaporación de cultivo (ETc) para un huerto de cerezos en la zona central	27
Figura 15. Curva generalizada de Kc	28
Figura 16. Guía indicativa del porcentaje de cobertura de un huerto frutal y su relación para la elección del factor de cobertura (Fc)	29
Figura 17. Agua útil para las plantas en suelo arcilloso y arenoso	31

Figura 18.	Curva característica de retención de agua en el suelo para diferentes texturas. Humedad expresada en base peso seco (% bps).....	33
Figura 19.	Método de presión de vapor (equipo WP4C).....	36
Figura 20.	A la izquierda manómetro de un tensiómetro con recomendaciones de capacidad de campo (CC) y rango de inicio según textura del suelo, a la derecha un tensiómetro análogo y otro digital	37
Figura 21.	Interpretación de un tensiómetro a diferentes proporciones de humedad de suelo en centibares (cb)	38
Figura 22.	Diferentes modelos de sensores FDR	39
Figura 23.	Sensor TDR con registrador manual de datos.....	40
Figura 24.	Detalles de cerezas con malformaciones del tipo fruto doble proveniente de flores con dos pistolos (A), 2 pistolos pero con uno atrofiado (B), con sutura o partidura (C)	44
Figura 25.	Partidura	45
Figura 26.	Modelos de inducción de partidura en cerezas basados en la absorción de agua por el fruto (1), el desarrollo de micro cracking en la cutícula (2), la absorción de agua por las raíces y a través del sistema vascular (3), y en la contracción de la piel de los frutos en oposición a la expansión del mesocarpio (4)	46
Figura 27.	Crecimiento de la fruta después de plena floración	60
Figura 28.	Humedad del suelo a principios de la primavera a 1 ft (30 cm) de profundidad	61
Figura 29.	Humedad del suelo a principios de la primavera a 2 ft (60 cm de profundidad).....	61
Figura 30.	Humedad del suelo a principios de la primavera a 3 ft (90 cm) de profundidad	62

Figura 31. Evolución de las variables meteorológicas y del volumen de agua de riego aplicado a cada tratamiento durante 2015. Para las variables evapotranspiración de referencia (ET _o), emperatura media (T _m) y déficit de presión de vapor (DPV). (Cada punto representa el valor medio de periodos de 10 días).....	67
Figura 32. Porcentaje de cobertura para el cálculo de la demanda Caso A para variedad Lapins cercano a 50% del porcentaje de cobertura, Caso B para variedad Regina cercano a 35% del porcentaje de cobertura en parcela 18.....	73
Figura 33. Agua requerida por planta utilizando el porcentaje de cobertura, la evapotranspiración actual del frutal y el agua aplicada para la variedad Bing de la parcela 10 en la temporada 2021-2022.....	76
Figura 34. Agua requerida por planta utilizando el porcentaje de cobertura, la evapotranspiración actual del frutal y el agua aplicada para la variedad Regina de la parcela 18 en la temporada 2021-2022.....	76
Figura 35. Agua requerida por planta utilizando el porcentaje de cobertura, la evapotranspiración actual del frutal y el agua aplicada para la variedad Lapins de la parcela 18 en la temporada 2021-2022.....	77
Figura 36. Imágenes satelitales de evapotranspiración de la parcela 10, para diferentes fechas de la temporada 2021-2022.....	78
Figura 37. Imágenes satelitales de evapotranspiración de la parcela 18, para diferentes fechas de la temporada 2021-2022.....	79
Figura 38. Carpas o rafias típicas utilizadas en huertos de cerezos en la zona centro sur del país.....	80
Figura 39. Macro túneles en huertos de cerezo cultivados en la zona central del país.....	81
Figura 40. Invernaderos para la producción de cerezas.....	81

Figura 41. A) Evolución temporal de la evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}) en el cultivo del cerezo bajo una condición de cubierta y sin cubierta. B) Relación entre la demanda de agua bajo una condición con y sin cubierta. Indica $p < 0,001$	83
Figura 42. Evolución del diferencial de temperaturas entre macro túnel y aire libre en 2017 en un huerto de Royal Dawn (A), Región del Maule	83
Figura 43. Evolución del diferencial de temperaturas entre carpa y al aire libre en un huerto de Santina (B), Región del Maule.....	85
Figura 44. Evolución de la humedad en el suelo entre macro túnel, al aire libre y lámina de riego aplicada a un huerto Royal Dawn ubicado en la Región del Maule, año 2017	86
Figura 45. Distribución de calibres de cereza a cosecha entre macro túnel y al aire libre de un huerto de Royal Dawn (A) y entre carpa y al aire libre de un huerto de Santina (B), ubicados ambos en la Región del Maule	88
Figura 46. Número de días que la temperatura del aire ambiente estuvo por debajo del umbral crítico $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a) y $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (b) durante la floración y cuajado de arándanos “Star”, “Emerald” y “Snowchaser en Entre Ríos provincia Argentina.....	93
Figura 47. Número de días que la temperatura del aire ambiente estuvo por debajo del umbral crítico $1,5^{\circ}\text{C}$ (a) y $0,5^{\circ}\text{C}$ (b) durante la floración y cuajado de arándanos “star”, “Emerald” y “Snow chaser” en Entre Ríos provincia Argentina.....	97
Figura 48. Protección contra heladas en arándanos	99

ÌNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Evapotranspiración estándar de referencia (ET _o).....	22
Ecuación 2.	Modelo de Penman Monteith para estimar Evapotranspiración (ET)	24
Ecuación 3.	Evapotranspiración de cultivo (ET _c).....	26
Ecuación 4.	Evapotranspiración actual (ET _a).....	30
Ecuación 5.	Contenido de humedad del suelo en términos gravimétricos	32
Ecuación 6.	Contenido de humedad del suelo en términos volumétricos.....	32
Ecuación 7.	Densidad aparente.....	32
Ecuación 8.	Agua aprovechable o útil para la planta utilizando la densidad aparente	33
Ecuación 8.1.	Agua aprovechable o útil para la planta (cm ³ cm ⁻³).....	33
Ecuación 9.	Capacidad de retención de agua para diferentes criterios de riego.....	41
Ecuación 10.	Volumen de retención del suelo humedecido	41
Ecuación 11.	Frecuencia de riego (Fr).....	42
Ecuación 12.	Volumen de agua diario requerido por la planta (V _r).....	43
Ecuación 13.	Volumen total diario a aplicar (V _t)	43
Ecuación 14.	Tiempo de riego (Tr)	43
Ecuación 15.	Evapotranspiración actual en cerezo bajo riego por goteo	68
Ecuación 16.	Evapotranspiración actual en cerezo bajo riego por microaspersión.....	68

MANEJO DEL RIEGO EN CEREZOS

WATER MANAGEMENT IN CHERRIES

Palabras claves: Demanda hídrica, Tiempo de riego, Porcentaje de cobertura, Producción, Heladas.

RESUMEN

El presente estudio analiza el riego en cerezos, relacionando los sistemas de aplicación de agua, manejo, operación, producción y métodos de riego para optimizar su producción. Se llevó a cabo un análisis general sobre frutales con estudios de casos, con el fin de entregar información sobre los parámetros de riego y manejo de agua que influyen en el desarrollo del árbol, la determinación de la demanda hídrica y producción. Se consideraron investigaciones que relacionan la evapotranspiración de referencia (ET_o) y actual (ET_a). Determinar la ET_a obtenida con la plataforma AQUASAT entrega un adecuado valor de la demanda de agua en cerezos y su posterior manejo. También se examinaron estudios que utilizan el sistema de riego como alternativa para el control de heladas en cerezos.

La información obtenida, demuestra que una elección inadecuada del sistema de riego, un manejo incorrecto de los tiempos de riego y una aplicación excesiva o restrictiva de agua tienen consecuencias en la producción y calidad del fruto.

WATER MANAGEMENT IN CHERRIES

Keywords: Water demand, Irrigation time, canopy cover, yield, frost.

SUMMARY

The present study analyzes irrigation in cherry trees, considering water application systems, management, operation, and production to optimize production. A general analysis of fruit trees was carried out with study cases, to provide information on the irrigation and water management parameters that influence the development of the tree, the determination of water demand and production.

Research that relates the reference evapotranspiration (ET_o) and current evapotranspiration (ET_a) was considered; showing that the ET_a obtained with the AQUASAT platform provides an adequate value of the water demand in cherry trees and its subsequent management. Studies that incorporate the irrigation system as an alternative for frost control in cherry trees were also examined.

The information obtained demonstrates that an inadequate selection of the irrigation system, an incorrect management of irrigation times and excessive or restrictive application of water have consequences on the production and quality of the fruit.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la escasez del recurso hídrico se ha convertido en un problema clave a nivel global. El progreso, el desarrollo, la innovación científica, los avances tecnológicos y las actividades agrícolas han llevado a la población a aumentar el consumo de agua a consecuencia del aumento de la demanda de alimentos. Como resultado de esta crisis, producir más alimentos con un mínimo de agua se ha convertido en el foco de diversos científicos alrededor del mundo (Morales et al., 2010; Gispert et al., 2013; Kang et al., 2017; Bryla et al., 2011; Deng et al., 2006).

El escenario actual de disponibilidad hídrica supone desafíos que se vinculan con la protección de los ecosistemas, el cuidado del medio ambiente, el desarrollo social y la viabilidad económica que son aspectos necesarios para garantizar una agricultura sustentable. En Chile, la agricultura es una de las actividades que posee un mejor desarrollo, gracias a ella existe una variada economía, la que, en la última década ha tenido un desarrollo exponencial que la ha llevado a la incorporación de las políticas sectoriales del Estado a través del ministerio de agricultura.

El mundo está cambiando, el clima está cambiando. Obtener los recursos que nos entrega el planeta Tierra con la rapidez y eficiencia de hace algunos años atrás ya no es lo mismo, ahora vivimos en constantes crisis, tales como: crisis ambiental, crisis climática, crisis hídrica, entre otros, A raíz de lo anterior, hoy es un desafío obtener agua para satisfacer las necesidades básicas que requiere la humanidad, es por esto, que se ha vuelto fundamental y necesario

culturizar y enseñar a las nuevas generaciones principalmente, acerca de la gestión del recurso hídrico.

Del agua útil que tenemos disponible superficial y subterránea no toda tiene como destino en la agricultura, también hay un porcentaje de ella que se utiliza en la minería y otros sectores de la economía. Por ejemplo, el porcentaje global de agua que se extrae y se utiliza en la agricultura es del 70-80%, en Chile se utiliza alrededor del 75% del recurso tanto superficial como subterránea, que permite regar 902,158 ha (según el VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, año agrícola 2020 – 2021).

Actualmente, en nuestro país, el cerezo es el frutal que posee la mayor superficie bajo riego con un total estimado de 61.559 ha, sobre todo entre las regiones de Coquimbo con 234 ha y Aysén con 244 ha, mientras que el Maule presenta la mayor superficie con 27.184 ha (Catastro frutícola 2022, CIREN y ODEPA).

A nivel global, Chile se posiciona en el 6º lugar de los mayores productores de cerezas del mundo (World Sweet Cherry Review, 2018).

Como país exportador es fundamental obtener producciones de calidad con frutos que satisfagan las necesidades del consumidor y mercado exportador. Pero no es fácil cumplir con estos requerimientos, se necesita una óptima gestión del agua de riego dirigida al cerezo, en donde se deben mantener su zona radical con estándares adecuados entre oxígeno y agua, debido a que el cerezo es un tanto más delicado que otros frutales, por lo que demanda un monitoreo más exhaustivo y continuo de su aplicación.

La época de cosecha y postcosecha son fechas importantes durante la temporada de riego en cerezos, se debe considerar mantener el riego antes y después de cosechada la fruta debido a que en postcosecha se producen algunos procesos fisiológicos de importancia para la temporada siguiente, como la inducción floral, además del crecimiento de raíces.

El riego que se establezca en cerezos debe suplir la demanda de agua por el frutal, mantener al árbol nutrido, minimizar las pérdidas de agua en el suelo, evitar en lo posible pérdidas de agua por escorrentía provocando un lavado del suelo, evitar la lixiviación y percolación para no contaminar los acuíferos, que no provoque salinización e inundación de los terrenos aledaños por mal drenaje y disminuya los riesgos de propagación de enfermedades como: la Clorosis que provoca amarillamiento en las hojas por exceso de agua en las raíces causando asfixia radical y frutos dobles producto de un manejo inadecuado del riego entre otros factores. Sin embargo, para realizar un correcto manejo del riego en cerezo es necesario transferir eficazmente los conocimientos a los agricultores para mejorar rendimientos y calidad del producto.

Algunas investigaciones estiman que agricultores podrían llegar a ahorrar hasta un 40% del consumo hídrico y un 20% de energía con nuevas técnicas de riego, pasando de riegos por tendido o inundación que entregan eficiencias bajas (30 a 40%) a riegos presurizados con eficiencias sobre el 90% (Nicolás Ruíz Tagle, 2022). Sin embargo, existe una brecha importante en la transferencia

tecnológica con pequeños y medianos agricultores. El transferir conocimientos y resultados de buenas prácticas en la agricultura aún es complejo.

Identificar las variables que favorecen un mejoramiento en el manejo de los recursos hídricos en un huerto es fundamental para fortalecer e incrementar los recursos, rendimientos y calidad. Considerando lo expuesto es que el presente estudio analiza los sistemas de aplicación de agua, el manejo y la operación del riego en cerezos. Específicamente la determinación de la demanda hídrica según el sistema de riego y su eficiencia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.

Analizar los sistemas de aplicación de agua, el manejo y la operación del riego en cerezos.

2.2. Objetivos específicos.

- Investigar sobre las características más relevantes sobre el riego en cerezos.
- Evaluar la demanda de agua en cerezo.
- Asociar la relación del riego en cerezos y sus efectos en la producción.
- Examinar el uso de riego para control de heladas y sus posibles efectos en la producción.

3. MARCO TEÓRICO

Todo frutal requiere de un volumen determinado de agua para crecer, desarrollarse y producir, pero no toda el agua que se aplica en un riego o que es aportada por las lluvias es utilizada por la planta. Para lograr el máximo aprovechamiento del agua es esencial conocer algunos factores ambientales donde la planta se desarrolla (Holzapfel et al., 2021).

3.1. Factores que determinan el consumo de agua de la planta.

- Variedad: Pueden existir diferencias en los requerimientos hídricos entre los diversos frutales y variedades.
- Porcentaje de cobertura o sombreado del frutal: está dado por la cantidad de follaje verde (hojas caduca o perenne) con relación al área del marco de plantación.
- Desarrollo del sistema radical de extracción del frutal: la distribución y profundidad del sistema radical de extracción de un frutal determinan el volumen o cubo de suelo desde el cual puede extraer agua.
- Factores climáticos: afectan la cantidad de agua que requieren las plantas, estos son: radiación solar, temperatura, humedad del aire, viento y precipitaciones.
- Radiación solar: a mayor radiación o luminosidad, mayor evaporación; por lo tanto, la demanda de agua de las plantas es mayor.
- Vientos: a mayor velocidad del viento se remueve más rápido el vapor de agua en la atmósfera que envuelve al frutal.

- Temperatura: en los días calurosos las plantas transpiran más que en días con temperaturas más bajas, por lo que su demanda por agua será mayor.
- Humedad del aire: mientras más seco es el aire las plantas pierden más agua al aumentar la capacidad de demanda de agua por la atmósfera (Jara et al., 2021).
- Precipitaciones: Influyen directamente entregando o devolviendo al suelo parte del agua consumida por las plantas.

3.2. Factores que determinan la absorción de agua desde el suelo a la planta.

El volumen de agua que puede retener el suelo está determinado por su capacidad de retención, su textura y estructura. Dependiendo del sistema de riego implementado se genera un volumen que se denomina bulbo húmedo.

Los sistemas de riego presurizados sólo humedecen un porcentaje del volumen radical que puede fluctuar entre 30 a 60% del área total, pero como criterio se debe humedecer a lo menos entre un 35 a 45% de la zona radical para no provocar estrés en los árboles o cultivos (Holzapfel, 2000).

En riego por goteo el volumen de suelo humedecido es por lo general menor que el que se produce con otros métodos de riego y fluctúa entre 10 y 60% del área total (Holzapfel, 2000).

En microaspersión el porcentaje de suelo humedecido depende del emplazamiento del microaspersor y de su diámetro de cobertura efectiva. Se

recomienda que el porcentaje de suelo mojado sea entre 50 y 70% de su área total.

– El caudal: en relación con el caudal, cuanto mayor es; la extensión horizontal que presentará el bulbo húmedo en el suelo incrementará horizontalmente, sin embargo, dicha extensión horizontal no aumenta indefinidamente con el tiempo.

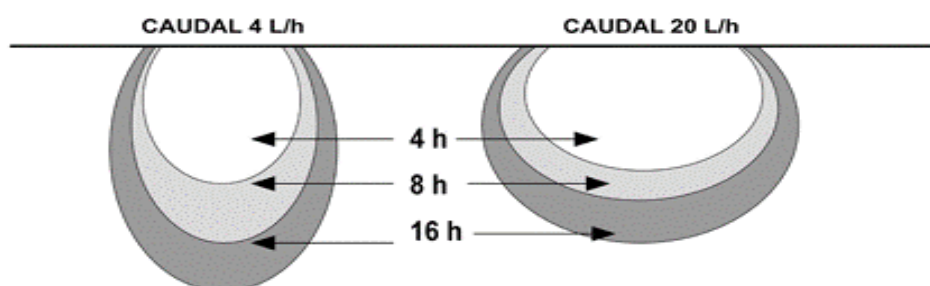


Figura 1. Tamaño del bulbo húmedo en relación con el caudal de los emisores.

Fuente: Podestá et al, 2011.

– Tiempo de aplicación: si el caudal se mantiene constante a lo largo del riego, la extensión del bulbo a medida que avanza el tiempo no presenta variación notable en la superficie, pero sí se desarrollará en profundidad resultando en riesgo de percolación.

– Textura: el suelo se compone de diferentes tamaños de partículas que lo forman, con tres fracciones: arena, limo y arcilla, las combinadas en distintas proporciones definen las texturas de suelo como suelos arenosos, francos, arcillosos y las posibilidades intermedias de combinación (Lagos et al., 2019). Dependiendo de la textura del suelo será el sistema de riego implementado, el caudal aportado, el tiempo y frecuencias de riego.

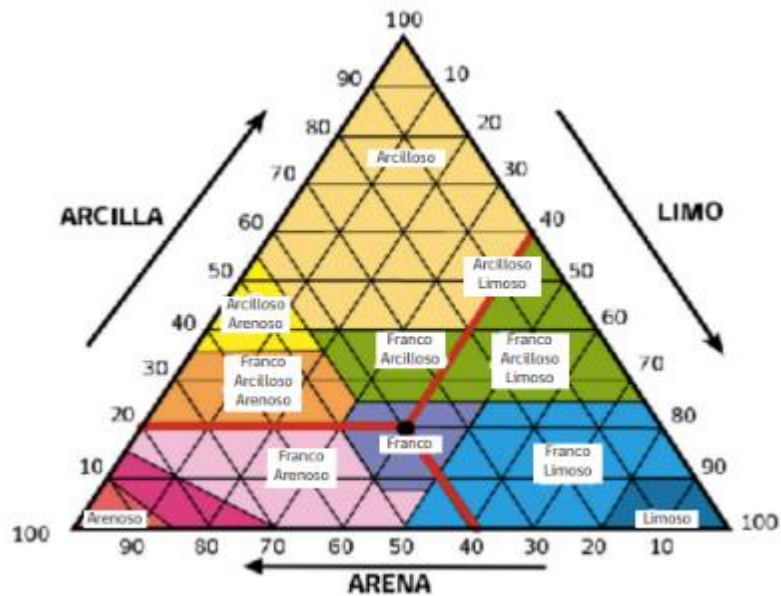


Figura 2. Triángulo textural de suelos.

Fuente: *Sistemas de Riego y Manejo Hídrico de Cultivos*, 2019.

- Tasa de infiltración: corresponde a la velocidad con la que el agua penetra el suelo a través de su superficie. Algunos factores que pueden afectar la entrada de agua en el suelo son: compactación del suelo, sales del suelo o agua, materia orgánica y rotación de cultivos y textura del suelo.

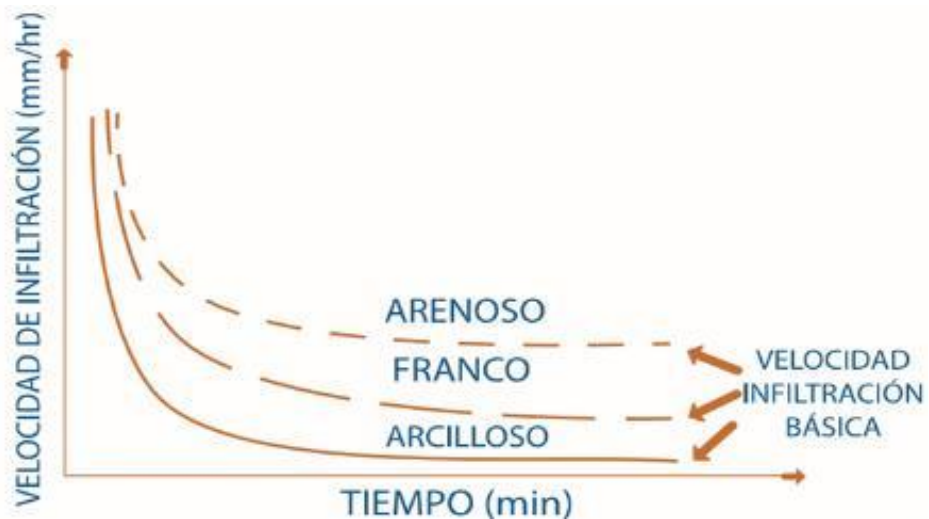


Figura 3. Tasa de infiltración según estado del suelo en función del tiempo.

Fuente: *Portal frutícola*.

- Las raíces: El desarrollo del sistema radical en frutales, además de las características del patrón de injerto, varía según el tipo de suelo y método de riego aplicado.

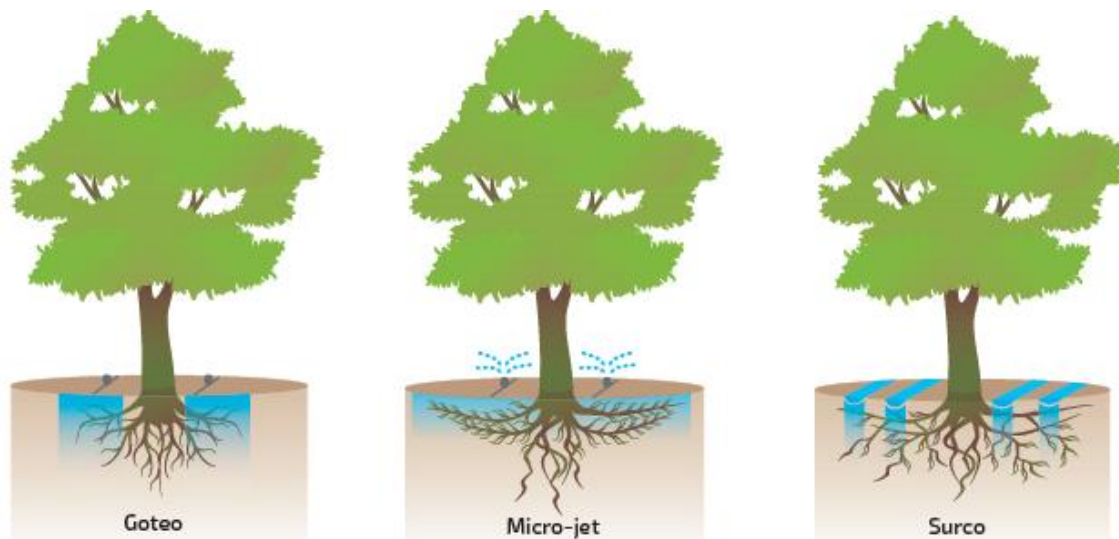


Figura 4: Distribución de raíces según método de riego.

