

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



ANÁLISIS DE DISEÑO, MANEJO Y OPERACIÓN
DE SISTEMAS DE RIEGO EN FRAMBUESOS

FERNANDO ANDRÉS FERNÁNDEZ SÁNCHEZ

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

CHILLÁN-CHILE

2024

**ANÁLISIS DE DISEÑO, MANEJO Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE
RIEGO EN FRAMBUESOS**

Aprobado por:

Eduardo Holzapfel H.
Ing. Agónomo, Ph. D.
Profesor Titular

Profesor Guía

Camilo Souto E.
Ing. Civil Agrícola, Ph. D.
Profesor Asistente

Profesor Asesor

Viviana Gavilán P.
Ing. Civil Agrícola, Mg.
Profesor Instructor

Evaluador Externo

José Luis Arumí R.
Ing. Civil, Ph. D.
Profesor Titular

Director de Departamento

María González Rodríguez R.
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
Profesor Asociado

Decana

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por brindarme la invaluable oportunidad de estudiar en la Universidad de Concepción. Su guía y bendiciones han sido fundamentales en este viaje académico, llenándolo de significado y propósito.

Agradezco de corazón a mi madre, Sandra, cuyo apoyo incondicional ha sido un pilar fundamental a lo largo de este proceso universitario. Su dedicación, amor y aliento constante han sido las motivaciones más hermosas que me han impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más desafiantes.

A cada uno de los miembros de mi familia, quiero expresar mi profundo agradecimiento. Su respaldo ha sido un apoyo fundamental, y la presencia de cada uno ha enriquecido esta experiencia universitaria de una manera única e invaluable.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a cada uno de mis amigos: Diego Palma (“Wacho”), Jairo Moena, Esteban Bastías, Matías Fuentealba (“Pichón”), Constanza Venegas, José Rivera (“pepe”), Sebastián Venegas y Nicolás Venegas quienes me animaron y aconsejaron, lo que fue fundamental durante mi periodo académico brindándome alegría y aliento en cada paso. Estoy profundamente agradecido por contar con amigos tan valiosos en mi vida.

Agradezco a mi "polola" Carolaine Bravo, quien ha dedicado tiempo y esfuerzo para infundirme ánimo y entusiasmo.

A mis profesores guía, Dr. Eduardo Holzapfel, Dr. Camilo Souto y Viviana Gavilán, les agradezco por su orientación y apoyo constante. Su experiencia y dedicación han sido cruciales en mi desarrollo académico.

Finalmente, quiero reconocer al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM) (ANID/FONDAP/15130015) por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo mi investigación. Su apoyo ha sido esencial para el desarrollo y éxito de este proyecto.

ÍNDICE DE MATERIAS

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 1 |
| SUMMARY | 3 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 5 |
| 2. OBJETIVOS..... | 9 |
| 2.1. Objetivo general..... | 9 |
| 2.2. Objetivos específicos | 9 |
| 3. ANTECEDENTES GENERALES..... | 10 |
| 4. MÉTODOLOGIA | 17 |
| 4.1. Sitio de estudio | 17 |
| 4.2. Caracterización del suelo..... | 18 |
| 4.3. Descripción y evaluación del sistema de riego | 20 |
| 4.4. Determinación de los coeficientes (F_1 y F_2) | 23 |
| 4.5. Producción de la frambuesa variedad Dolomia | 27 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 27 |
| 5.1. Análisis Fundo Santa Sara | 27 |
| 5.1.1. Parámetros físicos-hídricos del suelo de cada sector..... | 27 |
| 5.1.2. Evaluación del sistema de riego en los sectores C, D, y E..... | 28 |
| 5.1.3. Agua aplicada en los sectores del Fundo Santa Sara..... | 30 |
| 5.1.4. Análisis del riego de los Sectores del Fundo Santa Sara mediante imágenes satelitales..... | 33 |
| 5.1.5. Comparación de agua aplicada y demanda en el Fundo Santa Sara | 35 |
| 5.2. Análisis Fundo Monterrico | 42 |
| 5.2.1. Parámetros físicos-hídricos del suelo en el sector “cuartel 4” | 42 |

| | |
|---|----|
| 5.2.2. Evaluación del sistema de riego..... | 43 |
| 5.2.3. Agua Aplicada en el Fundo Monterrico..... | 46 |
| 5.2.4. Análisis del riego en el Sector del Fundo Monterrico mediante imágenes satelitales..... | 49 |
| 5.2.5. Comparación de agua aplicada y demanda en el Fundo Monterrico.... | 50 |
| 5.3. Factores de demanda asociados al cultivo | 54 |
| 6. CONCLUSIÓN..... | 57 |
| 7. LITERATURA CITADA | 59 |
| 8. ANEXOS..... | 62 |