Fuente: *Manual Riego y Drenaje en Frutales*, 2021.

3.3. Bulbo húmedo según sistema de riego.

- Extensión del bulbo húmedo en goteo: su forma es mucho más pequeño que en otros sistemas de riego presurizados, en donde la textura del suelo tiene gran relevancia en su forma.

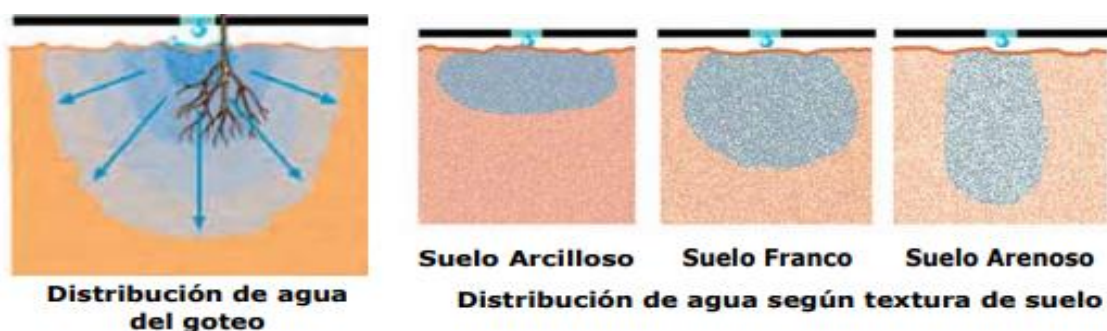


Figura 5. Distribución de agua en goteo y cinta según textura del suelo.

Fuente: *Medina*, 2018.

Los suelos arcillosos tienen menor velocidad de infiltración, lo que hace que el radio de la superficie humedecida sea mayor, esta es una de las primeras razones por la que el bulbo se extiende horizontalmente.

- Extensión del bulbo húmedo por microaspersión: Las gotas de agua que caen desde el microaspersor al suelo asemejan a la lluvia que cae en forma lenta y uniforme, de manera que el bulbo húmedo que se generará tendrá una extensión más bien dirigida hacia la zona horizontal del suelo que hacia la zona vertical (en profundidad).

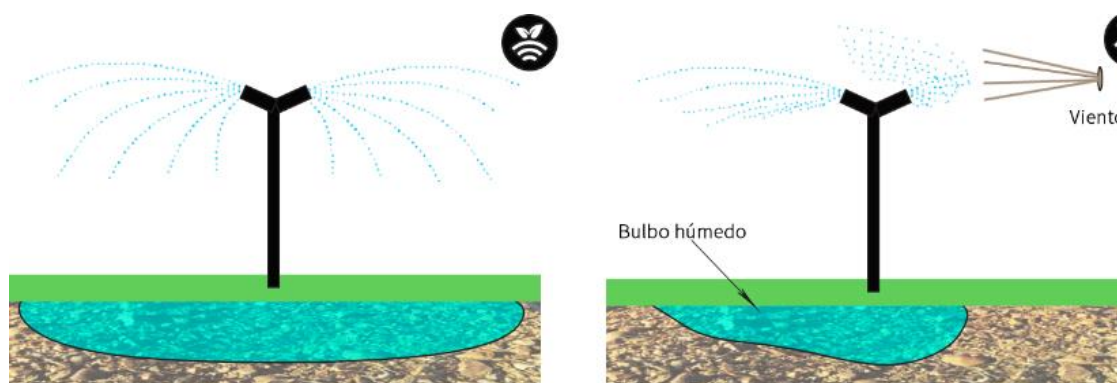


Figura 6. Distribución de agua en el suelo y el efecto del viento en su forma.

Fuente: *Plantae AGRO* y *Plantae golf*.

El radio de alcance de un microaspersor varía según la presión de trabajo y el caudal, siendo el área humedecida mucho mayor en microaspersión que en goteo, de igual manera, el patrón de humedecimiento del suelo de un microaspersor va a depender de la disposición de los micros aspersores en el terreno y de su radio de alcance.

3.4. Antecedentes generales del cerezo.

El cerezo dulce (*Prunus avium*) es la principal especie cultivada en Chile hoy en día, gracias al clima privilegiado y la ubicación geográfica de nuestro país son dos elementos fundamentales en las características de nuestra producción agrícola.

A continuación se entregan las características fenológicas principales del cerezo.

- El tronco: es recto de textura lisa, de donde surgen las ramas. Es grueso en el caso del cerezo dulce y delgado en el de cerezo ácido.
- Su corteza: es de textura lisa, anillada, de color marrón rojizo, del que se desprende de anchas bandas transversales.
- Sus hojas: son simples, ovado-oblongas, aserradas y acabadas en punta con una longitud comprendida entre los siete y trece centímetros por unos tres a cinco de anchura. Son verde suave con el envés pubescente.
- Diferencia entre las hojas del cerezo dulce y el ácido: El cerezo dulce posee hojas largas, aserradas y algo colgantes, mientras que en el cerezo ácido son más pequeñas, también aserradas, pero de forma redondeada.
- Las flores: son diferentes según la especie, en el caso del cerezo dulce son muy blancas y mayores de 2,5 cm de diámetro, mientras que el caso del cerezo ácido no es tan blanco y con un diámetro menor, sobre 1 y 0,5 a 2 cm. Sus flores aparecen antes o a la vez que sus hojas.

- Su fruto: es técnicamente una drupa de color rojo negruzco, globosas o con figura de corazón. En su interior posee un sólo hueso globoso y casi liso. Este color es más intenso e incluso muy oscuro en las variedades de la especie de cerezas dulces, mientras que es más anaranjada en las de la especie ácida.
- Su poda: Para tener crecimiento lateral y terminal más uniforme, la poda debe ser suave y la inclinación debe ser tarde en verano (enero-febrero), cuando la terminal haya alcanzado el largo deseado.



Figura 7. Estado fenológico del cerezo.

Fuente: Smartcherry.

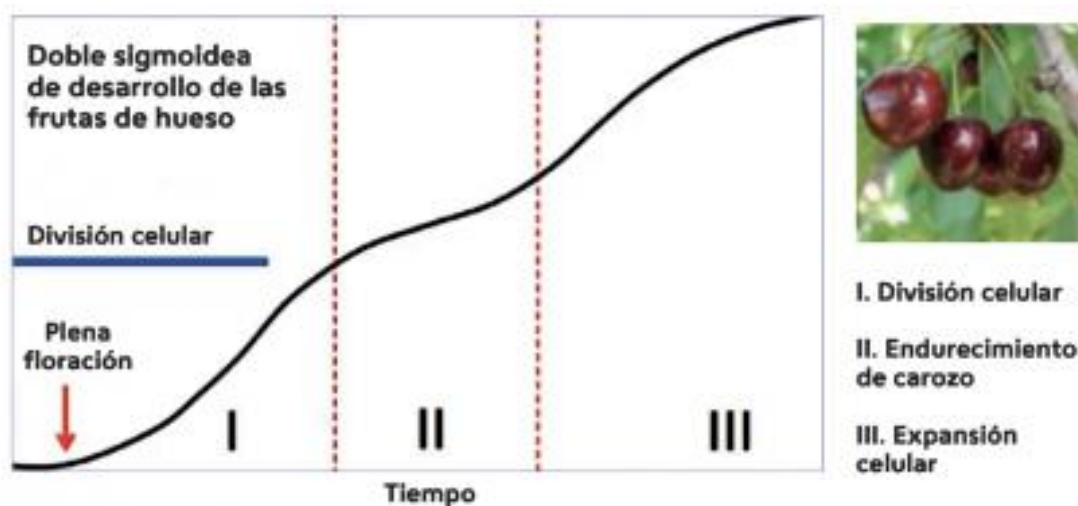


Figura 8. Etapas del estado fenológico del cerezo.

Fuente: Simfruit.

Existe, sin embargo, una característica del cerezo que lo diferencian de otros frutales: su temprana época de cosecha. Así, mientras que la mayoría de los carozos la cosecha se realiza después de la época más calurosa del verano, en el cerezo la cosecha es realizada antes de que este evento ocurra.

Esta particularidad del cerezo determina que las estrategias de riego tengan un objetivo ligeramente distinto que en otros frutales. En los frutales tardíos pueden usarse estrategias de riego en donde una restricción parcial del suministro hídrico permite disminuir la potencia del crecimiento vegetativo mientras el fruto está creciendo (Ferreyra, 2002).

3.5. Riego presurizado en cerezos.

Anteriormente se ha mencionado que la selección de los equipos de riego en cerezos se implementa en su mayoría con sistemas presurizados, de tal manera que el riego por goteo y microaspersión son los principales métodos de riego utilizados en este frutal. Con estos sistemas se pretende controlar, bajo adecuadas condiciones de diseño, operación, manejo y el patrón con que el agua se distribuye en el suelo generando en la zona radical del cultivo un ambiente con características físicas, químicas y biológicas que permitan mayores rendimientos, y obtener un producto de alta calidad (Holzapfel et al., 2022).

Al elegir un método de riego se debe considerar el porcentaje de eficiencia teórica de aplicación que clasifica a los sistemas de riegos en eficientes y no tan eficientes. Un riego eficiente es cuando la demanda hídrica de un cultivo es

suplida y evita las pérdidas innecesarias del recurso hídrico. Los riegos presurizados presentan porcentajes de eficiencia por sobre el 80%, mientras que los riegos superficiales por gravedad tienen a la fecha valores más pequeños debido a su bajo nivel tecnológico.

A continuación, se mostrará el resultado de un catastro que indica los sistemas de riego más utilizados en los sectores frutícolas del sur de nuestro país. La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (CIREN y ODEPA) informó que, según los resultados del 2019 de los catastros frutícolas, en las siete regiones ubicadas en el sur del territorio (Maule, Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Aysén) todas utilizan el método por goteo como principal sistema de riego, luego le siguen microaspersión y surco. En el caso de la Región del Maule, todos los métodos de riego presentaron una disminución de su superficie respecto al 2016, menos el goteo que aumentó en 51,4% lo que corresponde a un crecimiento de 14.871 ha.

Este aumento en el riego por goteo y disminución de otros métodos también se presentó en el Ñuble (58,8%), Biobío (80,1%), La Araucanía (88%), Los Ríos (78,5%), Los Lagos (95,3%) y Aysén (78,1%).

Luego en los métodos más utilizados le sigue microaspersión en el Maule (24,9%), Biobío (17%), La Araucanía (8%), Los Ríos (18,6%) y Los Lagos (4,7). Al contrario, en Ñuble y Aysén, al método de goteo, le sigue el de surco (12,5% y 20,9% respectivamente).

En el caso del norte grande, el principal cambio observado en la Región de Arica y Parinacota es el aumento de la superficie regada con goteo en casi un 28,3%. La superficie regada por surco, microaspersión y curvas de nivel sufrieron una caída de 129 ha, 26 ha y 4 ha, respectivamente, en relación con 2016.

En la Región de Tarapacá, se registró un aumento de la superficie regada con Goteo en un 13%. La microaspersión también aumentó en un 6,7%. Por otro lado, los métodos de riego restantes disminuyeron entre un 1% y un 48,0% su utilización.

Estos aumentos en el uso de sistemas de riego presurizados; uno por sobre otros se relacionan con la disponibilidad de agua en algunas zonas de nuestro país por la escasez hídrica.

3.6. Características del riego por goteo.

El riego por goteo utiliza emisores y líneas laterales ubicadas en la superficie del suelo o fijados sobre el suelo en un enrejado o hileras dependiendo de cultivo. Este riego se usa en plantas perennes muy espaciadas como frutales, pero también para cultivos anuales en hileras.

El caudal (2 a 10 L h^{-1}) de los goteros depende de la presión de trabajo, regulada por el tipo de gotero. Por ejemplo, los goteros autocompensado mantienen el caudal constante en el rango de presiones para el cual fue confeccionado (siempre se sugiere revisar la ficha técnica del emisor) pero son de mayor costo. Estos emisores se usan cuando los desniveles de la superficie son importantes o cuando las hileras de plantación son de gran longitud ($>120 \text{ m}$), a diferencia

de los no autocompensado que sí se ven afectados con los cambios de presión dados por la pendiente o por los largos de las líneas de riego (pérdidas de carga).



Figura 9. Sistema de riego por goteo en cerezos.

Fuente: Mundoagro, 2021.

3.7. Características del riego por microaspersión.

El agua se aplica a la superficie del suelo simulando una pequeña lluvia. El riego por microaspersión se utiliza para regar árboles u otros cultivos muy espaciados. Los sistemas de microaspersión pueden ser vulnerables a pérdidas por evaporación y altos niveles de velocidad del viento, particularmente cuando las plantas son jóvenes y tienen un sistema foliar pequeño o poco desarrollado, sin embargo, los sistemas de microaspersión tienden a aplicar caudales más

bajos por unidad de área para minimizar estas pérdidas. Una ventaja que poseen en comparación con otros sistemas de riego es que los microaspersores también brindan una mejor protección contra heladas que los sistemas de riego por goteo.



Figura 10. Sistema de riego por microaspersión en cerezos.

Fuente: El Mercurio

A continuación se entregan algunas ventajas y desventajas de los sistemas de riego por goteo y microaspersión.

Ventajas:

- Eficiencia de aplicación del agua sobre un 85 % si el manejo de riego es óptimo.
- Alta eficiencia de distribución.

- Ahorro de agua, especialmente en arboles jóvenes.
- Aprovechamiento de suelos con pendiente y con buen drenaje.
- Aprovechamiento de terrenos marginales (pedregosos de escasa profundidad, entre otros) que con métodos tradicionales se consideraban no aptos para el riego.
- Alta eficiencia de aplicación de fertilizantes.

Desventajas:

- Alto costo de inversión comparado con riegos tradicionales.
- Riesgo de taponamiento por mal filtrado o inadecuado mantenimiento de emisores lo que puede llevar a una baja eficiencia de distribución.
- Requiere mantenimiento frecuente como limpieza de goteros y reparación y cambio de tuberías, emisores, filtros, etc.
- Riesgo de daño en las tuberías por roedores entre otros.
- Requiere capacitación de la mano de obra para el manejo, mantenimiento y de conocimientos técnicos y/o asesoramiento del profesional.

3.8. Demanda del agua en cerezos.

Las plantas necesitan capturar luz y CO_2 del ambiente para generar fotosíntesis. Las plantas liberan agua al ambiente mediante un proceso llamado transpiración. En el suelo se produce otro proceso denominado evaporación, que consiste en liberar el agua a la atmósfera desde la capa más superficial de

este. La cantidad de agua que consideran ambos procesos, transpiración y evaporación, se formula como evapotranspiración o demanda hídrica del cultivo (ETc).

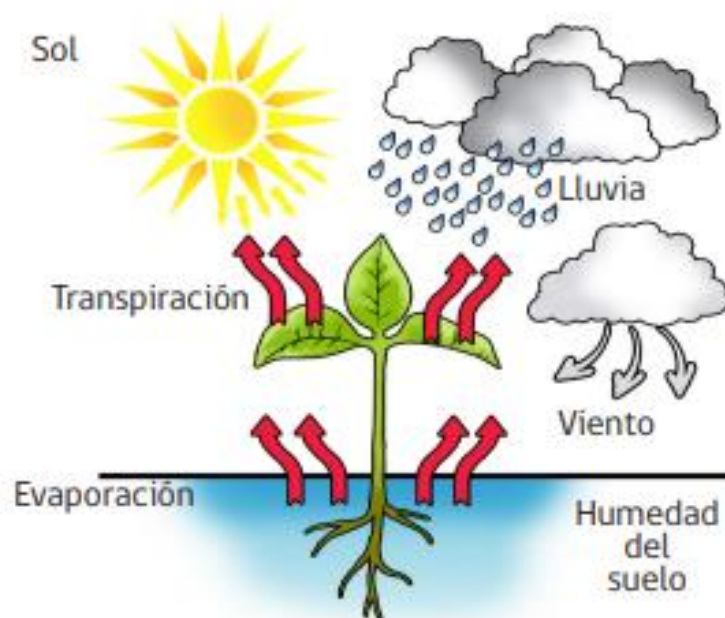


Figura 11. Proceso de evapotranspiración.

Fuente: Sistema de riego y manejo hídrico de cultivos.

3.9. Métodos para determinar la demanda hídrica.

La demanda de agua de cada cultivo varía dependiendo de la variedad, del periodo fenológico, zona geográfica y época del año en que se encuentre.

- Evapotranspiración estándar de referencia (ET_o): el método más sencillo para estimar ET_o es utilizar el evaporímetro de bandeja clase A, el cual se encuentra estandarizado (Ecuación 1).

$$ET_o = K_b * E_b \quad [1]$$

Donde:

E_{To} : Evapotranspiración de referencia en mm día^{-1} .

K_b : es el coeficiente de bandeja, tiene valores entre 0,6 y 0,85 que dependen del carácter y la extensión de la cobertura vegetal que circunda la bandeja, adimensional.

E_b : es la evaporación de bandeja en mm día^{-1} .

Para medir la evaporación de bandeja clase A, esta se debe llenar hasta un determinado nivel, se marcar el nivel hasta dónde llega el agua dentro de la bandeja para que sirva como punto de referencia para la medición posterior. Para obtener la evaporación diaria es importante mantener este proceso y repetir cada día, luego, el nivel de agua que baje desde la medición del nivel es lo que se ha evaporado.

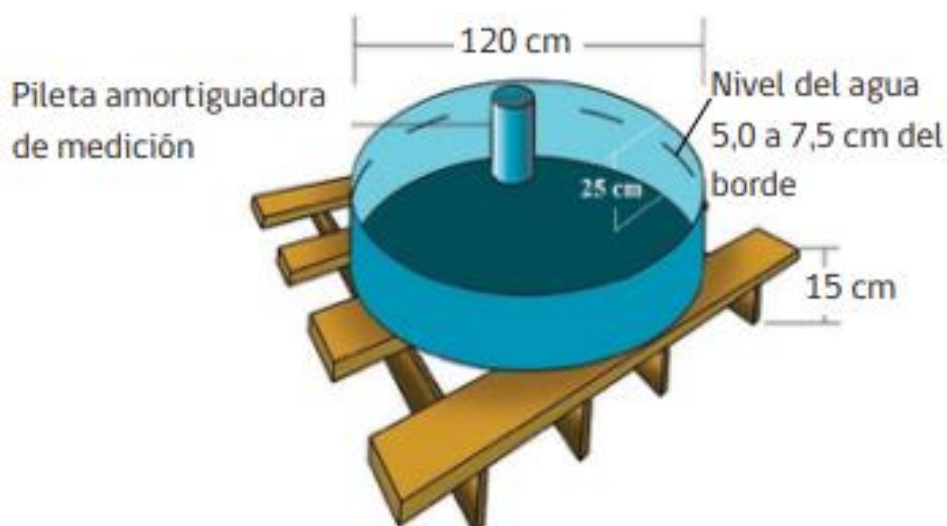


Figura 12. Bandeja de evaporación.

Fuente: Sistema de riego y manejo hídrico de cultivos.

– Modelo Penman Monteith para estimar evapotranspiración (ET_o): mediante una estación meteorológica automática se puede registrar el comportamiento de diferentes variables medioambientales, como la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento y la precipitación. Con el registro de estas variables y aplicando el modelo físico-matemático de Penman Monteith de FAO (1990) y actualizado por la ASCE (2005) se puede obtener la evapotranspiración de referencia empleando la Ecuación 2.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34 u_2)} \quad [2]$$

Donde:

ET_o: evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹) para una altura de cubierta vegetal ideal de 50 cm.

R_n: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹).

G: flujo de calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹).

T: temperatura media del aire a 2 m de altura (m s⁻¹).

U₂: velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹).

e_s: presión de vapor de saturación (kPa).

e_a: presión real de vapor (kPa).

e_s-e_a: déficit de presión de vapor (kPa).

Δ: pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹).

γ: constante psicrométrica (Kpa °C⁻¹).

En la Tabla 1 se entregan valores de evapotranspiración referenciales para diferentes zonas del país.

Tabla 1. Evapotranspiración de referencia (ET_o) diaria promedio para cada mes (mm día⁻¹) y anual (mm año⁻¹) para diversas localidades del país (*).

Localidad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Arica	5,0	4,7	4,0	3,3	2,6	2,3	2,2	2,5	3,1	3,8	4,5	4,9	1301
Camarones	5,9	5,6	5,2	4,5	4,1	3,8	3,8	4,1	4,6	5,2	5,6	5,9	1771
Pica	7,2	6,9	6,3	5,7	5,1	4,7	4,9	5,1	5,6	6,2	6,9	7,1	2178
Copiapó	6,3	5,8	5,1	4,1	3,4	2,9	2,9	3,3	4,0	4,9	5,7	6,2	1660
Tierra Amarilla	6,8	6,3	5,5	4,4	3,7	3,2	3,2	3,7	4,3	5,3	6,1	6,7	1794
Huasco	4,8	4,4	3,7	2,9	2,2	1,8	1,8	2,1	2,7	3,5	4,2	4,7	1176
Vallenar	6,0	5,5	4,7	3,7	2,9	2,4	2,4	2,8	3,6	4,5	5,4	5,9	1510
La Serena	4,6	4,2	3,5	2,7	2,1	1,7	1,7	2,0	2,6	3,4	4,1	4,6	1128
Vicuña	7,9	7,2	5,6	4,0	2,7	2,0	2,2	3,0	4,2	5,6	6,9	8,0	1800
Monte Patria	6,7	6,1	5,0	3,9	2,8	2,4	2,3	2,7	3,6	4,7	5,9	6,6	1600
Ovalle	6,1	5,6	4,6	3,5	2,7	2,2	2,0	2,5	3,3	4,3	5,3	6,0	1465
Illapel	5,8	5,3	4,4	3,5	2,5	2,2	2,1	2,4	3,2	4,2	5,1	5,7	1408
San Felipe	6,1	5,3	4,4	3,3	2,3	1,8	1,7	2,1	3,0	4,1	5,2	5,9	1378
Los Andes	6,1	5,6	4,5	3,3	2,3	1,8	1,7	2,1	3,0	4,1	5,2	6,0	1385
Casablanca	4,9	4,4	3,6	2,6	1,8	1,4	1,4	1,8	2,5	3,4	4,2	4,8	1121
Quillota	4,9	4,5	3,6	2,7	1,9	1,5	1,4	1,8	2,5	3,4	4,2	4,8	1129
Melipilla	5,5	5,0	4,0	2,9	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,7	4,7	5,4	1246
Pirque	6,1	5,5	4,4	3,1	2,2	1,6	1,6	2,0	2,8	4,0	5,1	5,9	1342
Buín	5,8	5,2	4,2	3,0	2,1	1,6	1,5	1,9	2,8	3,8	4,9	5,7	1294
Rancagua	5,9	5,4	4,3	3,1	2,2	1,7	1,6	2,0	2,8	3,9	5,0	5,8	1322
Peumo	6,0	5,4	4,3	3,1	2,2	1,7	1,6	2,0	2,8	3,9	5,0	5,8	1328
San Fernando	6,1	5,5	4,4	3,1	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,9	5,1	5,9	1335
Santa Cruz	6,0	5,4	4,3	3,1	2,1	1,7	1,5	1,9	2,7	3,9	5,0	5,8	1322
Curicó	5,9	5,3	4,2	3,0	2,0	1,5	1,4	1,8	2,6	3,8	4,9	5,8	1283
San Clemente	6,2	5,6	4,4	3,1	2,1	1,5	1,4	1,8	2,6	3,8	5,1	6,0	1326
Cauquenes	5,7	5,1	4,0	2,9	1,9	1,4	1,4	1,7	2,5	3,5	4,7	5,5	1219
Parral	6,2	5,5	4,3	3,1	2,0	1,5	1,4	1,8	2,6	3,8	5,0	5,9	1313
San Carlos	6,1	5,4	4,2	2,9	1,9	1,4	1,3	1,7	2,5	3,7	5,0	5,9	1277
Chillán	6,0	5,4	4,2	2,9	1,9	1,4	1,4	1,7	2,6	3,7	5,0	5,8	1271
Los Ángeles	5,4	4,8	3,8	2,6	1,7	1,3	1,2	1,5	2,3	3,3	4,4	5,2	1139
Nadamiento	5,4	4,8	3,7	2,6	1,6	1,2	1,1	1,5	2,3	3,3	4,4	5,2	1127
Angol	5,1	4,6	3,6	2,5	1,6	1,1	1,1	1,4	2,2	3,2	4,2	5,0	1077
Mulchén	5,2	4,6	3,5	2,4	1,5	1,1	1,1	1,4	2,1	3,1	4,2	5,0	1069
Victoria	4,8	4,3	3,4	2,3	1,5	1,1	1,1	1,4	2,0	3,0	4,0	4,7	1018
Temuco	4,7	4,2	3,3	2,2	1,4	1,0	1,0	1,3	2,0	2,9	3,9	4,6	981
Villarrica	4,4	4,0	3,1	2,2	1,5	1,2	1,2	1,5	1,9	2,8	3,7	4,3	966
Osorno	4,0	3,6	2,8	1,9	1,2	0,9	0,9	1,2	1,7	2,6	3,4	3,9	855
Frutillar	3,8	3,5	2,7	1,9	1,2	1,0	0,9	1,2	1,7	2,4	3,2	3,7	825
Puerto Montt	3,8	3,4	2,6	1,9	1,2	0,9	0,9	1,1	1,6	2,4	3,1	3,7	809

(*) Valores derivados del Sistema Nacional de Referencia Demandas de Agua por la Agricultura. AGRIMED. Corfo-U. De Chile-CNR. 2016.

Fuente: Riego y drenaje en frutales, 2021.

- Evapotranspiración actual (ETa) o de cultivo (ETc): el requerimiento hídrico del cultivo para un momento dado se puede calcular con la Ecuación 3:

$$ETc = ETo * Kc \quad [3]$$

Donde:

ETc: evapotranspiración de cultivo en mm día⁻¹.

ETo: evapotranspiración de referencia de un cultivo en mm día⁻¹.

Kc: el coeficiente de cultivo del cerezo para un periodo determinado, adimensional.

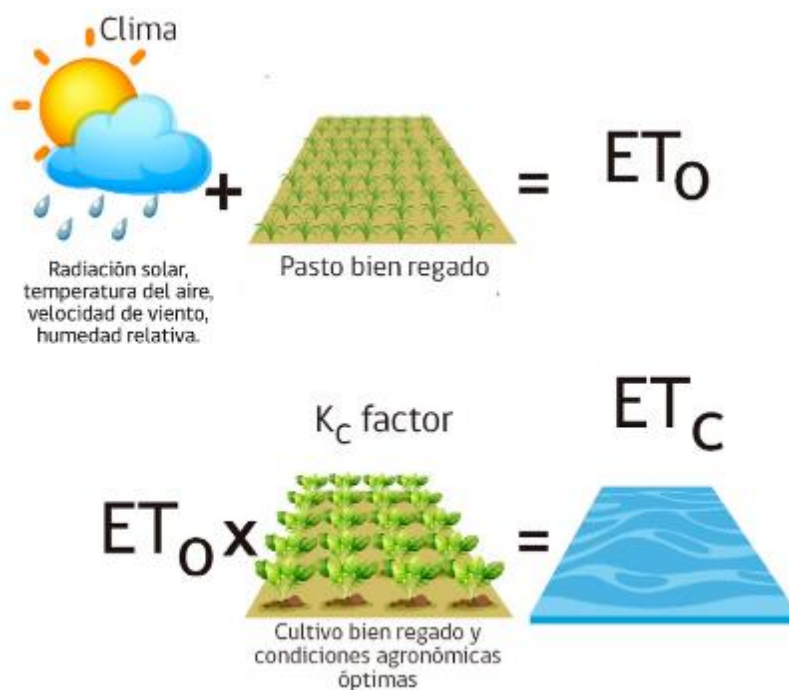


Figura 13. Evapotranspiración de cultivo (ETc) en condiciones estándar de ETo.

Fuente: CNR, 2023. Manual de programación y control de riego tecnificado. Programa de transferencia tecnológica en programación y control de riego tecnificado.

Como en todos los cultivos de hoja caduca, el cerezo anualmente realiza un recambio de toda su área foliar en forma simultánea, pasando por estados en los que no tiene hojas a estados foliados. Llegando la primavera comienza la formación de frutos, aparición y expansión de hojas y crecimiento de brotes; siendo la segunda la responsables de la pérdida de vapor de agua a través de sus estomas, lo que produce un aumento de la demanda hídrica del cerezo. En la Figura 14 se muestran valores típicos de la evapotranspiración en cerezos para la zona central durante la temporada de riego.

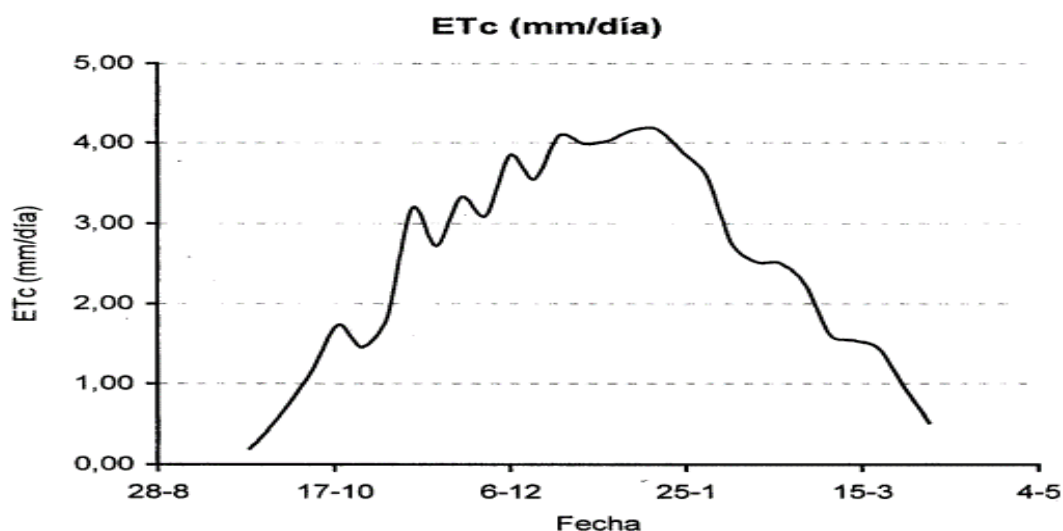


Figura 14. Evolución de la evapotranspiración del cultivo (ETc) para un huerto de cerezos en la zona central.

Fuente: Ferreyra, 2002.

- Coeficiente de cultivo (K_c). 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 (ETc) a partir de E_{To} .



Figura 15. Curva generalizada de Kc.

Fuente: Allen et al., 1998.

Tabla 2. Coeficientes de cultivo (Kc) para el mes de máxima demanda para diferentes frutales.

Frutal	Kc
Manzano	1,25
Palto	0,85
Cerezo	1,25
Cítricos	0,65
Peral	1,15
Duraznero	1,15
Ciruelo	1,15
Uva de mesa	0,90-1,20

Fuente: Jara, 2021.

Los valores de Kc de la Tabla 2, se utilizan en condiciones de desarrollo vegetativo del frutal en la temporada de riego (usualmente diciembre-enero-febrero en el valle central) y con una cobertura vegetal de plantación adulta, que corresponde cuando hay un mínimo de 70% de vegetación del árbol que cubre el suelo (Jara, 2021).

– Factor de cobertura (Fc): en la determinación de la evapotranspiración actual (ETa) para huertos en formación (1^{er} a 5^{to} año en terreno, aproximadamente) se debe considerar un factor de cobertura del huerto (Fc), para el primer año se toma valores de 0,1 y se incrementa a 1,0 para un huerto adulto (Jara, 2021).

Tabla 3. Valores sugeridos del factor de cobertura (Fc) en función de la edad del huerto y/o del porcentaje de cobertura (% cobertura) de la cubierta vegetal.

Rango de edad huertos (años)	% Cobertura	Fc
1	<10	0,1
1-2	10 a 20	0,1 a 0,3
2-3	20 a 30	0,3 a 0,5
3-4	30 a 50	0,5 a 0,8
4-5	50 a 70	0,8 a 1,0
>5	70 a 100	1

Fuente: Jara, 2021.

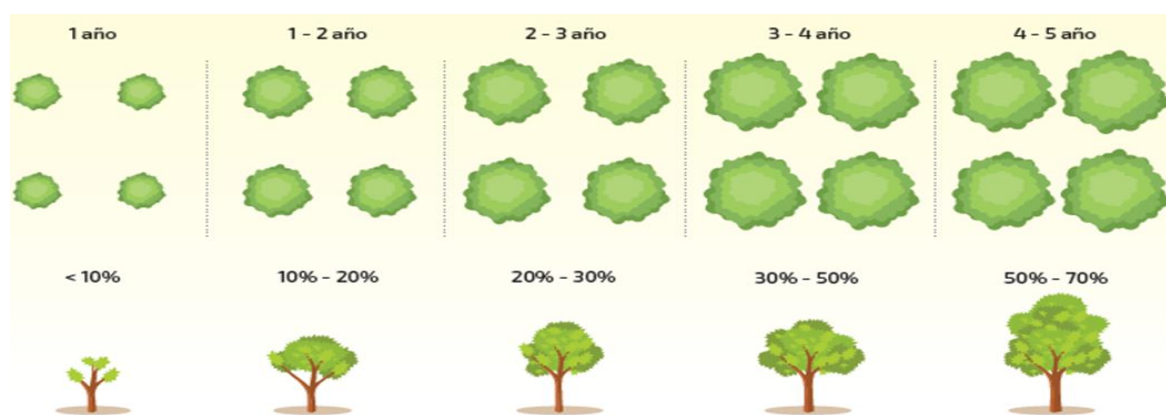


Figura 16. Guía indicativa del porcentaje de cobertura de un huerto frutal y su relación para la elección del factor de cobertura (Fc).

Fuente: Jara, 2021.

- Evapotranspiración actual (ETa). la evapotranspiración actual del frutal se puede estimar utilizando el factor de cobertura cuando están caracterizados los valores de F1 y F2 que se emplean en la Ecuación 4.

$$ETa = ETo(F1 P + F2) \quad [4]$$

Donde:

ETa: Evapotranspiración actual del frutal en mm día⁻¹.

ETo: Evapotranspiración potencial o de referencia en mm día⁻¹.

P: Factor de sombreado al medio día solar ($0,2 < P \leq 0,7$).

F1: Factor asociado al árbol o cultivo en particular, adimensional.

F2: Factor propio del sistema de riego presurizado, adimensional.

3.10. Propiedades físico-hídricas que se utilizan en la programación del riego.

Para manejar correctamente un sistema de riego se deben conocer conceptos importantes referentes al almacenamiento del agua en el suelo que se puede determinar conociendo sus constantes físico-hídricas como los que se describen a continuación.

- Punto de saturación (PS): es la máxima cantidad de agua del suelo a retener, el cual es afectada por el contenido y tipo de arcillas y cantidad de materia orgánica (Jara et al., 2021).

- Capacidad de campo (CC): es el contenido de humedad de suelo, después que se ha aplicado agua en cantidad abundante y se ha dejado drenar libremente, alrededor de 24 a 48 horas después del riego o la lluvia. Indica el límite superior o máximo de agua útil para la planta que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad o a una energía de retención de aproximadamente 0,33 bar (33 cb) (Jara et al., 2021).
- Punto de marchitez permanente (PMP): es el contenido de agua en el suelo al cual la planta se marchita y ya no recobra su turgencia al colocarla en una atmosfera saturada durante 12 horas. Indica el límite inferior o mínimo de agua útil para la planta que se asocia a la máxima capacidad que tiene la planta para extraer agua desde el suelo (Jara et al., 2021).



Figura 17. Agua útil para las plantas en suelo arcilloso y arenoso.

Fuente: *Sistemas de riego y manejo hídrico de cultivos*, 2019.

El contenido de humedad del suelo puede ser expresado en términos gravimétricos (H, porcentaje de humedad base peso seco (% bps)) y/o volumétricos ($\text{cm}^{-3}_{\text{agua}} \text{cm}^{-3}_{\text{suelo}}$) (Ecuación 5).

$$H\% \text{ bps} = \left(\frac{m_{\text{agua}}}{m_{\text{suelo}}} \right) * 100 \quad [5]$$

Donde:

H% bps: Humedad en base al suelo seco en porcentaje (%).

m_{agua} y m_{suelo} : masa de agua y suelo en gramos (g).

El contenido de humedad volumétrico del suelo (H) se expresa en términos de volumen de agua por volumen de suelo como se muestra en la Ecuación 6:

$$H \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} \right) = \frac{H\% \text{ bps}}{100} * \frac{D_a}{D_{2\text{H}_2\text{O}}} \quad [6]$$

Donde:

H % bps: Humedad en base al suelo seco en %.

D_a : Densidad aparente del suelo en g cm^{-3} .

$D_{\text{H}_2\text{O}}$: Densidad del agua (g cm^{-3}) que tiene valor igual a 1 g cm^{-3} .

– Densidad aparente (D_a): es el peso del suelo seco por unidad de volumen de suelo. Esta propiedad está relacionada con la porosidad (espacio poroso) y la compactación, y se utiliza para calcular el contenido volumétrico del agua del contenido gravimétrico de agua (Ecuación 7).

$$D_a = \frac{\text{peso de suelo seco}}{\text{volumen de suelo}} \quad [7]$$

– Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo: la curva característica de humedad del suelo describe la relación entre el contenido de agua en el suelo

y la tensión a la que retiene el agua. La relación no es lineal y varía con el tipo de suelo.

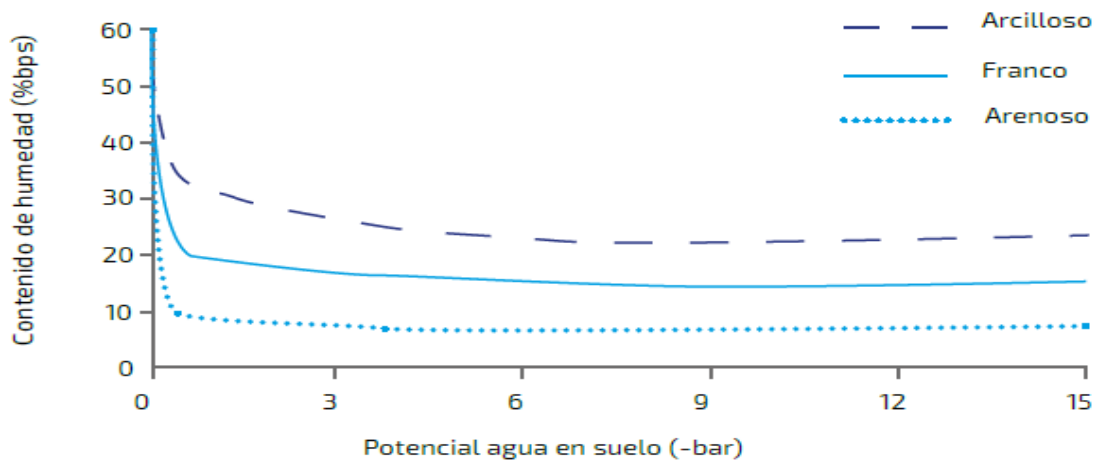


Figura 18. Curva característica de retención de agua en el suelo para diferentes texturas. Humedad expresada en base peso seco (% bps).

Fuente: Holzapfel et al., 2022.

Si se desea calcular la cantidad de agua que retiene un suelo, que puede ser aprovechable o útil para la planta se puede emplear la Ecuación 8 o Ecuación 8.1.

$$HA = \frac{(CC_{(\%bps)} - PMP_{(\%bps)})}{100} * \frac{D_{ap}}{D_{H_2O}} * Z \quad [8]$$

$$HA = (CC_{cm^{-3}} - PMP_{cm^{-3}}) * Z \quad [8.1]$$

Donde:

HA: Altura de agua aprovechable para la planta (como referencia se puede relacionar que 1 mm de altura de agua corresponde a 1 L m⁻²).

CC: Contenido volumétrico de humedad del suelo a capacidad de campo en $\text{cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$.

PMP: Contenido volumétrico de humedad del suelo a punto de marchitez permanente en $\text{cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$.

Z: Profundidad representativa de la muestra de suelo analizada en mm.

D_a : densidad aparente del suelo g cm^{-3} .

D_{H_2O} : densidad del agua en g cm^{-3} que tiene valor igual a 1 g cm^{-3} .

3.11. Métodos utilizados para monitorear la humedad del suelo.

Conocidas las necesidades hídricas del cerezo, programar el riego dependerá del sistema de riego, tipo de suelo, profundidad y de la de la disponibilidad de agua.

Existen métodos que se utilizan en el control del riego y que se pueden aplicar de dos maneras: al ambiente (mediante la determinación evapotranspiración) o al suelo (mediante un control de la humedad del suelo), sin embargo, estos métodos se recomienda usarlos en conjunto para un mejor manejo del riego . Para mantener un control del riego adecuado se requiere evaluar constantemente estos parámetros y mantener un equilibrio entre lo que se evapotranspira y lo que se desea reponer mediante el riego.

3.12. Técnicas de laboratorio para determinar la humedad del suelo.

- Barrenos y calicatas: se realiza por apreciación visual y al tacto.

Tabla 4. Pauta para estimar por sensaciones visuales y de tacto la humedad del suelo.

Humedad aprovechable	Textura gruesa	Textura gruesa moderada	Textura media	Textura fina o muy fina
100% (Capacidad de campo)	Al comprimir una masa de suela, deja huella húmeda en la mano	Al comprimir una masa de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una masa de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una masa de suelo, deja huella húmeda en la mano.
75 a 100%	Tiende a pegarse ligeramente. Permite formar una masa que se disgrega fácilmente.	Permite formar una masa que se disgrega fácilmente. No se adhiere a la mano.	Permite formar una masa que se moldea fácilmente. Muy adhesiva a la mano.	Se forma un cilindro con facilidad al amasarla entre los dedos. Muy adhesiva.
50 a 75%	Seco en apariencia. No se puede formar una bolita al presionarlo.	Al presionar tiende a formar una masa, pero no mantiene su forma.	Permite formar una bolita relativamente plástica. Algo adhesiva al presionarla fuerte.	Se forma bolita o pequeño cilindro al amasarla entre los dedos.
25 a 50%	Seco en apariencia. No se puede formar una bolita al presionarlo.	Seco en apariencia. Fácilmente desmenuzable.	Algo desmenuzable, pero se une al someterla a presión.	Relativamente moldeable, forma una masa al presionarla con fuerza.
0 a 25% (0% punto de marchitez permanente)	Seco suelto, granulado se escurre entre los dedos.	Seco, suelto, se escurre entre los dedos.	Pulverulento, seco, fácilmente desmenuzable.	Duro, compactado, con terrones en la superficie.

Fuente: Jara et al., 2021.

– Método de presión de vapor: los Higrómetros de Punto de Rocío (WP4C) miden el potencial hídrico del suelo en el laboratorio. Equilibra la muestra de

suelo en una cámara sellada, la cámara con la muestra se enfría hasta que se produce rocío en un pequeño espejo. En este momento el equipo WP4C mide la temperatura de la muestra y del espejo para poder determinar la humedad relativa de la muestra para poder calcular el potencial hídrico del suelo en el intervalo más seco de (-0,1 a -300 MPa).



Figura 19. Método de presión de vapor (equipo WP4C).

Fuente: Labferrer.

3.13. Técnicas en terreno para determinar la humedad del suelo.

Tensiómetros Análogos:

- Tensiómetro: mide la tensión con la que se encuentra retenida el agua en el suelo, es decir, que tan fácil o difícil será para las raíces extraer esa agua del perfil de suelo.

Normalmente se suelen instalar dos tensiómetros en cada punto de medida, uno en la zona de mayor actividad radicular y otro a mayor profundidad.

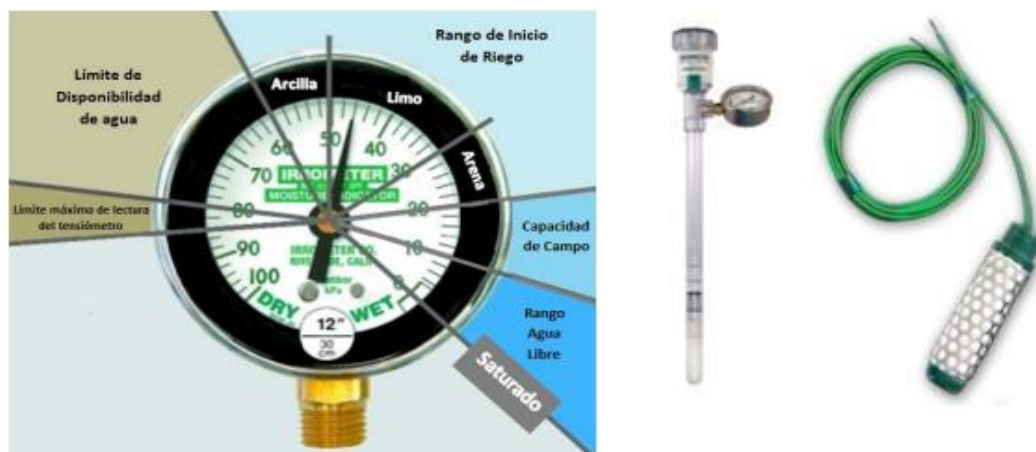


Figura 20. A la izquierda manómetro de un tensiómetro con recomendaciones de capacidad de campo (CC) y rango de inicio de riego según textura de suelo, a la derecha un tensiómetro análogo y otro digital.

Fuente: Adaptado de Ala y Rogers, 1997, *Sensa cultivo*.

La interpretación en centibares (Cb) son las siguientes:

- 0 a 10 cb: Indican suelo con agua libre llegando a cero o saturado (Punto de saturación).
- 10 a 20 cb: Humedad a disposición de la planta con un esfuerzo mínimo (capacidad de campo).
- 30 a 60 cb: Rango de inicio de riego de acuerdo a la textura predominante del suelo.
- 70 cb o superiores: La planta está padeciendo estrés y se acerca al punto de marchitamiento (Punto de marchitez permanente).

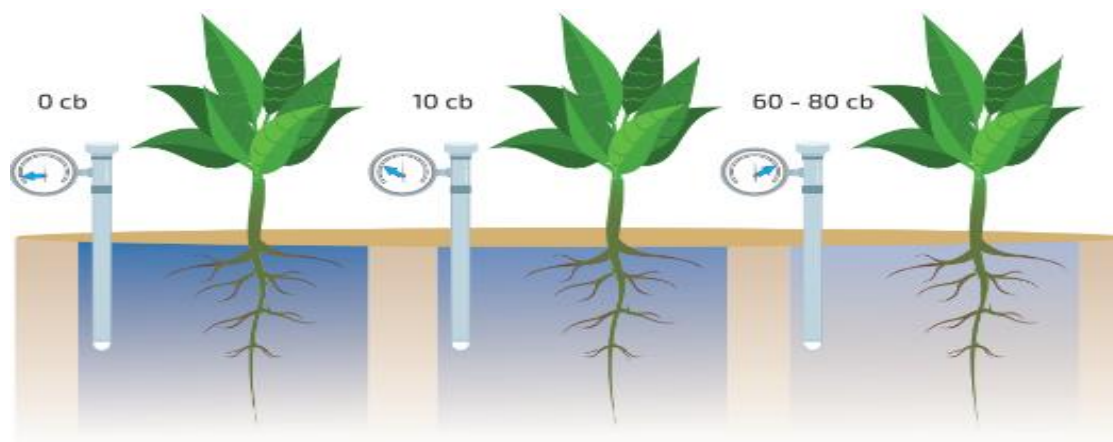


Figura 21. Interpretación de un tensiómetro a diferentes proporciones de humedad del suelo en centibares (cb).

Fuente: Jara et al., 2021.

Ventajas de instalar tensiómetros para medir la humedad del suelo:

- Herramienta rápida y práctica para medir la tensión del agua "in situ".
- Bajo coste y fáciles de instalar.
- No están influenciados por el contenido de sales del agua del suelo.

Y desventajas:

- Requieren de un mantenimiento periódico.
- No funciona bien en suelos muy secos o de texturas gruesas

Tensiómetros digitales:

Miden directamente el contenido volumétrico del agua en el suelo. Existen dos tipos principales: las sondas tipo TDR y las FDR. Ambos sensores están compuestos por electrodos metálicos que van insertados en el suelo y que

además de medir la humedad, también miden la conductividad eléctrica y la temperatura.

– Sondas de humedad tipo FDR (Frequency Domain Reflectometry): son aparatos similares a los anteriores, con la diferencia de que estos sensores son de tipo capacitivo. Permiten determinar el grado de humedad volumétrico a partir de la medida de la capacitancia eléctrica del suelo. La capacitancia eléctrica del suelo varía fundamentalmente según la humedad y se determina por la variación que produce en la frecuencia de una onda previamente emitida por el sensor. Los sensores van conectados con una unidad registradora de datos.



Figura 22. Diferentes modelos de sensores FDR.

Fuente: iagua ,2019.

– Sondas de humedad tipo TDR (Time Domain Reflectometry): el sensor TDR se compone de un par de varillas que se introducen en el suelo a la profundidad deseada. Funciona bajo el principio físico de que la presencia de agua en el suelo afecta a la velocidad de propagación de una onda electromagnética (la

hace más lenta). El sensor envía una onda electromagnética a través de las varillas y mide el eco que sucede cuando la onda penetra en el terreno. Midiendo el tiempo de retorno se puede calcular la humedad media del terreno en el que la onda se ha propagado. Cuanto más húmedo se encuentre el suelo, más tiempo necesitará la onda electromagnética para realizar su recorrido.



Figura 23. Sensor TDR con registrador manual de datos.

Fuente: iagua ,2019.

3.14. Programación del riego.

La programación de riego es un procedimiento que nos permite determinar el nivel óptimo de aplicación de agua a los cultivos. Esta consiste en establecer la

frecuencia (Cuándo regar) y tiempo de riego (Cuánto regar) de acuerdo a las condiciones topográficas del predio, climáticas de la zona, necesidades hídricas de la planta y condiciones de humedad del suelo.

Para programar el riego es esencial estimar tanto el agua que consumen los cultivos o su evapotranspiración y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo explorado por las raíces extractantes del cultivo.

– Capacidad de retención del suelo para diferentes criterios de riego: se requiere obtener el agua disponible a diferentes criterios de agotamientos a partir de la Ecuación 9.

$$HA = VR CR \quad [9]$$

Donde:

VR: Volumen a retención máximo en el perfil de suelo a regar en $L m^{-2}$.

CR: Criterio de riego afín al cultivo (generalmente 30% de agotamiento del agua útil disponible en el suelo).

HA: es el volumen de agua disponible $L m^{-2}$.

– Volumen de retención del suelo humedecido: se define como de agua disponible que está retenida en un área determinada (Ecuación 10.)

$$Vh = HA (Esh Eeh)PH * PRE \quad [10]$$

Donde:

Vh: volumen de retención de agua en el suelo en L.

HA: es el volumen de agua disponible L m⁻².

Esh*Eeh: Área del marco de plantación m².

Esta área de mojamiento está entre 40 y 60% del volumen de suelo (PH) del marco de plantación por la profundidad radical (PRE) de la zona de extracción que es de 60 centímetros aproximadamente. (Holzapfel et al. 2021)

– Frecuencia de riego: se considera el volumen de retención de agua del suelo y el volumen demandado por el árbol (Ecuación 11).

$$FR = \frac{Vh}{ETa} \quad [11]$$

Donde:

FR: Frecuencia de riego en días.

Vh: Volumen de retención de agua en el suelo en L.

ETa: es el volumen demandado por el cultivo en L planta⁻¹ día⁻¹.

– Volumen de agua diario requerido por la planta (Vr): a partir de la información climática actual o histórica se obtiene ETo y con las características físico hídricas del suelo, se confecciona un programa de riego que indica los

litros por planta por día que se deben reponer para suplir el agua evapotranspirada (ETa) por el cerezo (Ecuación 12).

$$Vr = ETa(Eeh \ Esh) \quad [12]$$

Donde:

Vr: Volumen requerido en L día⁻¹ planta⁻¹.

Eta: Evapotranspiración actual del cultivo en mm día⁻¹.

Eeh Esh: Marco de plantación en m².

– Volumen total diario a aplicar (Vt): es la cantidad de agua que necesita ser suministrada al árbol en un día (Ecuación 13).

$$Vt = \frac{Vr}{Efa} \quad [13]$$

Donde:

Vt: Volumen total diario a aplicar (L día⁻¹ planta⁻¹)

Efa: eficiencia de aplicación del sistema de riego.

– Tiempos de riego: depende de la infiltración del suelo, del volumen total a aplicar, y la frecuencia de riego (Ecuación 14).

$$TR = \frac{Vt \ FR}{qe \ Ne} \quad [14]$$

Donde:

Vt: Volumen diario promedio a aplicar en $L \text{ día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$.

FR: Frecuencia de riego.

qe: Caudal de los emisores.

Ne: Número de emisores.

3.15. Efectos del riego y la lluvia en la producción de cerezas.

Las plantas están sometidas a diversos tipos de estrés, tanto hídrico como ambiental, como por ejemplo los producidos por temperaturas anormales, condiciones físicas y químicas desfavorables en el suelo, por la presencia de elementos patógenos.

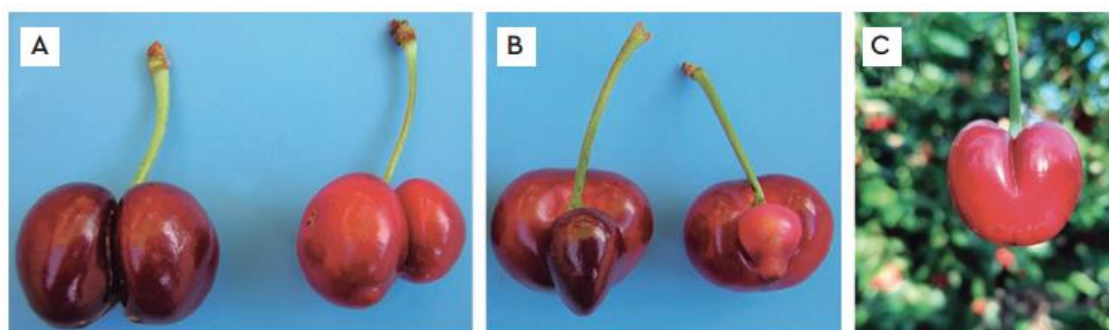


Figura 24. Detalles de cerezas con malformaciones del tipo fruto doble proveniente de flores con dos pistolos (A), 2 pistolos pero con uno atrofiado (B), con sutura o partidura (C).

Fuente. *Revista frutícola*, 2023.

– Frutos dobles: la inducción de frutos dobles o de suturas profundas en cerezos se origina muy tempranamente y durante la etapa de desarrollo inicial de la yema floral, cuyo trastorno ha sido atribuido a las condiciones de alta temperatura durante la diferenciación floral y se piensa también que podría

deberse a un bajo suministro hídrico durante el periodo de verano (Revista Frutícola, 2023). Debido a lo anterior, se ha considerado firmemente la importancia de mantener la humedad del suelo mediante el riego una vez terminada la cosecha de la temporada actual, ya que, la zona del suelo donde se encuentran las raíces se ha determinado que conservar un sistema radical sano con una cantidad adecuada de raicillas disminuye la probabilidad de que el cerezo sufra estrés hídrico. Un estrés hídrico en postcosecha aumenta la cantidad de frutos dobles de la temporada siguiente, repercutiendo directamente sobre la fracción de la fruta exportable (Ferreyra, 2002).

– Partidura o cracking: tiene dos causas bien definidas, por una parte, existe un problema de partidura en la zona del peciolo (parte externa de la piel) que está relacionado con el agua que cae directamente sobre el fruto producto de la lluvia, y el otro tipo de partidura que se genera en la zona media y apical del fruto y que está relacionada con los cambios del contenido de humedad del suelo. Este último puede ser evitado por medio de un manejo adecuado de riego manteniendo el suelo con un contenido de humedad constante sobre todo durante la fase III de crecimiento del fruto (Ferreyra, 2002).



Figura 25. Partidura.

Fuente: Simfruit, 2022.

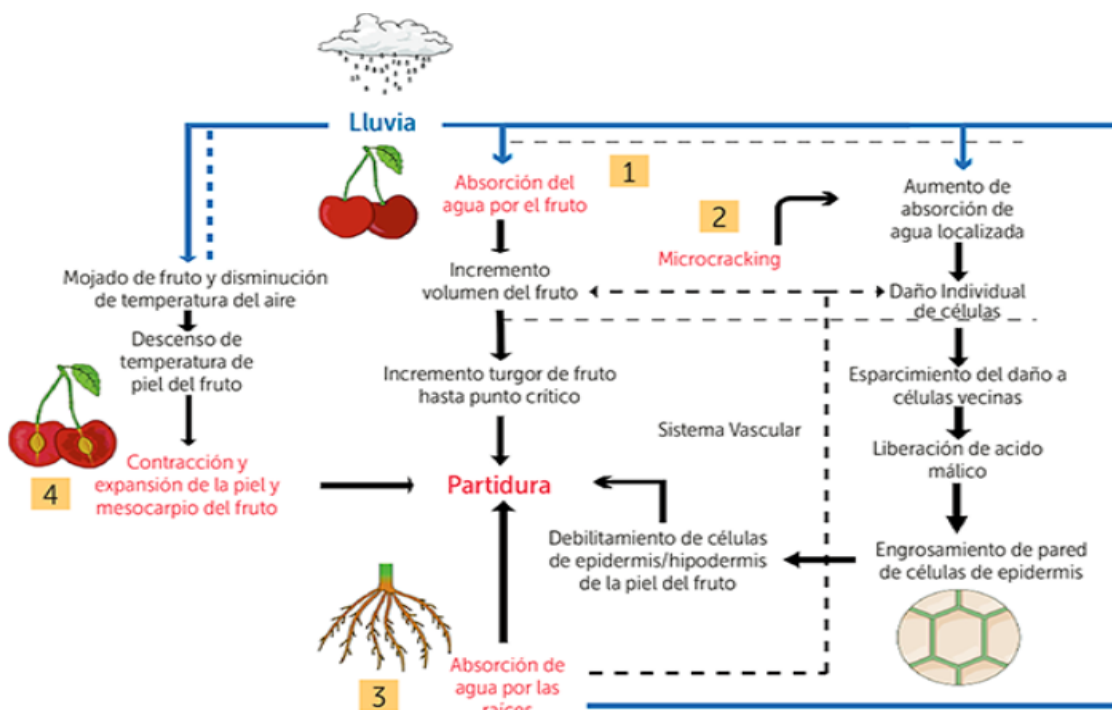


Figura 26. Modelos de inducción de partidura en cerezas basados en la absorción de agua por el fruto (1), el desarrollo de microcracking en la cutícula (2), la absorción de agua por las raíces y a través del sistema vascular (3), y en la contracción de la piel de los frutos en oposición a la expansión del mesocarpio (4) .

Fuente: Correia et al., 2018.

La susceptibilidad al cracking varía en función de la variedad. En Tabla 5 se muestra la clasificación de las variedades presentes en Chile, con relación a la partidura de frutos.

Tabla 5. Clasificación de variedades en relación a la susceptibilidad a la partidura.

Clase de partidura	Variedad
Muy susceptibles > 40%	New star, Garnet, Sam, Sylvia
Susceptible > 20% < 40%	Celeste, Bing, Lambert, Late María
Poco susceptible > 10% < 20%	Summit, Van, Sumburst
Moderadamente resistente < 10%	Lapins, Sweer-Heart
Altamente tolerante	Kordia, Regina

Fuente: Ellena, 2012.

3.16. Manejo del agua y su efecto en la producción.

El manejo de agua tiene efecto en la producción de cerezas y existen diferentes modalidades para determinar su criterio de programación. Es importante destacar que el déficit hídrico puede reducir el crecimiento y la producción de los frutales más que otros déficits controlados (Holzapfel et al., 2021).

A continuación, se describirán algunas estrategias de riego que incluyen déficits hídrico controlado y los efectos en la producción de cerezas y un estudio de caso sobre el manejo y operación de un sistema de Microriego en cerezos.

3.17. Estrategias de riego deficitario controlado en cerezo en el valle de Jerte, Cáceres (España).

En cerezo, la etapa de crecimiento y desarrollo de los frutos es muy breve si lo comparamos con el periodo de crecimiento vegetativo. La aplicación de estrategias de riego como el riego deficitario controlado permite realizar un control efectivo del vigor de los árboles aplicando menos cantidad de agua en el riego. El éxito de esta técnica depende de: elegir los momentos y duración de riego y de reducir la cantidad de agua, provocando al árbol un estrés moderado, pero nunca severo.

Trabajos realizados por el grupo de riego y nutrición del CICYTEX en el Valle del Jerte (Cáceres) (Manual Práctico de Riego en Cerezos), recomienda una estrategia diferente en precosecha y otra en postcosecha.

Datos de partida: se muestra un ejemplo de cómo se obtienen las necesidades Hídricas totales del cerezo para el mes de junio en el Valle del Jerte.

- Variedad: Lapins tardía recolección finales de junio.
- Plantación joven: Coeficiente reductor ($P < 60\%$) se aplica de acuerdo al marco de plantación o al diámetro de la copa (0,65).
- Marco de plantación de 5x5 m
- Diámetro de copa: 3 m.
- 4 goteros autocompensados de 4 L h^{-1} separados por 1 m.
- Agua aplicada por árbol según el sistema de riego: $16 \text{ L h}^{-1} * \text{árbol}^{-1}$.

Tabla 6. Valores medios de Kr según los marcos de plantación más utilizados en el Valle del Jerte para diferentes diámetros de copa de cerezo.

Diámetro de plantación		5x5	5x4	5x3
Diámetro copa	< 1 m	0,1	0,1	0,15
	1,5 m	0,2	0,2	0,3
	2 m	0,35	0,4	0,5
	2,5 m	0,5	0,6	0,7
	3 m	0,65	0,7	0,9
	3,5 m	0,8	0,9	1
	4 m	0,9	1	-
	5 m	1	-	-

Fuente: Manual práctico de riego en cerezos.

Tabla 7. Kr para cerezo en plantaciones jóvenes hasta que los arboles sombreen el 60% del suelo, a partir de dicho valor no se utiliza este coeficiente corrector.

Suelo sombreado por el árbol												
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%
Kr	0,15	0,27	0,38	0,48	0,57	0,65	5	0,8	0,86	0,91	0,95	0,99

Fuente: Manual práctico de riego en cerezos.

1. Lo primero que hay que averiguar es cuánta agua consume el cultivo mes a mes (ET_o), en este caso se obtuvo la demanda para el mes de junio y la precipitación efectiva de la zona más próxima a la estación. Se tomaron los datos medios de los últimos 10 años de la estación agroclimática de Valdastillas de Tabla 8 primera fila.
2. Se tomó el coeficiente de cultivo (K_c) correspondiente de una plantación adulta de cerezos Tabla 8 segunda fila.
3. En el caso de plantaciones jóvenes donde el suelo sombreado por los arboles fue menor al 60% se aplicó el coeficiente corrector (K_r), se puede obtener de dos formas:
 - a) Se utilizan los datos de marco de plantación (5x5, 5x4, 5x3) más comunes utilizados en el Valle del Jerte de Tabla 6 y utilizando el diámetro medio de copa que puede tener valores entre 1 y 4 m para plantaciones jóvenes y mayor a 5 m para dultas.
 - b) O, si nuestra plantación no se ajusta a estos marcos de plantación, lo podemos calcular teniendo en cuenta el diámetro medio de copa (D) dividido dividido por el marco de plantación.

$$S_c = \frac{\pi D^2}{4 * (Eh * Es)}$$

Si el suelo sombreado (S_c) es inferior a 60% se debe seleccionar el valor de K_r según suelo sombreado obtenido de la relación anterior y de la Tabla 7 aplicar a la ecuación de evapotranspiración de cultivo.

4. Se debe calcular la necesidad de agua del cultivo para cada mes. Ejemplo mes de junio.

$$ETc = ET_o Kc Kr = 157 * 0,9 * 0,65 = 92 \text{ mm mes}^{-1}$$

5. Se debe tener en cuenta la precipitación efectiva de la zona Tabla 8 fila 5, en donde este dato es suministrado por la red REDAREX o calculado multiplicando la precipitación total por 0,6 en caso de usar pluviómetro propio de la parcela. Donde p_e correspondiente al mes de junio es de 7 mm mes^{-1} .

6. Necesidades totales del cultivo:

$$Nt = ETc - Pe = 92 - 7 = 85 \text{ mm mes}^{-1}$$

7. Como el sistema de riego implementado es goteo se estima que el tiempo de riego es de todos los días. Se multiplica de Tabla 8 la fila 8 por el marco de plantación para obtener las necesidades hídricas en litros por árbol y dividir entre el número de días del mes.

8. Luego para conocer el tiempo de riego que se debe dar en cada momento para que el cultivo tenga cubierta sus necesidades, sabiendo que cada árbol el sistema aplica 16 litros en una hora.

$$\text{Dosis de riego} = \frac{Nt * \text{marco de plantación}}{30} = \frac{85 * 25}{30} = 71 \text{ L árbol}^{-1} \text{ dia}^{-1}$$

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{\text{dosis de riego}}{\text{Cantidad de agua aplicada por el sistema}} = \frac{71}{16}$$

$$\text{Tiempo de riego} = 4,43 \text{ h}$$

Los decimales lo multiplicamos por 60 minutos que tiene una hora.

$$0,43 * 60 = 25 \text{ min}$$

Por lo tanto el tiempo de riego para este caso fue de 4 horas y 25 min en el mes de junio.

Finalmente el consumo de junio fue de 849 m³ ha⁻¹.

Datos de partida:

- Variedad: Early Lory temprana recolección a mediados de mayo.
- Plantación adulta: coeficiente reductor, cuando P > 60% no se aplica este coeficiente.
- Marco de plantación de 5x5 m.
- 4 goteros autocompensados de 4 L/h separados por 1 m.
- Agua aplicada por árbol según el sistema de riego: 16 L h⁻¹ * árbol⁻¹.
- Para realizar el calendario anual de riego (Tabla 9) se sigue el mismo procedimiento que en el ejemplo anterior, pero como es plantación adulta no se requiere utilizar el coeficiente reductor Kr.

Tabla 8. Calendario de riego medio para una plantación de cerezo Joven (Lapins) el valle del Jerte (Cáceres, España), utilizando una estrategia de riego completo.

	Precosecha					Postcosecha			Campaña
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Riego
ETo (mm mes ⁻¹)	79	102	138	157	187	182	124	76	967 mm
kc	0,4	0,5	0,7	0,9	0,95	0,9	0,75	0,6	-
kr	0,65	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	-
ETc (mm mes ⁻¹)	21	33	63	92	115	107	61	30	500 mm
Pe (mm mes ⁻¹)	82	49	73	7	8	5	25	63	194 mm
Nt (mm mes ⁻¹)	-61	-16	25	85	107	102	35	-33	-
Reserva suelo (mm)	61	77	52	0	0	0	0	33	-
Riego (mm mes ⁻¹)	0	0	0	85	107	102	35	0	330 mm
Riego (L cerezo ⁻¹ dia ⁻¹)	0	0	0	71	87	82	29	0	-
Tiempo (horas dia ⁻¹)	0 h	0 h	0 h	4 h 25 min	5 h 25 min	5 h 9 min	1 h 50 min	0	-
m ³ ha ⁻¹	-	-	253	849	1075	1021	351	-	3350

Fuente: Manual Práctico de Riego. Cerezo.

Tabla 9. Calendario de riego medio para una plantación de cerezo adulta (Early Lory) el valle del Jerte (Cáceres, España), utilizando una estrategia de riego completo.

	Precosecha					Postcosecha			Campaña
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Riego
ETo (mm mes ⁻¹)	79	102	138	157	187	182	124	76	967 mm
kc	0,4	0,5	0,7	0,9	0,95	0,9	0,75	0,6	-
kr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ETc (mm mes ⁻¹)	32	51	97	141	178	164	93	46	770 mm
Pe (mm mes ⁻¹)	82	49	37	7	8	5	25	63	194 mm
Nt (mm mes ⁻¹)	-50	2	59	134	170	160	68	-17	-
Reserva suelo (mm)	50	48	0	0	0	0	0	33	-
Riego (mm mes ⁻¹)	0	0	59	134	170	160	68	0	590 mm
Riego (L cerezo ⁻¹ día ⁻¹)	0	0	48	112	137	129	56	0	-
Tiempo (horas día ⁻¹)	0 h	0 h	3 h	7 h	8 h 34 min	8 h	3h 32 min	0	-
m ³ ha ⁻¹	-	-	591	1345	1696	1595	351	-	5905

Fuente: Manual Práctico de Riego. Cerezo.

Por ejemplo de Tabla 9 para el mes de junio tendremos que dar riegos de 7 horas al día aproximadamente para cubrir las necesidades totales de los árboles, en donde el consumo de junio es de $1345 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Según estos cálculos, los tiempos de riegos nos pueden parecer excesivos y, de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos realizados durante los últimos años en la zona, efectivamente lo son. Toda esta cantidad de agua es la que el árbol necesitaría “a demanda” suponiendo que el árbol siempre dispone de toda el agua que necesita. Pero, como se ha comprobado y veremos más adelante, esta estrategia de riego no es realista ni mucho menos recomendable. Lo ideal sería utilizar una estrategia de riego deficitario controlado.

En el Valle del Jerte, en un año normal, las necesidades de agua en precosecha de las variedades tempranas son, por lo general, compensadas con las lluvias que caen en la zona durante el mes de mayo. Sin embargo, en el caso de las variedades tardías, el periodo de crecimiento del fruto coincide con el rápido crecimiento vegetativo.

La época de precosecha es muy sensible al estrés hídrico o falta de agua, es por eso que, debido a la falta de lluvias y a la baja capacidad de retención de algunos suelos y la poca profundidad, en muchos casos es importante tener garantizado el riego y cubrir el 100% de las necesidades de cultivo en esta época. Como indican los resultados de los ensayos realizados que se muestran en las Tabla 8 y 9, el riego en precosecha en variedades tardías aumenta el calibre comercial y aporta una mayor firmeza y un mayor porcentaje de pedúnculos verdes frente a los cerezos que no se les aplicó riego durante esta fase.

El calibre de los frutos es uno de los parámetros más importantes de calidad en la producción de cerezas, y es determinante en el precio de venta y exportación. Por tanto, es muy importante garantizar un buen estado hídrico en los árboles los últimos 20-30 días previos a la cosecha. Sin embargo, durante el periodo de postcosecha se ha demostrado que si los árboles son regados cubriendo el 100% de sus necesidades, es decir, aportando agua “a demanda”, se disminuye la producción a favor de un excesivo crecimiento vegetativo del árbol. Si una vez realizada la cosecha, se reduce el agua de riego durante todo el periodo postcosecha para cubrir, al menos, el 25% de las necesidades totales, obtenemos los siguientes beneficios: Ahorro de un 60 % de agua, valiosa en un periodo en el que escasea en la zona, se controla el vigor de los árboles, facilitando las operaciones de cultivo y mejorando la producción el año siguiente.

En Tablas 10 y 11 se resumen las estrategias de riego que mejor se adaptan al cultivo de cerezo en el Valle del Jerte tanto para variedades tempranas como tardías, riegos del 100% de las necesidades en precosecha y de al menos un 25% de las necesidades totales en postcosecha.

Tabla 10. Calendario de riego medio para una plantación de cerezo Joven (Lapins) en el Valle del Jerte (Cáceres, España) utilizando estrategias de riego deficitario (25% en postcosecha).

	Precosecha				Postcosecha				Campaña
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Riego
Riego (mm mes ⁻¹)	0	0	0	85	107	102	35	0	350 mm
Estrategia de riego deficitario	100%	100%	100%	100%	25%	25%	24%	25%	-
Riego deficitario (mm mes ⁻¹)	0	0	0	85	27	26	9	0	146 mm
Riego (L cerezo ⁻¹ día ⁻¹)	0	0	0	71	22	21	7	0	-
Tiempo (horas día ⁻¹)	0	0	0	4 h 25 min	1 h 21 min	1 h 17 min	28 min	0	-
m ³ ha ⁻¹	-	-	-	849	269	255	88	-	1461

Fuente: Manual Práctico de Riego Cerezo.

Tabla 11. Calendario de riego medio para una plantación de cerezo adulta (Early lory) en el valle del Jerte (Cáceres, España) utilizando estrategias de riego deficitario. *Dependiendo del momento de recolección, mantener estrategia del 100% hasta recolección.

	Precosecha		Postcosecha					Campaña	
	Marzo	Abril	Mayo*	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Riego
Riego (mm mes ⁻¹)	0	0	59	134	170	160	368	0	590 mm
Estrategia de riego deficitario	100%	100%	25%	25%	25%	25%	24%	25%	-
Riego deficitario (mm mes ⁻¹)	0	0	15	34	42	40	17	0	148 mm
Riego (L cerezo ⁻¹ día ⁻¹)	0	0	12	28	34	32	14	0	-
Tiempo (horas día ⁻¹)	0	0	45 min	1 h 45 min	2 h 8 min	2 h	53 min	0	-
m ³ ha ⁻¹	-	-	148	336	424	399	169	0	1476

Fuente: Manual Práctico de Riego Cerezo.

Se observa una reducción de la dosis anual de riego desde los 3.350 a 1.461 m³ ha⁻¹ (Tabla10) en una plantación de cerezos joven de variedad tardía (Lapins). Igualmente para la plantación adulta, en una variedad temprana, se ha reducido de 5.900 a 1.476 m³ ha⁻¹ (Tabla 11).

En primaveras lluviosas se puede retrasar el riego hasta junio. Sin embargo, en años secos es importante iniciar el riego con la brotación para evitar falta de agua en floración, cuajado y la fase inicial de crecimiento de frutos.

3.18. Análisis de la variación del porcentaje de la evapotranspiración de referencia (ET_o) en la producción de cerezas.

Einhorn (2012), realizó un estudio en huertos de cerezo donde se caracterizaron los rendimientos de la cereza, la calidad de la fruta y el crecimiento vegetativo en respuesta al riego deficitario utilizando mediciones basadas en el suelo y la planta.

Mediante el riego por microaspersión, se aplicaron 4 tratamientos en los que se reemplazó la evapotranspiración de referencia (ET_o) con porcentajes predefinidos en un periodo de tres años.

Durante los años 2009, 2010 y 2011 se aplicaron los tratamientos en un huerto de variedades Lapins y Mazzard de 8 años de edad con 398 árboles por hectárea.

Los tratamientos que se realizaron para responder a los objetivos del estudio fueron: Tratamiento 1: Totalmente regado al 65% de ET_o en 2009 y 2010, y 96% de ET_o en 2011; Tratamiento 2: 55% de ET_o de 2009 a 2011; Tratamiento 3: 45% de ET_o de 2009 a 2011; Tratamiento 4: riego deficitario regulado de 45% de ET_o desde la primavera hasta el endurecimiento del hueso, 65% de ET_o al final del endurecimiento del hueso hasta la cosecha y 45% de ET_o en postcosecha de 2009–2011.

Se identificó previamente el 65% de ET_o como un nivel de riego efectivo para lograr un buen rendimiento de cerezas y calidad de la fruta en sitios con escasez

de agua, por lo tanto, el 65% de ETo se consideró como tratamiento totalmente regado.

Los antecedentes del estudio se muestran en las tablas 12 y 13 que consideran la producción y el agua utilizada.

Tabla 12. Producción de cerezas Lapins y Mazzard para los diferentes tratamientos de evapotranspiración de referencia (ETo).

Tratamiento en el riego	Producción (kg arbol ⁻¹)			Promedio producción (kg arbol ⁻¹) 2009-2011	Producción proyectada (Ton ha ⁻¹)		
	2009	2010	2011		2009	2010	2011
Tratamiento 1	82,55	63,96	45,36	63,95	5,37	4,16	2,95
Tratamiento 2	80,74	51,71	48,08	60,18	5,25	3,36	3,13
Tratamiento 3	84,37	55,79	41,28	60,48	5,48	3,63	2,68
Tratamiento 4	78,47	53,52	41,28	57,76	5,10	3,48	2,68

Fuente: Einhorn, 2012.

Tabla 13. Agua usada y ahorros que se generaron en la producción de cerezas Lapins y Mazzard para los diferentes tratamientos de evapotranspiración de referencia (ETo).

Tratamientos en el riego	Agua usada (m ³ ha ⁻¹)	Agua ahorrada (m ₃ ha ⁻¹)
Tratamiento 1 2011 (65 % ETr)	9270	384
Tratamiento 1 2009-2011 (96 % ETr)	6277	3377
Tratamiento 2 (55 % ETr)	5313	4340
Tratamiento 3 (45 % ETr)	4340	5313
Tratamiento 4 (Riego deficitario regulado)	4827	4827

Fuente: Einhorn, 2012.

Se observa que, sí no se redujera la ETo aplicada en el tratamiento 1 el agua total usada habría sido de 9.654.123 L ha⁻¹ (9654 m³ ha⁻¹) en los tres años del tratamiento.

Para evaluar los niveles de estrés aplicados se utilizaron varias mediciones basadas en el árbol (crecimiento de la fruta, los brotes y el tronco) para identificar los períodos de tiempo críticos y sensibles del crecimiento de la cereza y el árbol.

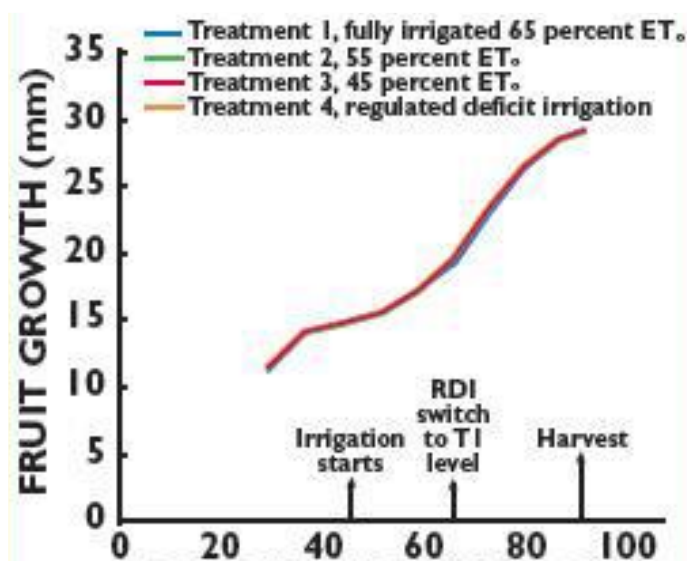


Figura 27. Crecimiento de la fruta después de plena floración.

Fuente: Einhorn, 2012.

Las mediciones semanales del crecimiento de la fruta no se vieron afectadas por el tratamiento de riego en ningún año del estudio. El crecimiento de los brotes tampoco se vio afectado. Las raíces ubicadas a 60 cm (2 ft) y 90 cm (3 ft) de profundidad compensaron estos déficits extrayendo agua adicional, lo que sirvió para reducir el desarrollo del estrés hídrico de los árboles durante el intervalo previo a la cosecha (plena floración).

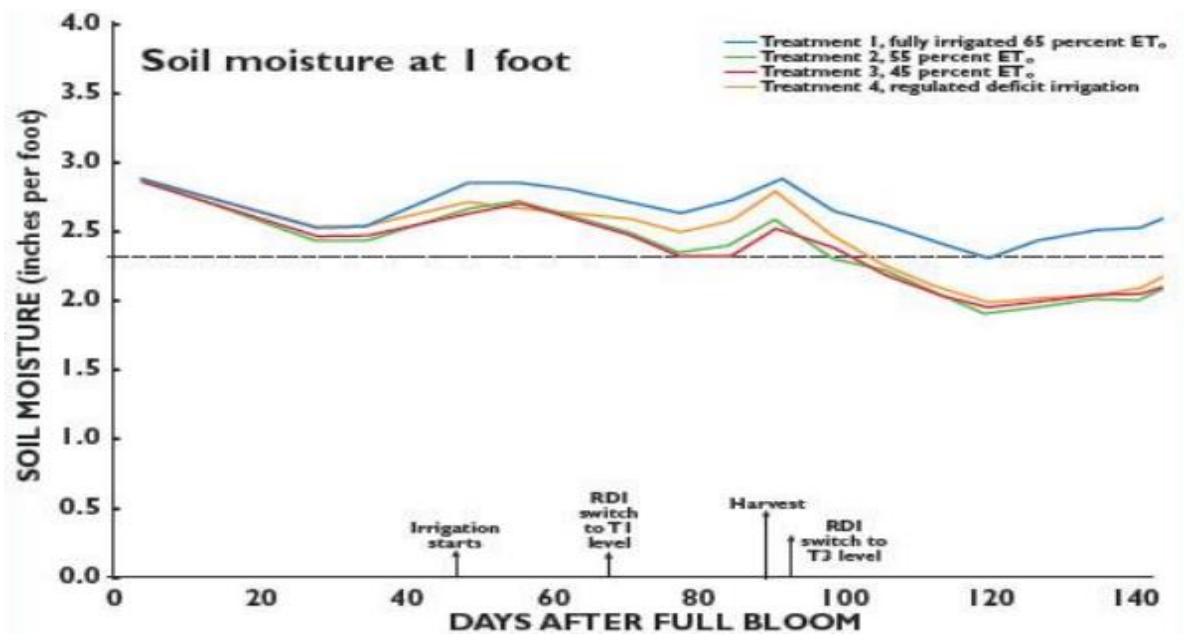


Figura 28. Humedad del suelo a principios de la primavera a 1 ft (30 cm) de profundidad.

Fuente: Einhorn, 2012.

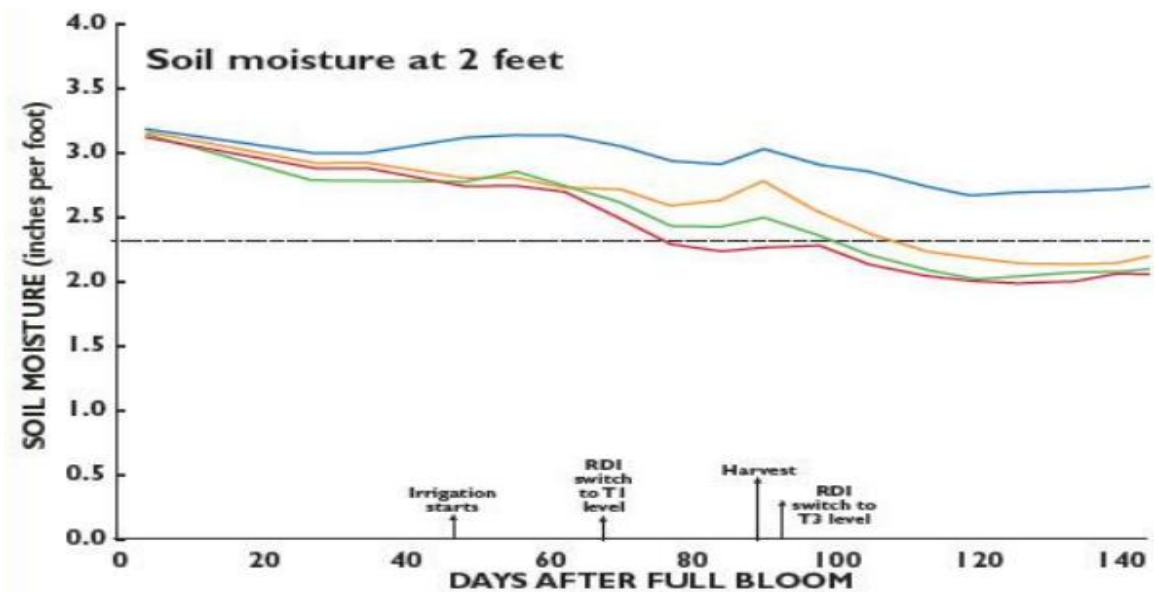


Figura 29. Humedad del suelo a principios de la primavera a 2 ft (60 cm) de profundidad.

Fuente: Einhorn, 2012.

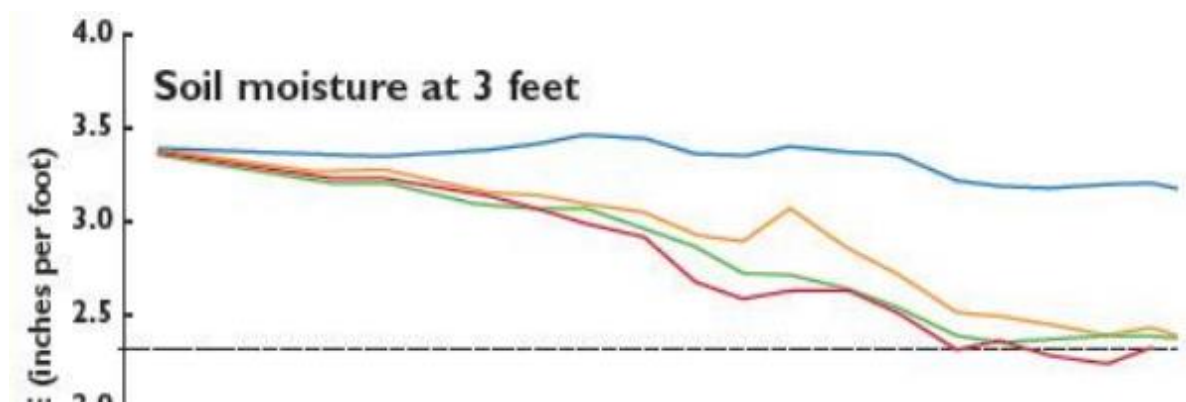


Figura 30. Humedad del suelo a principios de la primavera a 3 ft (90 cm) de profundidad. Línea discontinua indica a que profundidad se encuentra el suelo a capacidad de campo (CC).

Fuente: Einhorn, 2012.

En relación con la calidad de la fruta de la variedad Lapins se consideró excelente para todos los años. El cuajado excesivo de frutos en 2009 se tradujo en rendimientos de 5,3 toneladas por hectárea. Y no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. En 2010, los tratamientos 2, 3 y 4 la producción disminuyó en aproximadamente un 15 %, en comparación con el Tratamiento 1 completamente regado. De manera similar, en 2011, el tratamiento 3 y 4 disminuyeron en un 10 %, aunque estos fueron no significativo (Tabla 12). Debido a que el crecimiento y el tamaño de la fruta no se vieron afectados por el tratamiento de riego en ningún año del estudio como se muestra en la Figura 27, los rendimientos más bajos se atribuyeron a que los árboles tenían menos fruta. La interacción de grandes cargas de frutos en 2009 (que limitan las reservas de carbohidratos) y un mayor estrés hídrico en

postcosecha durante el desarrollo de las flores probablemente contribuyó a los rendimientos más bajos observados en 2011 (Einhorn, 2012).

La medición de la humedad del suelo a principios de la primavera proporcionó una buena estimación de la capacidad de campo (CC) del suelo a 2,3 in (58 cm), definida como la cantidad máxima de agua que un suelo puede contener después del drenaje (Figura 29 y 30; profundidades de 60 y 90 cm). Aplicar riego a los suelos a capacidad de campo es ineficiente.

La cantidad de agua consumida por un árbol está directamente relacionada con el tamaño de su área foliar. La carga de cerezas dulces no tiene un consumo excesivo de agua; así por ejemplo, una cosecha de cerezas de 12 toneladas por hectárea utiliza aproximadamente 3785 litros de agua lo que equivale a 3,27 kilogramos de cereza por litro de agua.

A modo de comparación, un evento de riego por semana puede utilizar entre 233.848 y 467.697 L ha⁻¹. En este estudio, los riegos del Tratamiento 1 en 2009 y 2010 suministraron 253.959 L ha⁻¹ en una semana.

En general podemos deducir que de este estudio se concluye que los tratamientos aplicados durante los tres años en la variedad de cerezas Lapins y Regina, no mostró cambios significativos en el crecimiento pero si una variación en la producción. La disminución de la evapotranspiración de referencia (ET_o) nos sirve como un indicador que una reducción controlada de ET_o puede entregar frutos de calidad. Pareciera que replicar los tratamientos 1 y 4 de forma similar es beneficioso hoy en día donde el recurso hídrico es cada

vez más escaso. Aunque existe una pequeña disminución en producción entre ambos.

La producción se podría mejorar con el suministro de nutrientes aplicados en el riego, manejo adecuado de podas y labores agrícolas, evitar enfermedades, riego postcosecha entre otros, que ayuden al desarrollo adecuado del producto y mantenga o aumente la producción aun cuando se apliquen algunos de los tratamientos previamente descritos.

3.19. Respuesta del cerezo al riego deficitario, en la región de Murcia, España.

Este trabajo se realizó en cerezo *Prunus avium* en la región de Murcia con el objetivo de caracterizar y evaluar la influencia de la estrategia de riego sobre las relaciones hídricas, producción y calidad de la cereza.

El ensayo se realizó en una parcela comercial de 0,5 ha en Jumilla, Murcia. El suelo es de textura franco-arenosa y medianamente pedregoso. La plantación, constituida por cerezos "Prime Giant" como variedad base y "Brooks" y "Early Lory" como polinizadores, de 15 años de edad y dispuesta en un marco de plantación de 5 x 3 m, presenta un área sombreada de aproximadamente el 55% y diámetro de tronco de 16,3 cm. El diseño del sistema de riego por goteo fue de un único lateral por hilera de árboles con 3 goteros de 4 L h⁻¹ por árbol. La evapotranspiración de referencia (ET_o) acumulada en el periodo 80-300 DDA (día del año) fue 987,7 mm y la ET_o media diaria, muy similar en precosecha y

postcosecha fue de 4,7 y 4,5 mm, respectivamente. La precipitación total fue de 141,4 mm y la temperatura media diaria presentó un valor máximo de 29°C (DDA 187, 188 y 207), siendo su valor promedio de 19,8°C. El déficit de presión de vapor (DPV) medio diario osciló entre 0,14 y 3,09 kPa, DDA 187 y 298. (Figura 31).

El ensayo constó de 3 tratamientos de riego según un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones y 7 árboles por repetición.

Los tratamientos de riego son: 1) control (CTL), regado para satisfacer las necesidades hídricas máximas del cultivo en goteo (110% de ETc) durante toda la campaña, 2) agricultor (AGR), programado de acuerdo con su propia experiencia y 3) riego deficitario sostenido (RD₈₅), (85 % de ETc) durante toda la estación de riegos, a excepción de los días de cosecha en los que se regó como el tratamiento control.

En la madurez comercial de la fruta, se recogieron y pesaron los frutos provenientes de los 5 árboles centrales de cada repetición. Se realizaron dos recolecciones en los DDA 154 y 161, se contaron los frutos existentes en muestras de 5 kg con el objeto de conocer el peso unitario de la cereza. La calidad fisicoquímica de las cerezas se determinó en la primera recolección a partir de las dimensiones del fruto, color, firmeza, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de madurez (IM).

Los resultados asociados al Volumen de agua aplicado al tratamiento CTL fue 6.916 m³ ha⁻¹, y para los tratamientos de RD₈₅ y AGR fueron 5.304 y 6.278 m³ ha⁻¹.

La Figura 31 muestra igualmente la diferente conducta seguida en la aplicación del riego en los tratamientos CTL y AGR. Así en precosecha, periodo en el que tiene lugar el crecimiento del fruto, el tratamiento AGR recibió aproximadamente un 30% más de agua que CTL, mientras que en postcosecha recibió un 24% menos que CTL. Además, de los volúmenes de agua aplicados con el riego, las lluvias aportaron 141,4 mm de los cuales 39,1 mm ocurrieron durante precosecha y 102,3 mm durante postcosecha, destacando el DDA 212 con 51,3 mm.

Tabla 14. Producción y parámetros de calidad medidos en la primera recolección.

	CTL	RD85	AGR	
Recolección I (t ha ⁻¹)	8,86	10,43	8,17	n.s
Recolección II (t ha ⁻¹)	6,72	5,71	6,67	n.s.
Cosecha Total I + II (t ha ⁻¹)	15,58	16,13	14,84	n.s.
Peso unitario fruto (g)	11,07	10,63	11,77	n.s.
Diámetro ecuatorial (mm)	29,59	29,13	29,95	n.s.
Volumen fruto (cm ³)	10,54	10,03	10,85	n.s.
Croma	30,70	29,04	29,73	n.s.
Ángulo hueso	25,89 ab	26,81 a	25,49 b	
Firmeza Compresión (N mm ⁻¹)	12,21	12,23	12,23	n.s.
Firmeza rotura (N mm ⁻¹)	4,82	4,63	5,10	n.s.
SSR (°Brix)	18,51	18,70	18,46	n.s.
AT (g L ⁻¹)	9,34 ab	9,83 a	9,13 b	
IM	19,88	19,07	20,24	n.s.

Los valores medios seguidos de letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos para ese parámetro de acuerdo al test de Duncan ($P > 0,05$). n.s. al final de la fila indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos.

Fuente: Montoya et al, 2015.

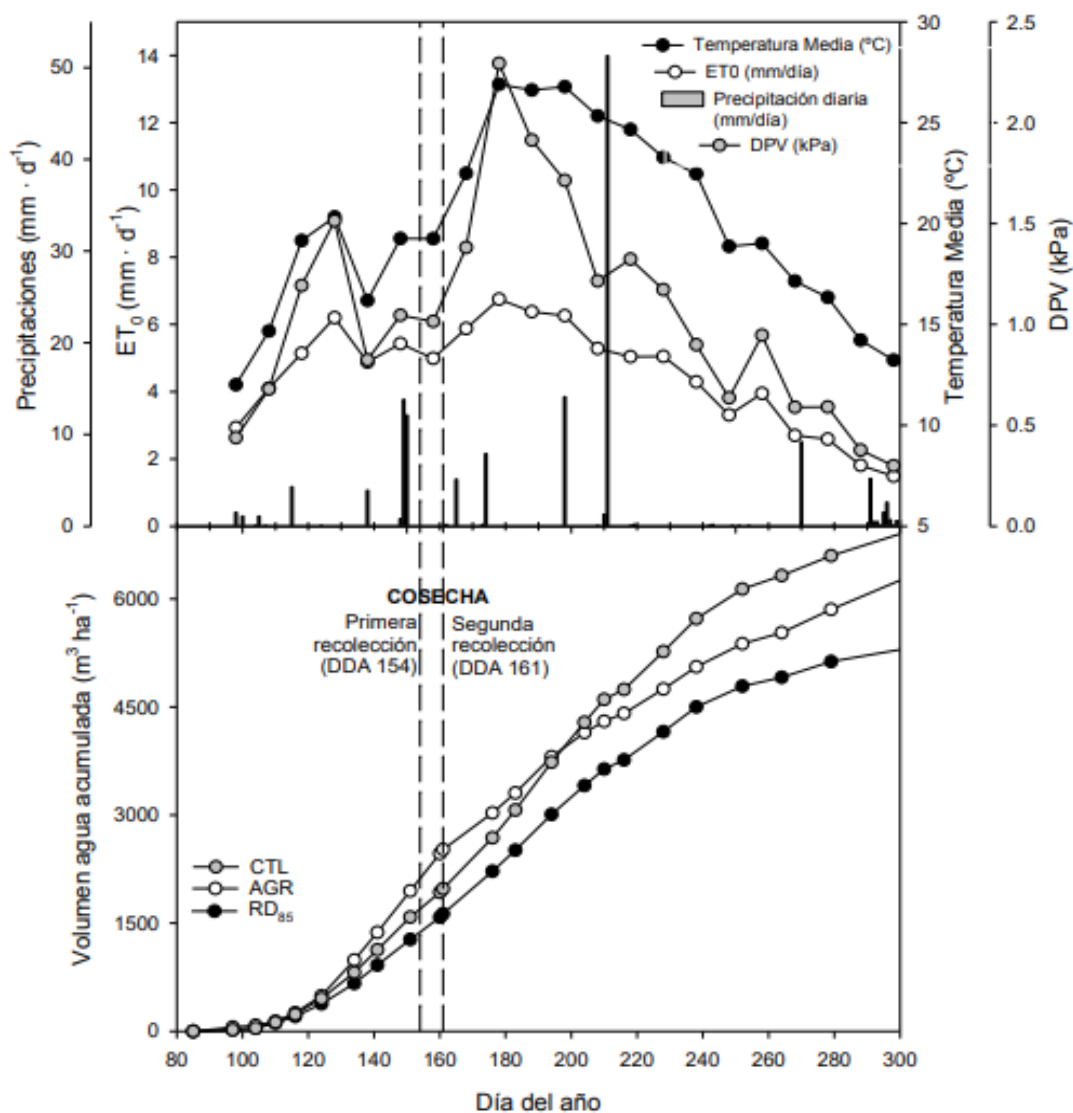


Figura 31. Evolución de las variables meteorológicas y del volumen de agua de riego aplicado a cada tratamiento durante 2015. Para las variables evapotranspiración de referencia (ET₀), temperatura media (T_m) y déficit de presión de vapor (DPV). (Cada punto representa el valor medio de periodos de 10 días).

Fuente: Montoya et al, 2015.

Los resultados, correspondientes al primer año de aplicación de diferentes estrategias de riego deficitario ligero, sugieren la posibilidad de alcanzar con

estas estrategias producciones similares a las obtenidas bajo riego completo con mínima o nula penalización en la calidad de la cereza. Por ello, es necesario mantener los ensayos ya iniciados durante 2 o más años con el fin de recomendar o no este tipo estrategias de riego deficitario en zonas productoras de cereza con escasos recursos hídricos y aguas de buena calidad, ya que pueden suponer ahorros de agua entre un 20-25% respecto a riego completo.

3.20. Estudio de caso: manejo y operación de un sistema de Microriego en cerezos en las variedades Bing, Lapins y Regina.

A continuación, se describirá un estudio de caso realizado por Holzapfel y Gavilán (2022), donde se evaluó el manejo y operación de un sistema de Microriego en cerezos en las variedades Bing, Lapins y Regina en las parcelas 10 y 18 de la empresa Berenguer en el sector el Romeral, Chile.

Los resultados del estudio establecieron las siguientes relaciones para cerezos bajo riego por goteo y microaspersión. Dichas relaciones consideran valores de porcentaje de sombreado (P) para un rango de 20 y 70%; Entre ambos valores debe usarse el porcentaje determinado de Ecuación 15 y Ecuación 16:

$$\text{Para gotero:} \quad ET_a = ET_r (0,0127 P + 0,1125) \quad [15]$$

$$\text{Para microaspersión:} \quad ET_a = ET_r (0,0127 P + 0,25) \quad [16]$$

Donde:

ET_a: es la evapotranspiración actual del frutal en mm día⁻¹.

ETr: es la evapotranspiración de referencia desde estaciones meteorológicas en mm dia^{-1} .

P: es el porcentaje de sombreado al medio día solar, adimensional.

- Volumen de agua requerido: los antecedentes de cobertura nos permiten establecer la demanda en diferentes periodos de crecimiento del frutal, sin embargo, los diseños deben realizarse para una cobertura total, en este caso 70%. Porcentajes superiores al 70% no aumentan la demanda de acuerdo con los estudios realizados.

En Tabla 15 se muestra las características de plantación de los huertos de cerezas con el sistema de riego y los respectivos porcentajes de cobertura.

Tabla 15. Área en estudio que comprende los huertos de cerezos de las parcelas 10 y 18.

Sector	Parcela 10	Parcela 10	Parcela 18	Parcela 18
Variedad	Bing	Bing	Regina	Lapins
Marco de plantación	3x4,5	3x4,6	1,8x4	2x4
Sistema riego	goteo	microaspersión	goteo	goteo
Caudal emisor	4	30	2,2	2,2
Número emisores por planta	6	1	7	8
Porcentaje cobertura	50	50	35	35
Suelo	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

En las Tablas 16 y 17 se entregan los resultados de la capacidad de retención de agua del suelo considerando la matriz de suelo sin piedras.

Tabla 16. Retención de agua del suelo en la parcela 10.

Tipo de Suelo	Suelo		Estrata	CC	PMP	Densidad Aparente	Profundidad	Profundidad Estrata	Retención de agua	Volumen Retenido
				%	%	g cc ⁻¹	cm	cm	cm estr ⁻¹	L m ⁻² estr ⁻¹
Franco Arenoso	Cuartel 1	Bing	1	34,2	14,9	1,23	0-45	45	10,68	106,83
Franco Arenoso	Cuartel 1	Bing	2	16,8	9,0	1,59	45-90	45	5,58	55,81
Franco Arenoso	Cuartel 2	Bing	1	30,1	16,0	1,32	0-45	45	8,38	83,75
Franco Arenoso	Cuartel 2	Bing	2	34,3	14,1	1,15	45-90	45	10,45	104,54
Franco Arenoso	Cuartel 3	Bing	1	28,2	14,9	1,26	0-30	30	5,03	50,27
Franco Arenoso	Cuartel 3	Bing	2	28,8	14,8	1,32	30-60	30	5,54	55,44
Arenoso	Cuartel 3	Bing	3	10,8	5,1	1,61	60-90	30	2,75	27,53

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

Tabla 17. Retención de agua del suelo en la parcela 18.

Tipo de Suelo	Suelo	Estrata	CC %	PMP %	Densidad Aparente g cc ⁻¹	Profundidad cm	Profundidad Estrata cm	Retención de agua cm estr ⁻¹	Volumen Retenido L m ⁻² estr ⁻¹
Franco Arenoso	Cuartel 1 Lapins	1	33,7	17,4	1,23	0-45	45	10,7	106,8
Franco Arenoso	Cuartel 1 Lapins	2	32,7	17,4	1,27	45-90	45	5,6	55,8
Franco Arenoso	Cuartel 3 Regina	1	34,5	18,1	1,14	0-45	45	8,4	83,8
Franco Arenoso	Cuartel 3 Regina	2	34,0	18,5	1,24	45-90	45	10,5	104,5
Franco Arenoso	Cuartel 4 Regina	1	33,6	19,0	1,12	0-30	30	5,0	50,3
Franco Arenoso	Cuartel 4 Regina	2	34,3	18,7	1,12	30-60	30	5,5	55,4
Arenoso	Cuartel 4 Regina	3	17,5	8,8	1,57	60-90	30	2,8	27,5

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

Los resultados que entregan las calicatas realizadas en ambas parcelas, se considera que en la matriz de suelo el contenido de piedras tiene un porcentaje entre 40% y 60% del volumen de piedras, lo que reduce la capacidad retención de agua del suelo. Para cálculos de capacidad de retención del suelo se estimó un porcentaje de piedra conservador de 50% bajo los criterios de riego del 30% o el 50% de la humedad aprovechable.

Tabla 18. Capacidad de retención considerando un porcentaje de 50% piedras en la matriz de suelo y utilizando los criterios de regar al 30% y 50% de agotamiento respectivamente en parcela 10.

Se considera 60 cm de profundidad radical	Cuartel 1 Bing 30%	56,36	L planta ⁻¹
	Cuartel 2 Bing 30%	53,21	L planta ⁻¹
	Cuartel 3 Bing 30%	47,57	L planta ⁻¹
Se considera 60 cm de profundidad radical	Cuartel 1 Bing 50%	93,93	L planta ⁻¹
	Cuartel 2 Bing 50%	88,69	L planta ⁻¹
	Cuartel 3 Bing 50%	79,29	L planta ⁻¹

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

Tabla 19. Capacidad de retención considerando un porcentaje de 50% de piedras en la matriz de suelo y utilizando los criterios de regar al 30% y 50% de agotamiento respectivamente, en parcela 18.

Se considera 60 cm de profundidad radical	Cuartel 1 Lapins 30%	56,4	L planta ⁻¹
	Cuartel 3 Regina 30%	53,2	L planta ⁻¹
	Cuartel 4 Regina 30%	47,6	L planta ⁻¹
Se considera 60 cm de profundidad radical	Cuartel 1 Lapins 50%	93,9	L planta ⁻¹
	Cuartel 3 Regina 50%	88,7	L planta ⁻¹
	Cuartel 4 Regina 50%	79,3	L planta ⁻¹

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.



Figura 32. Porcentaje de cobertura para el cálculo de la demanda Caso A (izquierda) para variedad Lapins cercano a 50% del porcentaje de cobertura, Caso B (derecha) para variedad Regina cercano a 35% del porcentaje de cobertura en parcela 18.

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

Cálculo de la demanda:

La Tabla 20 entrega los antecedentes para goteo en cerezo para diferentes porcentajes de cobertura de la parcela 10. Tomando dichos valores de porcentaje de cobertura de 50% y un valor de evapotranspiración de referencia de 5 mm día^{-1} se requiere una aplicación de $50,46 \text{ L día}^{-1}$ y sin embargo, para un 35 % de cobertura se requieren 38 L día^{-1} . Para un huerto adulto con 70% de cobertura o más tendríamos un valor de evapotranspiración de $67,60 \text{ L día}^{-1}$.

1.

Tabla 20. Demanda en cerezos para diferentes porcentajes de cobertura en un arreglo de 3 por 4,5 metros en parcela 10 variedad Bing.

Evapotranspiración de referencia ETo	20%	30%	40%	50%	60%	70%
mm día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹
2,0	9,9	13,3	16,8	20,2	23,6	27,0
2,5	12,4	16,7	20,9	25,2	29,5	33,8
3,0	14,8	20,0	25,1	30,3	35,4	40,6
3,5	17,3	23,3	29,3	35,3	41,3	47,3
4,0	19,8	26,7	33,5	40,4	47,2	54,1
4,5	22,3	30,0	37,7	45,4	53,1	60,8
5,0	24,7	33,3	41,9	50,5	59,0	67,6
5,5	27,2	36,6	46,1	55,5	64,9	74,4
6,0	29,7	40,0	50,3	60,6	70,8	81,1
6,5	32,2	43,3	54,5	65,6	76,7	87,9
7,0	34,6	46,6	58,6	70,6	82,6	94,6
8,0	39,6	53,3	67,0	80,7	94,5	108,2
9,0	44,5	60,0	75,4	90,8	106,3	121,7

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

Tabla 21. Demanda en cerezos para diferentes porcentajes de cobertura en un arreglo de 1,8 por 4 metros en parcela 18 variedad Regina.

Evapotranspiración de referencia ETo	20%	30%	40%	50%	60%	70%
mm día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹
2,0	5,3	7,1	8,9	10,8	12,6	14,4
2,5	6,6	8,9	11,2	13,5	15,7	18,0
3,0	7,9	10,7	13,4	16,2	18,9	21,6
3,5	9,2	12,4	15,6	18,8	22,0	25,2
4,0	10,6	14,2	17,9	21,5	25,2	28,8
4,5	11,9	16,0	20,1	24,2	28,3	32,5
5,0	13,2	17,8	22,3	26,9	31,5	36,1
5,5	14,5	19,5	24,6	29,6	34,6	39,7
6,0	15,8	21,3	26,8	32,3	37,8	43,3
6,5	17,2	23,1	29,0	35,0	40,9	46,9
7,0	18,5	24,9	31,3	37,7	44,1	50,5
8,0	21,1	28,4	35,7	43,1	50,4	57,7
9,0	23,8	32,0	40,2	48,4	56,7	64,9

Fuente: Holzapfel y Gavilán., 2022.

Tabla 22. Demanda en cerezos para diferentes porcentajes de cobertura en un arreglo de 2 por 4 metros en parcela 18 variedad Lapins.

Evapotranspiración de referencia ETo	20%	30%	40%	50%	60%	70%
mm día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹	L día ⁻¹
2,0	5,9	7,9	9,9	12,0	14,0	16,0
2,5	7,3	9,9	12,4	15,0	17,5	20,0
3,0	8,8	11,8	14,9	17,9	21,0	24,0
3,5	10,3	13,8	17,4	20,9	24,5	28,0
4,0	11,7	15,8	19,9	23,9	28,0	32,0
4,5	13,2	17,8	22,3	26,9	31,5	36,1
5,0	14,7	19,7	24,8	29,9	35,0	40,1
5,5	16,1	21,7	27,3	32,9	38,5	44,1
6,0	17,6	23,7	29,8	35,9	42,0	48,1
6,5	19,1	25,7	32,3	38,9	45,5	52,1
7,0	20,5	27,6	34,7	41,9	49,0	56,1
8,0	23,5	31,6	39,7	47,8	56,0	64,1
9,0	26,4	35,5	44,7	53,8	63,0	72,1

Fuente: Holzapfel y Gavilán., 2022.

A continuación se muestra el resultado de la temporada 2021-2022 de las parcelas 10 y 18 que muestran el agua requerida, aplicada y la evapotranspiración actual (ETa) obtenida desde imágenes del satélite utilizando la plataforma Aquasat (AQUASAT, 2016).

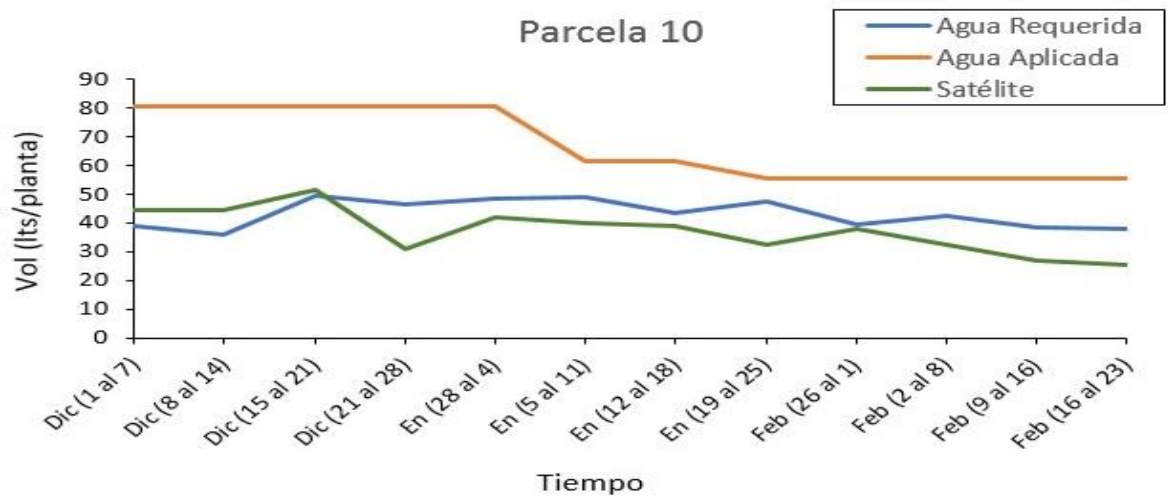


Figura 33. Agua requerida por planta utilizando el porcentaje de cobertura, la evapotranspiración actual del frutal y el agua aplicada por el predio para la variedad Bing en la parcela 10 en la temporada 2021-2022.

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

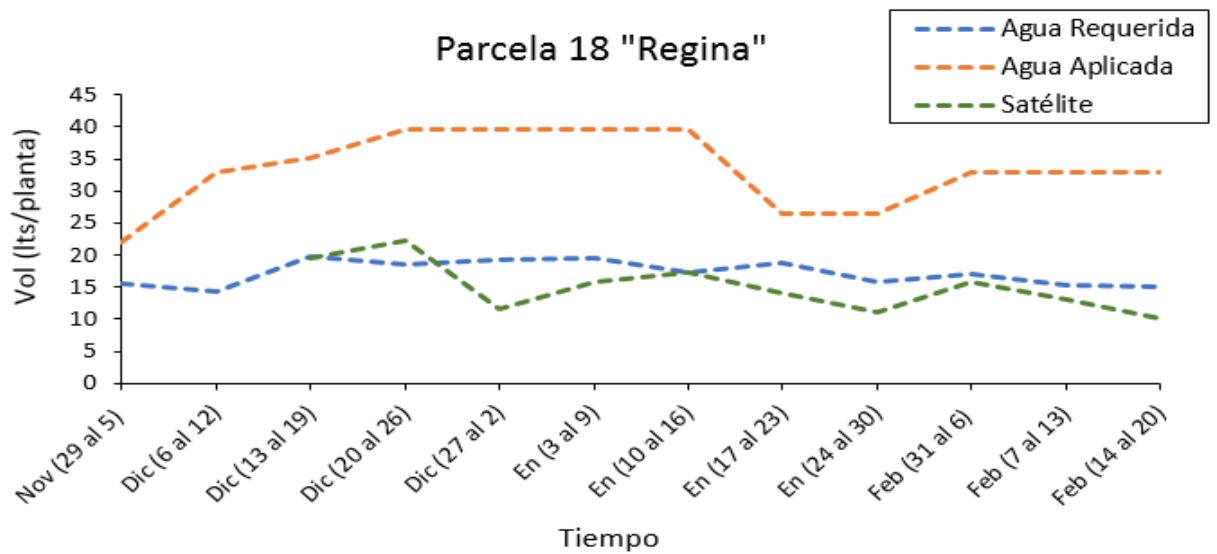


Figura 34. Agua requerida por planta utilizando el porcentaje de cobertura, la evapotranspiración actual del frutal y el agua aplicada para la variedad Regina de la parcela 18 en la temporada 2021-2022.

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

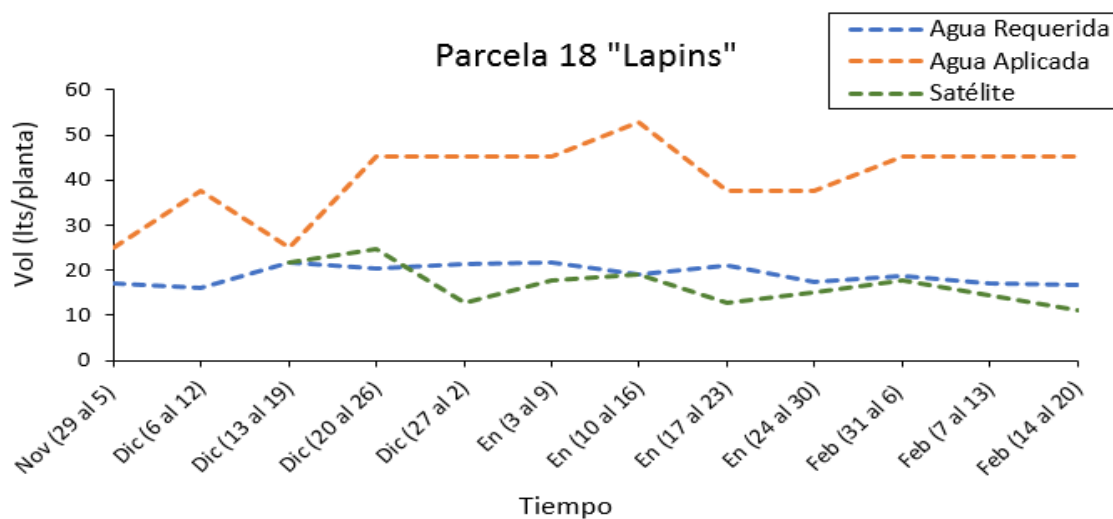


Figura 35. Agua requerida por planta utilizando el porcentaje de cobertura, la evapotranspiración actual del frutal y el agua aplicada para la variedad Lapins de la parcela 18 en la temporada 2021-2022.

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

Se observa según los resultados expuestos la misma tendencia en ambas parcelas 10 y 18, que se aplica más agua en los huertos de cerezo, con valores en ciertos periodos hasta 50% mayor al requerido. Esto conduce indudablemente a pérdida de agua y fertilizantes.

De acuerdo a los antecedentes obtenidos desde la temporada 2021-2022 se puede establecer que el manejo futuro del riego se puede realizar considerando la evapotranspiración de referencia desde la estación meteorológica Los Niches <https://agrometeorologia.cl/evapotranspiracion/> y usar las relaciones que utilizan el porcentaje de cobertura para determinar la demanda de los árboles e incluir una auditoría del riego con imágenes satelitales como apoyo (AQUASAT, 2016) como las que se muestran en la figura 36 y 37.

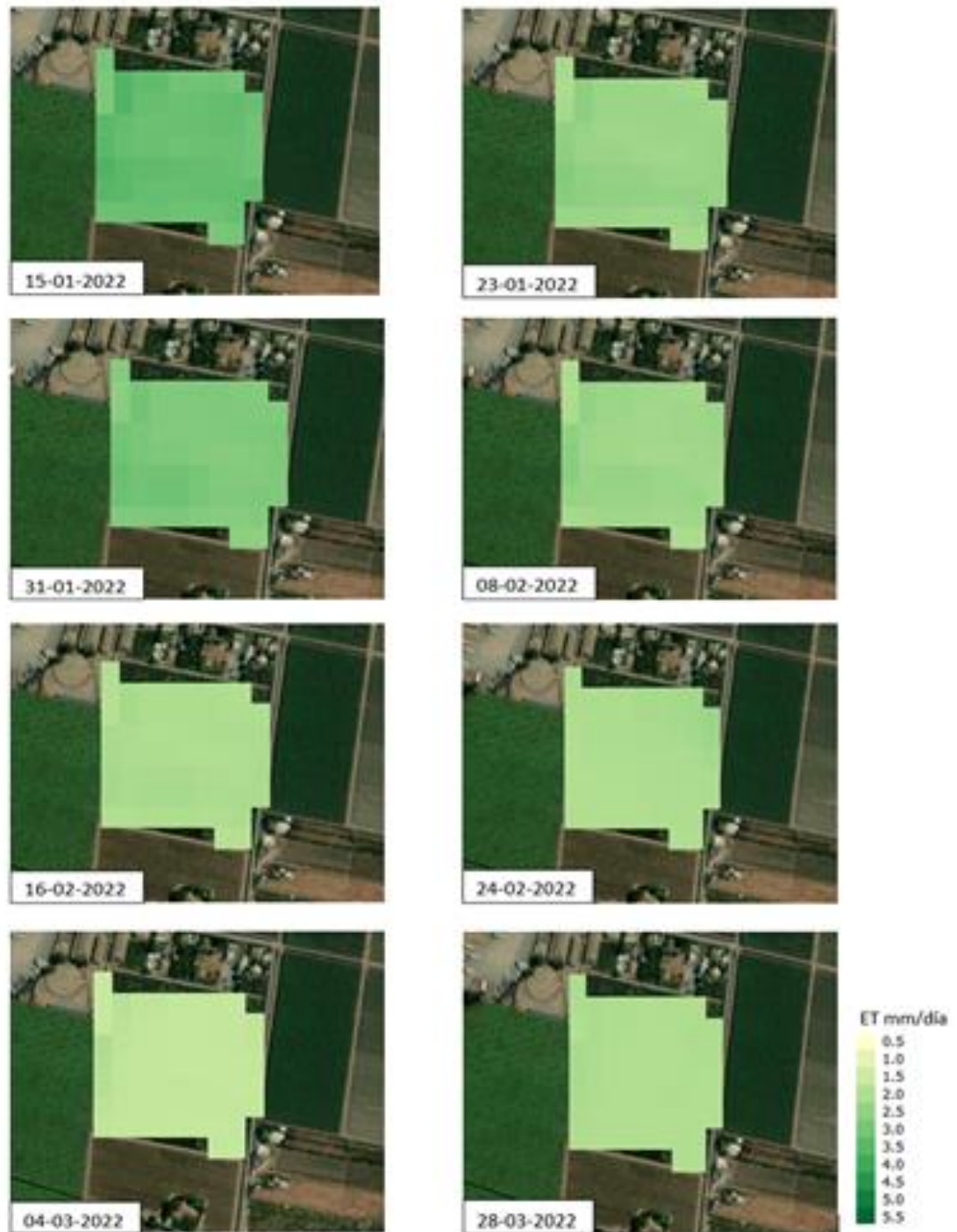


Figura 36. Imágenes satelitales de evapotranspiración actual de la parcela 10, para diferentes fechas de la temporada 2021-2022.

Fuente: Holzapfel y Gavilán., 2022.

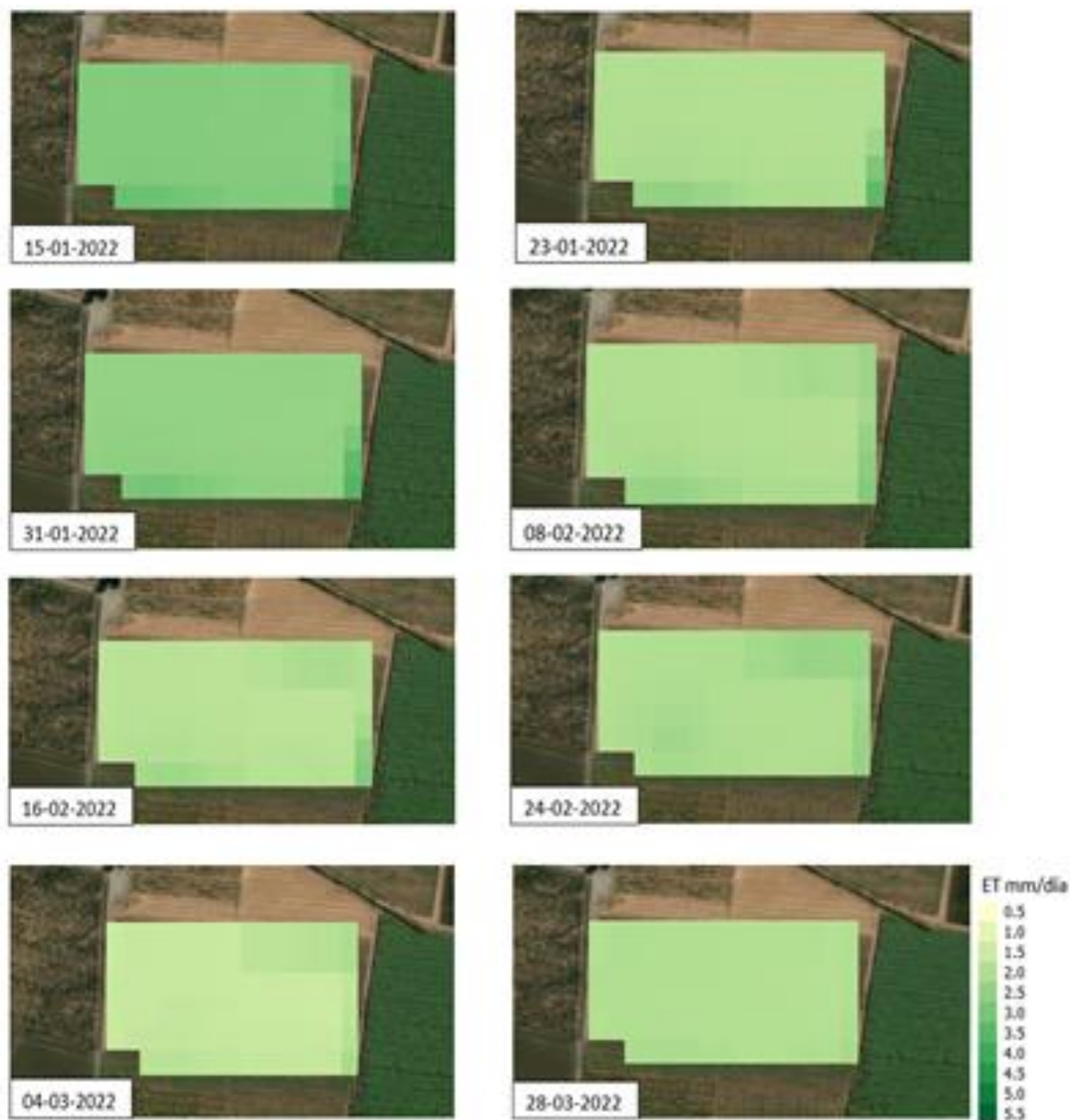


Figura 37. Imágenes satelitales de evapotranspiración de la parcela 18, para diferentes fechas de la temporada 2021-2022.

Fuente: Holzapfel y Gavilán, 2022.

En Figuras 36 y 37 muestran la evapotranspiración actual de parcelas 10 y 18 desde imágenes satelitales siendo así posible compararla con la demanda Óptima generada con el cálculo obtenido desde las ecuaciones que utilizan P.

3.21. Análisis del uso de cubiertas y su efecto.

Las carpas pueden ser utilizadas para diversos controles como por ejemplo para la prevención de partidura de cerezas generalmente en las zonas más lluviosas del país (Ellena, 2012). Sin embargo, tienen un efecto importante en la demanda de agua. Los principales tipos de carpas son: tipo carpa, rafias con postes y cables, macro túneles, tipo invernaderos como se muestran en las Figuras 38, 39 y 40 respectivamente y se describen en la tabla 21.



Figura 38. Carpas o rafias típicas utilizadas en huertos de cerezos en la zona centro sur del país.

Fuente: Hygrove.



Figura 39. Macro túneles en huertos de cerezo cultivados en la zona central del país.

Fuente: Hygrove.



Figura 40. Invernaderos para la producción de cerezas.

Fuente: Hygrove.

Tabla 23. Resumen de las características de los distintos tipos de cubierta utilizados en cerezos en Chile.

Tipo de cubierta	Tipos de protección	Manejo	Valor(pesos ha ⁻¹)
Carpas o Rafias	Partidura, heladas suaves en variedades tempranas.	Manejo tradicional. Desplegarlos antes de la lluvia y/o entre floración y cosecha.	23.000.000
		Manejos alternativos: Retirarlos entre caída de chaqueta y viraje de color.	32.000.000
Macrotúneles	Precipitaciones, heladas, granizo y pájaros.	Cubierta permanente de polietileno y polipropileno.	50.000.000
			60.000.000
Invernadero	Precipitaciones, heladas, granizos y pájaros.	Incipiente en Chile. Manejo exigente y de mayor tecnología	> 93.000.000

Fuente: Otárola et al., 2020.

3.22. Efectos de la cubierta.

Investigaciones han comprobado que bajo cubiertas existe una modificación de las condiciones climáticas, especialmente de la radiación solar y la velocidad del viento.

Un estudio experimental realizado en la variedad Santina y Colt de 5 años incorporó un manejo sin carpa desde brotación hasta postcosecha contrastado con un manejo con carpa durante ese mismo período. En este contexto, bajo una condición con cubierta, la radiación solar puede reducirse entre un 40 a 60 % dependiendo del material del polietileno y del tiempo de uso. La disminución de la radiación solar, reduce el déficit de presión de vapor de la atmósfera, y

con ello la evapotranspiración de referencia, generando un entorno menos demandante de agua. En términos generales, con cubierta se observa una reducción del 25% de la demanda hídrica con respecto a una condición al aire libre (Figura 41). Con respecto a la temperatura y la humedad relativa, estas variables no son modificadas de forma importante por los sistemas con rafias, sin embargo, en sistemas con macro túneles, se puede generar un incremento significativo de las temperaturas mínimas y máximas cuando la ventilación es deficiente, lo cual incrementa la acumulación térmica dentro de estas estructuras reflejándose en un adelanto en la maduración de la fruta y pérdida de algunos atributos de calidad (Otárola et al., 2020).

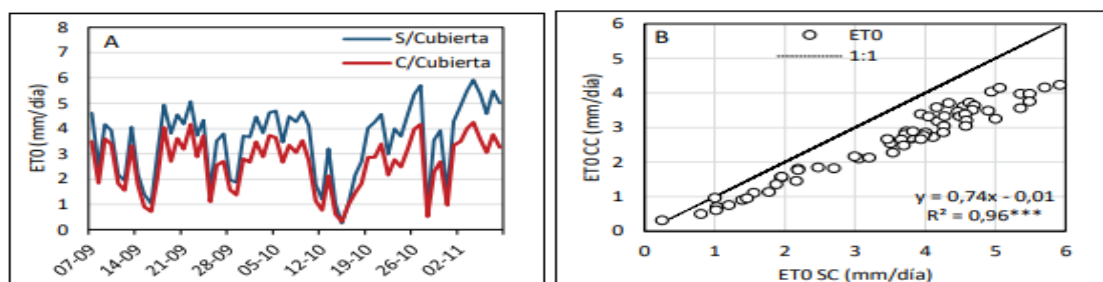


Figura 41. A) Evolución temporal de la evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}) en el cultivo del cerezo bajo una condición de cubierta y sin cubierta. B) Relación entre la demanda de agua bajo una condición con y sin cubierta. Indica $p < 0,001$.

Fuente: Otárola et al., 2020.

3.23. Principales resultados del uso de cubiertas en Chile en el año 2017 en un huerto de cerezos variedades Royal Dawn y Santina.

Algunos agricultores han observado que el uso de cubiertas reduce la partidura de la fruta, y también entrega otros beneficios como la posibilidad de adelantar

la cosecha, controlar heladas suaves y reducir estrés radiactivo.

Condiciones Ambientales: el uso de cobertores plásticos influye en el microclima de los huertos de cerezo modificando parámetros como la temperatura, humedad relativa, radiación, velocidad del viento y el déficit de presión de vapor. Según algunos estudios (Ayala et al., 2019), independiente de la zona, el uso de cobertores plásticos promovió un incremento en las temperaturas mínimas y máximas comparado con árboles al aire libre. La mayor diferencia de temperatura se detectó en el macro túnel, seguido de la carpa.

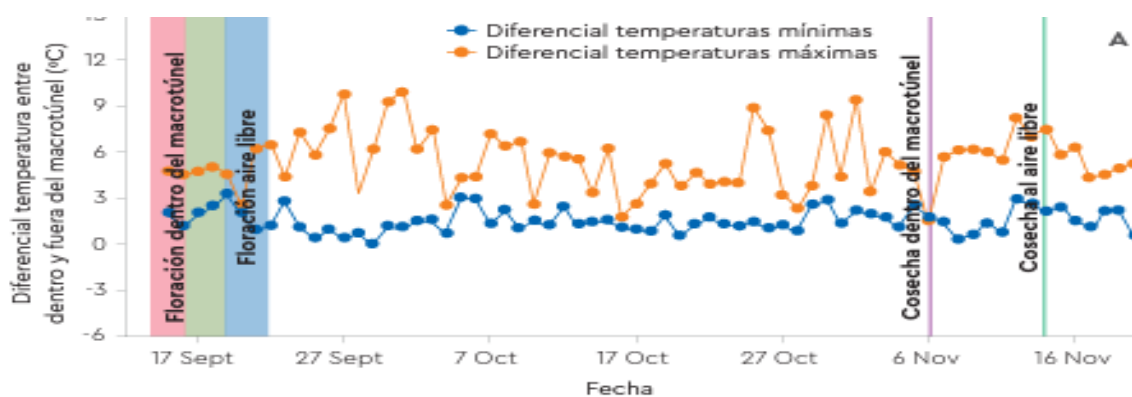


Figura 42. Evolución del diferencial de temperaturas entre macro túnel y aire libre en 2017 en un huerto de Royal Dawn (A), Región del Maule.

Fuente: Ayala et al., 2019.

Se observa que, en el caso de un huerto con la variedad Royal Dawn bajo macro túnel, el diferencial de temperaturas máximas y mínimas con el aire libre durante el período de desarrollo de frutos fluctuó entre de 5 a 10°C y 1 a 3°C, respectivamente, teniendo un impacto en la acumulación de calor entre floración y cosecha, promoviendo un desarrollo más rápido del fruto y, por lo tanto, un adelanto en la fecha de cosecha.

Dentro del macro túnel las temperaturas máximas no superaron los 35°C gracias a un buen manejo de la ventilación, y las temperaturas mínimas no bajaron de 3°C en el período comprendido entre floración y cosecha. Fuera del macro túnel las temperaturas mínimas para ese período estuvieron próximas a 0°C.

Aunque el aumento de temperaturas provocado por el macro túnel fue capaz de acelerar el desarrollo del fruto, adelantando la cosecha, fue posible observar también que, en huertos con un manejo deficiente de la ventilación, el aumento excesivo de las temperaturas máximas (alcanzando en días muy calurosos hasta 43°C) en momentos específicos de la fenología del cultivo afectó negativamente el rendimiento final en cereza Santina.

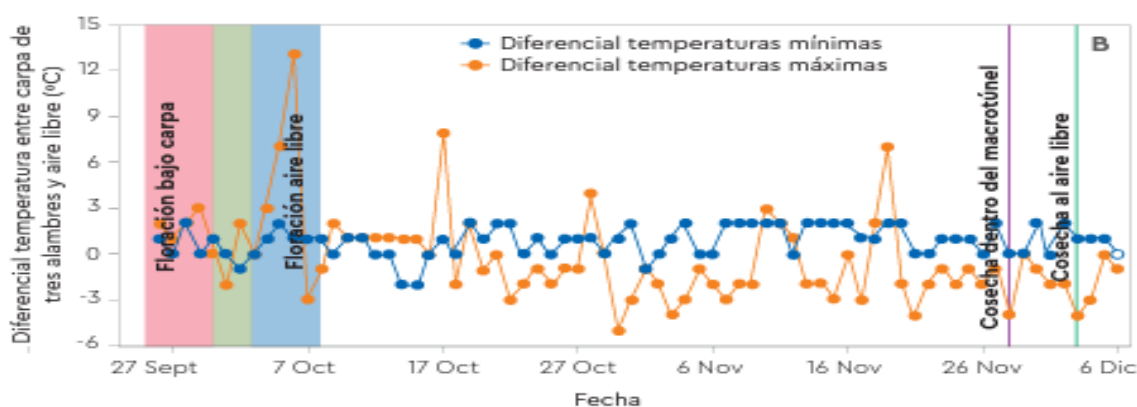


Figura 43. Evolución del diferencial de temperaturas entre carpas y al aire libre en 2018 en un huerto de Santina (B), Región del Maule.

Fuente: Ayala et al., 2019.

Se observa el diferencial de temperaturas máximas y mínimas en un huerto de Santina bajo carpas y al aire libre. El diferencial de temperaturas bajo la carpas presentó un comportamiento diferente al macro túnel. En general, la

temperatura máxima diaria registrada bajo carpa fue muy similar a la registrada al aire libre, moviéndose en un rango de fluctuación de 3°C. Sin embargo, de manera puntual las temperaturas máximas bajo carpa sobrepasaron a la temperatura del exterior por 6°C. En cuanto la humedad relativa, las diferencias no fueron tan marcadas entre el macro túnel, la carpa y el aire libre.

Demanda hídrica: Se debe tener en cuenta que, bajo cubiertas, la demanda hídrica se debe satisfacer en su totalidad mediante el riego, ya que el aporte de las precipitaciones no se considera, sin embargo, las necesidades de los árboles cubiertos serán a menudo inferiores debido a la menor evapotranspiración que produce una menor variación de la humedad en el suelo (Ayala et al., 2019).

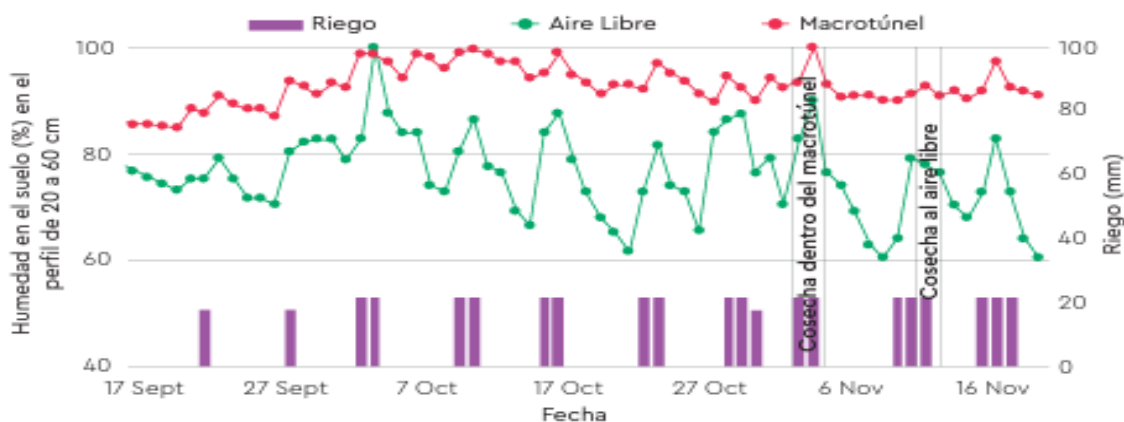


Figura 44. Evolución de la humedad en el suelo entre macro túnel, al aire libre y lámina de riego aplicada a un huerto Royal Dawn ubicado en la Región del Maule, año 2017.

Fuente: (Ayala et al., 2019).

En efecto, la demanda hídrica del cultivo fue alterada con el uso de macro túnel, reduciéndose la evapotranspiración de la cereza Royal Dawn entre 20 y 25%

del agua suministrada en comparación con el aire libre. La aplicación de los mismos volúmenes de agua dentro y fuera del macro túnel resultó en una mayor humedad en el suelo en el perfil entre los 25 y 60 cm profundidad dentro del macro túnel, lo cual promovió que los árboles en cultivo protegido aumentaran la conductancia estomática. Además, la humedad en el perfil de suelo se mantuvo más constante durante el período entre floración y cosecha bajo el macro túnel.

En el caso de usar cobertores, se recomienda que su uso vaya asistido por estrategias de riego de precisión y uso de sensores de humedad y tensiómetros que permitan conocer el contenido de agua en el suelo y su disponibilidad para determinar el momento de aplicación del riego y la duración de éste con el objetivo de aportar el agua necesaria para la planta. Lo anterior permitirá evitar el estrés por falta de riego o sobre regar. Además de sensores en el suelo, es fundamental para conocer la demanda del cultivo, y con esta información ajustar los requerimientos de riego y aumentar la eficiencia del uso del agua.

Fenología y fecha de cosecha: los cobertores plásticos permitieron generar un microclima para el cultivo que tuvo como resultado un adelanto en la fenología, inducida principalmente por una mayor acumulación de días grado que permitió un adelanto de la cosecha en comparación al aire libre. Según estos estudios en las variedades Royal Dawn y Santina, el adelanto en la cosecha bajo carpa fue de 5 a 7 días, mientras que bajo macro túnel varió entre 8 y 10 días en las regiones de O'Higgins y el Maule. En general, es posible afirmar que el macro túnel adelanta la fecha de cosecha en las variedades tempranas en mayor

medida que la carpa, siendo la diferencia entre ambos de en promedio 3 días. El adelanto en la cosecha bajo cubiertas plásticas se explica por un adelanto en todos los estados fenológicos observados entre floración y cosecha mayormente inducida por una mayor acumulación de días grado (Ayala et al., 2019).

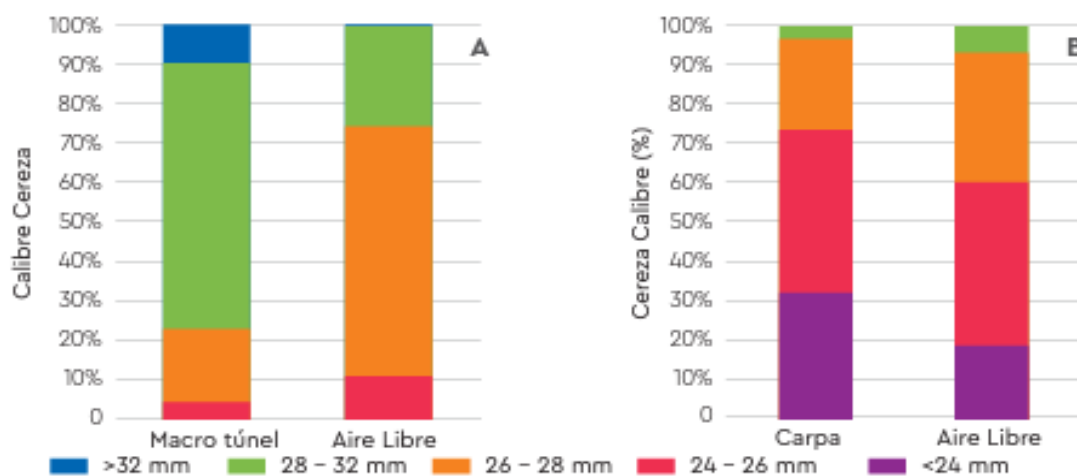


Figura 45. Distribución de calibres de cereza a cosecha entre macro túnel y al aire libre de un huerto de Royal Dawn (A) y entre carpa y al aire libre de un huerto de Santina (B), ubicados ambos en la Región del Maule.

Fuente: Ayala et al., 2019.

Calidad y vida postcosecha: En la Zona Central de Chile el uso de cobertores plásticos no afectó en forma significativa el rendimiento en los cultivares. Royal Dawn y Santina cuando fueron bien manejados por los productores. Sin embargo, su uso tuvo impacto en la calidad de la fruta y el incremento de fruta exportable por la reducción de la cantidad de fruta partida.

Tabla 24. Firmeza (Unidad Durofel) de cerezas según altura para las variedades Royal Dawn bajo macro túnel y al aire libre y Santina bajo carpa y al aire libre.

Altura	Royal Dawn		Santina	
	Macro túnel	Aire libre	Carpa	Aire libre
Arriba	70,8	77,6	75,0 b	82,6
Mitad	72,8	78	81,0 a	83,6
Abajo	72,4	76,4	81,2 a	84
Valo-p	0,145	0,312	<0,001	0,633

Fuente: Ayala et al., 2019.

De Tabla 24, diferentes letras para un mismo parámetro dentro de una variedad indican diferencias significativas entre sistemas de cultivos.

3.24. Análisis de heladas y su efecto.

Se considera helada meteorológica cuando la temperatura del aire a 1,50 m del suelo desciende a un valor igual o inferior al punto de congelamiento del agua, es decir, a 0 °C, independiente de su duración o intensidad. Desde el punto de vista agrometeorológico podría definirse una helada como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño. A medida que la temperatura desciende y la helada se prolonga, los daños en los vegetales aumentan.

3.25. Clasificación de heladas.

- Heladas advectivas: se producen por la entrada de aire frío que se acumula en las capas bajas. En general, se producen en invierno por lo que no afectan a los frutales. No se pueden emplear métodos de control contra estas heladas

porque afectan una amplia zona. El único método de control es el uso de invernaderos climatizados si se quiere producir durante el invierno. Este método no se suele usar en frutales, es más común en cultivos hortícolas.

- Helada radiativa: son las producidas por un brusco enfriamiento del suelo. Se pueden producir desde otoño hasta primavera generalmente en noches despejadas. Este tipo de heladas no se producen en días nublados ni en días con niebla. Son las más dañinas en los frutales durante la floración. Por ese motivo la mayoría de métodos de control están orientados a evitar este tipo de heladas.

- Helada de evaporación: se producen cuando el agua que recubre las plantas se evapora con mucha rapidez. La evaporación del agua produce una disminución de temperatura de la planta y la helada. Se suelen producir en primavera por la mañana, cuando sale el Sol. Suelen ser heladas poco importantes que no producen mucho daño en el cultivo.

3.26. Sistemas de control de heladas con agua.

Control pasivo: consiste en adaptar las plantas al clima.

Factores relacionados con la plantación que se usan en el control pasivo.

- Elegir las mejores variedades: las variedades precoces son más sensibles a las heladas primaverales que las tardías.

- Lugar de plantación adecuado: el aire frío se acumula en las zonas bajas de los valles. En estas zonas no es conveniente plantar frutales a no ser que sean resistentes a las heladas.
- Un buen manejo del cultivo: el riesgo de heladas se incrementa en suelos labrados, secos y/o con cubierta vegetal densa. Por eso regar de noche y madrugada cuando hay más riesgo de helada disminuye el riesgo.

Igualmente, mantener el suelo limpio de vegetación pero sin labrarlo también disminuye el riesgo de heladas. Una cubierta de paja o hierbas secas ayudan a evitar la pérdida de calor de los suelos y las heladas.

Control activo: crear un microclima alrededor de la plantación.

- Aspersores: se basa en la aportación de grandes cantidades de agua que rodean la planta. El agua al enfriarse desprende calor que calienta el ambiente y además se mantiene a 0°C hasta que se congela toda. De esa forma se mantiene el cultivo a baja temperatura pero sin llegar a la congelación. Este es el método más usado para el control de las heladas, además de ser también el más económico.
- Inundación: se basa en el mismo principio que la protección por aspersión. El objetivo es inundar el terreno para evitar que este se enfríe. Solo se puede realizar en cultivos tolerantes a la asfixia radical.
- Combustión: el aire frío se coloca en las capas más bajas, cerca del suelo. En cambio, el aire caliente se coloca encima de este haciendo una barrera que

impide la mezcla de aire a distinta temperatura. El objetivo de este método de control de heladas es calentar el aire frío próximo al suelo quemando diferentes combustibles.

- Humo y niebla: hay máquinas expresas que permiten crear niebla artificial. Con ella se consigue un ligero aumento de la temperatura de la zona (1-2°C) reduciendo el riesgo de heladas. Este método sólo es eficaz en caso de heladas poco importantes. En grandes heladas el aumento de temperatura que provoca no es suficiente.
- Ventiladores: este método se basa en la estratificación del aire según la temperatura. El objetivo es mezclar el aire caliente de las capas superiores con el aire frío de las inferiores. En general se usan ventiladores para conseguir este movimiento de aire. Este método es eficaz sobre todo en zonas llanas.
- Succión de aire: se basa en lo mismo que el método de control con ventiladores. En este caso se succiona el aire de las capas más frías y se impulsa hacia capas superiores.

3.27. Riego con microaspersión para el control de heladas sobre follaje en cerezos.

El estado hídrico entre el suelo y la planta puede determinar la duración de la helada, en un ambiente con una gran cantidad de agua, puede soportar de mejor manera una baja de temperatura, principalmente por el calor específico del agua, (es decir, la cantidad de energía que debe ceder un gramo de agua

para enfriarse en 1°C) y el calor latente del agua (la cantidad de energía que debe ceder un gramo de agua a 0°C para pasar de agua líquida a sólida).

Existen investigaciones que se han realizado para el control de heladas con el uso de microaspersión alto o sobre follaje. Consiste en un sistema de alto caudal que se aplica por sobre el nivel de las copas de manera de mojar la planta para protegerla. Por ejemplo, se aplica entre 3 a 4 mm h⁻¹ para árboles de 2 m y 5 mm o más para arboles más grandes. La cantidad de agua aplicar depende de la temperatura mínima y el viento, donde la temperatura mínima que soporta a flor es a -2.2 grados y los frutos recién cuajados no soportan temperaturas menores a -1.1 grados. En este estudio se estima que cada mm h⁻¹ controla un grado bajo cero aproximadamente.

También existe evidencia de que el riego por aspersion bajo la copa de los árboles y el riego por surco o tendido en grandes cantidades también ofrecen alguna protección contra las heladas.

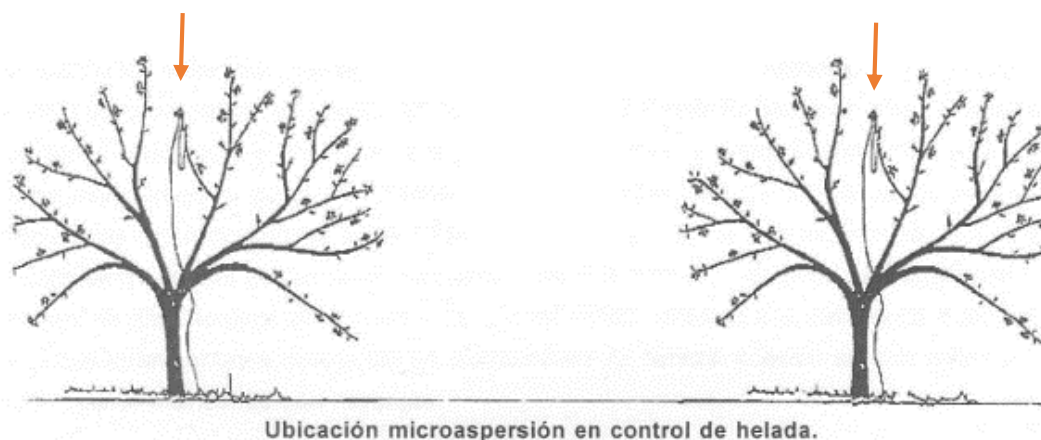


Figura 46. Ubicación microaspersor en el control de heladas indicados con flecha naranja.

Fuente: Ferreyra, 2002.

Tabla 25. Resultados del estudio del riego por aspersión y microaspersión para el control de heladas.

	Aspersión	Microaspersión
Eficacia	Protege hasta -7°C sobre la superficie.	Protege hasta -4°C sobre los arboles cubiertos.
Ventaja principal	Buena eficacia demostrada	Bajo volumen de agua (15 a $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}\text{ha}^{-1}$)
Otras ventajas	No contaminante. Utilizable para el riego.	No contaminante. Utilizable para riego en la misma ubicación sobre los arboles (en el centro).
Principal desventaja	Alto volumen de agua ($40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}\text{ha}^{-1}$). Rotura de ganchos.	Menor eficacia en la aspersión.
Otras desventajas	Poco adaptable a especies sensibles a la asfixia.	Menos tiempo de decisión para la puesta en marcha.
Por mejorar	Asegurarse un buen drenaje del agua	Facilitar la toma oportuna de decisión de puesta en marcha.

Fuente: Ferreyra, 2002.

3.28. Estudio de caso: protección contra heladas con aspersión en arándanos.

Se realizó un estudio desde el 2010 a 2017 para determinar la huella hídrica de la producción de cerezas en la provincia de Entre Ríos, Argentina (Pannunzio et al., 2010).

Se analizaron tres cultivares de arándanos highbush del sur (cruce híbrido de vaccinosp) y se evaluó los cultivares “Star”, “Emerald” y “Snowchaser”. En cada cultivar las plantas fueron regadas por goteo y se protegieron de las heladas

mediante aspersores aéreos, en donde los requerimientos de agua en ambos sistemas variaron de un cultivar a otro debido a las diferencias de floración y desarrollo de la planta.

La mayoría de los frutales en los campos en Argentina se riegan por goteo, y un gran número están equipados con sistemas de riego por aspersión para protección contra heladas durante la floración y el desarrollo de la fruta (Pannunzio et al., 2010).

La necesidad de que un cultivo se produzca durante los meses de septiembre, octubre y noviembre frente a la temporada de fructificación en el hemisferio norte, implica que la floración ocurre durante los períodos de alto riesgo de daños por heladas. Las heladas en la región se deben principalmente a las heladas de radiación, que ocurren durante las inversiones térmicas y, en algunos casos, a las heladas de advección o una combinación de ambas. Por lo general, los rociadores de techo se utilizan en Argentina para proteger a algunos frutales de daños durante una helada (Panunzio et al., 2023).

Cada Variedad se regó utilizando dos laterales de tubería de goteo por hilera. Se instalaron sistemas de microaspersores en la finca para protección contra heladas. Los microaspersores entregaban un caudal de $2,25 \text{ L h}^{-1}$ y se escalonaron a una distancia de 9,5 m dentro de cada tercer surco en cada especie. Una vez completamente presurizado, el sistema brindó una cobertura total y aplicó 2,25 L de agua por hora, lo que en condiciones de calma evitó el daño por congelamiento a temperaturas tan bajas como $-2,9^{\circ}\text{C}$ (Burgos, 1963; Cline y Fernández 1998; Conlány otros., 2018; Smith, 2019; Kunwar y Fonsah,

2022. El caudal medio aplicado para la protección contra heladas en cada parcela fue de $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Antes de 2016, los sistemas de rociadores se iniciaron para la protección contra heladas a temperaturas de $1,5^\circ\text{C}$, lo que a menudo resultó en uso innecesario de agua durante muchas horas. Posteriormente se utilizó $0,5^\circ\text{C}$ como temperatura umbral de protección contra heladas en cada especie, a partir del 10% de floración. Los aspersores se hicieron funcionar continuamente durante cada evento de helada y se operaron hasta que el sol brillaba y la temperatura ambiente era $>1^\circ\text{C}$. De lo contrario, el daño a las plantas habría sido considerable y, en algunos casos, podría haber resultado en la pérdida total de la cosecha.

Cada variedad de cereza fue cosechada a mano en 2010-2017. Rara vez superaron las 14 semanas de cosecha, mientras que "Snowchaser" tardó unas 25 semanas en cosecharse. La floración comenzó entre junio y julio para "Snowchaser", a finales de julio principio de agosto para "Emerald" y a finales de septiembre para "Star". La fruta se pesó en cada fecha de cosecha para determinar el rendimiento total.

"Star" requería menos protección contra las heladas cada año en comparación con "Emerald" y "Snowchaser". Eso se debió a que "Star" floreció entre finales de septiembre y octubre y solo requirió menos protección o solo contra las heladas en los años más fríos. Independientemente de si la temperatura crítica se fijó en $1,5^\circ\text{C}$ o $0,5^\circ\text{C}$, la protección contra heladas solo fue necesaria durante 8 días o menos cada año en "Star" y fue innecesaria en este cultivar durante el tercer año y los últimos 3 años del estudio. Por el contrario, se necesitaba

protección contra heladas de 1 a 15 días al año en “Emerald” y de 2 a 18 días al año en “Snowchaser”.

“Snowchaser” floreció en agosto y septiembre de cada año y requirió protección contra heladas durante todo el período de floración. “Emerald” floreció a fines de septiembre hasta principios de octubre y también requirió protección contra heladas durante la floración.

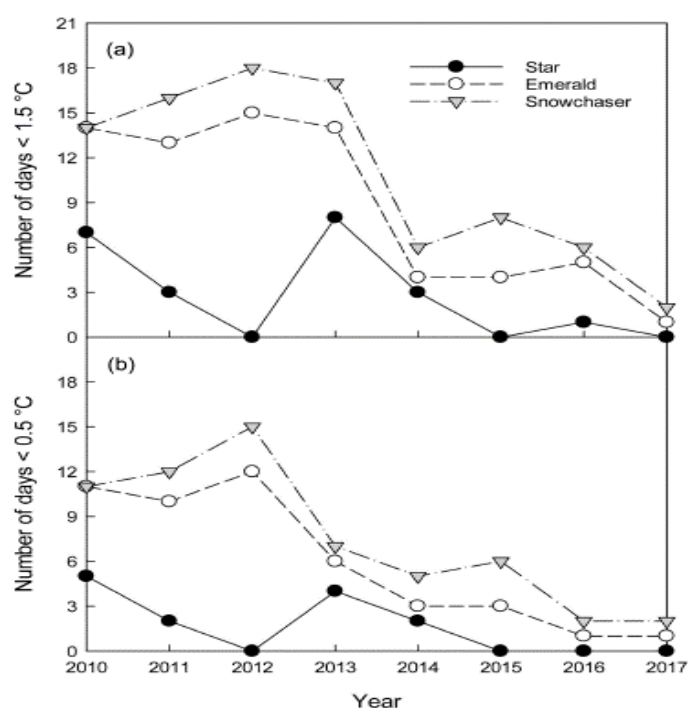


Figura 47. Número de días que la temperatura del aire ambiente estuvo por debajo del umbral crítico $1,5\text{ }^\circ\text{C}$ (a) y $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ (b) durante la floración y cuajado de arándanos “Star”, “Emerald” y “Snowchaser” en Entre Ríos provincia Argentina.

Fuente: Panunzio et al., 2023.

Los productores también podrían usar métodos alternativos contra heladas, como calentadores o máquinas de viento (Snyder y Melo-Abreu, 2005). Dichos métodos eliminan cualquier necesidad de agua para la protección contra

heladas, pero generalmente son más costosos de instalar y operar que los sistemas de rociadores. Una tercera opción es usar las mejores prácticas de manejo para la protección contra heladas, incluida una buena selección del sitio, poda y riego adecuados, y el uso de alarmas y modelos de heladas (Snyder y Melo-Abreu 2005). Por lo general, las áreas más bajas en la topografía local tienen temperaturas más frías y, por lo tanto, tienen más riesgo de sufrir daños por congelación que las áreas más altas. La eliminación de árboles y maleza alrededor del campo para mejorar la circulación del aire permitirá que la brisa suave penetre en la plantación, desplazando el aire más frío con aire más cálido de lugares más altos durante una helada. Los capullos de flores en brotes cortos y de pequeño diámetro se abrirán y se volverán susceptibles al daño por congelación antes que los capullos de flores en brotes de mayor diámetro (Cline y Fernandez, 1998). La poda de una mezcla equilibrada de brotes que florecen temprano y que florecen más tarde ayudará a asegurar una cosecha si ocurre una helada. Los suelos secos inhiben la transferencia y el almacenamiento de calor y, por lo tanto, se mejora la protección contra heladas humedeciendo el suelo en los días previos a una helada prevista (Monteith y Unsworth, 2013). Finalmente, tanto las alarmas de heladas como los modelos son útiles para determinar cuándo operar los sistemas de rociadores durante una helada, usando agua solo cuando sea necesario.



Figura 48. Protección contra heladas en arándanos con aspersión.

Fuente: Panunzio et al., 2023.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los antecedentes recopilados en base a los objetivos planteados en este estudio podemos concluir que:

El riego es un factor relevante en la producción y calidad de cerezos en la que se deben considerar los niveles de aplicación de agua, los periodos críticos y su forma de aplicación.

El principal sistema de riego implementado en el país es goteo que presenta ventajas asociadas a la zona de aplicación, precisión en el volumen aplicado y automatización, sin embargo, existen otros métodos de riego que bien diseñados pueden presentar altos niveles de eficiencia.

Bajo las condiciones de restricción del recurso hídrico que nos afecta, es importante optimizar el riego mediante manejos eficientes, que apliquen el nivel de agua necesario a la planta.

La demanda de agua del cerezo se puede determinar utilizando la evapotranspiración de referencia y como factor de riego el uso del porcentaje de cobertura que representa el desarrollo del árbol.

Estudios han demostrado que un manejo bajo riego deficitario controlado puede ser una alternativa interesante para obtener un buen nivel de producción con un ahorro importante de agua.

El uso de cubierta como túneles o carpas es una buena alternativa que permite protección contra la lluvia, heladas leves, la radiación solar, disminuye la

demanda de agua, adelanta la cosecha y mantiene la humedad del suelo más homogénea al compararla con condiciones al aire libre.

El control de heladas con aspersión puede ser una buena alternativa para el control de heladas para las variedades tempranas.

5. LITERATURA CITADA

AQUASAT (2016). Plataforma de decisión para riego (AQUASAT) Registro marca propiedad intelectual, N° 1227548, Clases 16 y 42 con cobertura hasta el 18/11/ 2026. (<http://www.aquasat.cl>)

Ayala, Marlene, Blanco, Víctor y Zoffoli G., Juan Pablo (2019) *Experiencia chilena en el uso de cobertores plásticos para cerezos* [en línea]. Revista Frutícola. vol. 41 (3) p. 18-24. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/63493> (Consultado: 20 marzo 2023).

Blanco, V., Domingo, R., Artés, F., Pérez, A., Soto, F., Torres, R., (2015) *Respuesta del cerezo al riego deficitario. Resultados preliminares*. Universidad politécnica de Cartagena, España.

Bravo H., Rodrigo, Quintana A., Juan y Reyes M., Marisol (eds.) (2020) *Heladas. Factores, tendencias y efectos en frutales y vides* [en línea]. Osorno: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 417. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6847> (Consultado: 30 octubre 2023).

Bryla, D., J. Gartung y B. Strik. (2011). *Evaluación de los métodos de riego para el arándano highbush, I. Crecimiento y requerimientos de agua de plantas jóvenes*. HortScience, 46: 95-101.

Burgos, JJ (1963) *Las heladas en la Argentina*. Colección Científica del INTA, Buenos Aires, vol. III, 338 pág.

CAF (2021), VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal.

Cline, B. and Fernandez, G. (1998) *Blueberry Freeze Damage and Protection Measures*. Publicaciones de Extensión del Estado de Carolina del Norte.

Correia, S., Schouten, Rob., Silva, AP., Gonçalves, B. (2018). *Sweet cherry fruit cracking mechanisms and prevention strategies: A review*. Scientia Horticulturae 240: 369–377.

Conlan, E., Borisova, T., Smith, E., Williamson, J. y Olmstead, M. (2018) *The Use of Irrigation for Frost Protection for Blueberry in the Southeastern United States*. HortTecnología, 28, 660-617.

- Deng, X., L. Shan, H. Zhang y N. Turner. (2006). *Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China*. Agric. Water Manag. 80(1-3): 23-40.
- Einhorn, T., (2012) *El tamaño y el rendimiento de las cerezas no se vieron afectados por la reducción del riego, pero el riego poscosecha sigue siendo crítico*. The Dalles, Oregón.
- Ellena D., Miguel (2012) *Partidura y protección de la fruta* [en línea]. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N°. 247. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7510> (Consultado: 20 marzo 2023).
- Ellena D., Miguel (ed.) (2012) *Formación y sistemas de conducción del cerezo dulce* [en línea]. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N°. 247. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7500> (Consultado: 20 marzo 2023).
- Ferreira E., Raúl (2002) *Riego en cerezo, requerimientos hídricos, sistemas de riego y control de heladas* [en línea]. Coyhaique: INIA. Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N°. 18. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/8612> (Consultado: 20 marzo 2023).
- Gispert J. R., F. Ramírez de Cartagena, J. M. Villar y J. Girona. (2013). *Wet soil volume and strategy effects on drip-irrigated olive trees* (cv. 'Arbequina'). Irrig. Sci. 31: 479–489.
- Grau, P. 2007. *Cultivo del cerezo en el secano interior de la región del Bío-Bío*. Boletín INIA N° 63. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán. 158 p.
- Holzapfel, E., Orrego, X., Jara, J., Salgado, L., Souto, C., (2021) *Manual Riego y Drenaje en frutales*, primera edición. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería, Chillán, Chile.
- Holzapfel, E., Rivera, D., Arumí, J., (2022) *Tecnología de Manejo de Agua para una Agricultura Intensiva Sustentable*, capítulo VII. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería, Chillán, Chile.

- Holzapfel H., Eduardo (2000) *Riego por goteo y microjet* [en línea]. Chillan: INIA. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/28569> (Consultado: 20 marzo 2023).
- Jara, J., Holzapfel, E., Orrego, X., Salgado, L., Souto, C., (2021) *Manual Riego y Drenaje en frutales*, primera edición. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería, Chillán, Chile.
- Kang, S., X. Hao, T. Du, L. Tong, X. Su, H. Lu, X. Li, Z. Huo, S. Li y R. Ding. (2017). *Mejora de la productividad agrícola del agua para garantizar la seguridad alimentaria en China en un entorno cambiante: de la investigación a la práctica*. Agric. Water Manag. 179: 5-17.
- Kunwar, SR y Fonsah, EG (2022) *Análisis económico de la producción de arándanos Highbush del sur mediante riego por goteo y protección contra heladas en Georgia, EE. UU*. El Diario de la Extensión, 60, Artículo N°. 11.
- Lagos, O., Manríquez, C., Contreras, J., Valdivia, W., Souto, E., Pérez, A., Murillo, H., (2019). *Manual sistemas de riego y manejo hídrico de cultivos*. Chillán, Chile.
- Lanier, L., Badrc, M.; Delabrazé, P.; Dubourdieu, J.; Flammarion, J. (1994). *Precis de sylviculture. kole Nationale du Genie Rural, des Eaux et des Forb Nancy, France*. 477 p.
- Loewe, V. (1991). *Nuevas alternativas para diversificar la producción forestal: nogal Juglans regia f.) y cerezo (Prunus avium f.), dos especies de maderas nobles*. II parte. Chile Forestal. Documento Técnico 57, 7 p.
- Long, LE, Yin, X., Huang, XL y Jaja, N. (2014). *Respuestas del uso y la productividad del agua de cerezo dulce y la calidad del suelo a los sistemas alternos de riego y cubierta del suelo*. Acta Hortica. 1020, 331-338 DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1020.46.
- Matte, V. (1987). *Efecto de la aplicación de citoquinina y giberelina (prornalin) y algunas medidas de manejo sobre la brotación lateral de cerezo (Prunus avium f.) var. Bing*. Tesis. Santiago. Universidad de Chile, Escuela de Agronomía. 66 p.

- Medina M., Leovigildo (2018) *Riego en el Avellano Europeo* [en línea]. Temuco: Colección Libros INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N°. 36. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/3598> (Consultado: 20 marzo 2023).
- Monteith, J. y Unsworth, M. (2013) *Principios de física ambiental: plantas, animales y la atmósfera*. Prensa Académica, Nueva York.
- Morales, P., M. García, R. Hayashi, y L. Puppo. (2010). *Respuesta del duraznero a diferentes patrones de aplicación del agua*. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental. 14(1): 17–24.
- Otárola A., Jaime, Salazar P., Carolina y Vergara V., Alexis (2020) *Cubiertas plásticas en la producción de cerezos: experiencias en la zona central de Chile* [en línea]. Rengo: Informativo INIA Rayentué. N° 72. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/67454> (Consultado: 20 marzo 2023).
- Pannunzio, A., Holzapfel, E., Fernandez Cirelli, A., Texeira, P., Souto, C. y Bryla, DR (2023) *Huella hídrica agrícola de arándanos Highbush del sur producidos comercialmente con riego por goteo y protección contra heladas por aspersión*. Ciencias Agrícolas, 14, 114-128.
- Pryor, S. (1988) *The silviculture and yield of wild cherry*. Gran Bretaña. Forestry Commission Bulletin 75. 23 p.
- Savill, P. (1991). *The silviculture of tree used in British Forestry*. Gran Bretaña. pp: 82- 85.
- Serrano, E., Torres, C., Prieto, M., Pérez, M., Serrano, P., (2018) *Manual práctico de Riego. Cerezo*. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX). Instituto de Investigación Agraria Finca “La Orden-Valdesequera”. Departamento de Hortofruticultura. Grupo de Riego y Nutrición. España.
- Smith, E. (2019) *Resistencia al frío y opciones para la protección contra congelamiento de arándanos del sur de Highbush*. Agricultura, 9, 9.

- Snyder, RL y Melo-Abreu, JP (2005) *Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics*, vol. 1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Strik, B. y Buller, G. (2005) *El impacto del cultivo temprano en el crecimiento y el rendimiento subsiguientes del arándano Highbush en los años de establecimiento en dos densidades de plantación depende del cultivo*. Hortciencia, 40, 1998-2001.
- Tagle, N., (2022) *Agricultores pueden ahorrar hasta un 40% el consumo hídrico y un 20% de energía con nuevas técnicas de riego*. Portal Agro, Chile.
- Tapia, C., Tapia, B., Aliaga, O., Vicencio, V., (2020) *Realidad, propuestas y consideraciones para el futuro de la producción de cereza en Chile*. Santiago, Chile.