ÍNDICE DE TABLAS

| En el texto | | Página |
|-------------|---|--------|
| Tabla 1. | Detalle de otras variedades de frambueso y los respectivos programas de Origen | 29 |
| Tabla 2. | Registros del Rendimiento (Kg/ ha) de variedades de frambuesa en la región de Ñuble y Bío-Bío..... | 30 |
| Tabla 3. | Propiedades físico-hídricas del suelo para el Fundo Santa Sara, sectores “C”, “D” y “E”. Contenidos gravimétricos de capacidad de campo (θ_{CC}), punto marchitez permanente (θ_{PMP}), densidad aparente (ρ_{ap}), textura y profundidad radicular del cultivo (Z)..... | 42 |
| Tabla 4. | Aforo de los emisores del sistema de riego a una distancia de 0, 24, 48, 72, 96 y 120 m. para la superficie plantada con la variedad Dolomia en el Fundo Santa Sara, registro del Tiempo (t), volumen (vol.) y caudal (Q)..... | 43 |
| Tabla 5. | Propiedades físico-hídricas del suelo para el Fundo Monterrico, cuartel 4. Contenidos gravimétricos de capacidad de campo (θ_{CC}), punto marchitez permanente (θ_{PMP}), densidad aparente (ρ_{ap}), textura y profundidad radicular del cultivo (Z)..... | 57 |
| Tabla 6. | Aforo de los emisores del primer, segundo y tercer tercio del tramo, en hileras ubicadas en diferentes sectores del cuartel 4, perteneciente a la superficie plantada con la variedad Dolomia en el Fundo Monterrico, registro del tiempo (t) y caudal (Q)..... | 58 |
| Tabla 7. | Valores obtenidos de los factores de demanda asociados al cultivo en los sectores del Fundo Santa Sara equipados con 2 y 3 laterales..... | 69 |

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 8. | Valores obtenidos de los factores de demanda asociados al cultivo en los sectores del Fundo Santa Sara equipados con 2 y 3 laterales | 69 |
|----------|--|----|

| | |
|-------------|--------|
| En el Anexo | Página |
|-------------|--------|

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla A1. | Datos de ETc obtenidos mediante imágenes satelitales en el Fundo Santa Sara durante la temporada 2022/ 2023, sector Laja | 80 |
|-----------|--|----|

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabla A2. | Datos de ETc obtenidos mediante imágenes satelitales en el Fundo Monterrico durante la temporada 2022/ 2023, sector Pinto | 81 |
|-----------|---|----|

ÍNDICE DE FIGURAS

| En el texto | | Página |
|-------------|--|--------|
| Figura 1. | Frambuesa de la variedad 'Heritage' (A) y 'Meeker' (B). Fuente: Manual Digital de Frambuesas y Frutillas en Chile, 2015..... | 26 |
| Figura 2. | Proporción de la superficie plantada con distintas variedades de frambuesa roja en Chile. Fuente: Manual Digital de Frambuesas y Frutillas en Chile, 2015..... | 27 |
| Figura 3. | Sitio de estudio de los huertos de frambuesos: Fundo Santa Sara (A) y Fundo Monterrico (B). Fuente: Elaboración propia..... | 31 |
| Figura 4. | Calicata (A) en uno de los sectores del Fundo Santa Sara, donde se extrajeron muestras de suelo (B)..... | 33 |
| Figura 5. | Calicata en el sector del Fundo Monterrico, de donde se extrajeron las muestras del suelo..... | 34 |
| Figura 6. | Aforo en una de las líneas de riego en el Fundo Santa Sara..... | 35 |
| Figura 7. | Aforo a una de las líneas de riego ubicadas en el cuartel 4 del Fundo Monterrico..... | 36 |
| Figura 8. | Plano del diseño del sistema de riego del Fundo Santa Sara (Comfrut Nursery) correspondiente a la superficie total de la plantación de frambuesos..... | 36 |
| Figura 9. | Plano del diseño del sistema de riego para el Fundo Monterrico se muestra el área de estudio demarcada de color rojo (2,39 ha)..... | 37 |
| Figura 10. | Representación del caudal aplicado (Q) respecto a la distancia (m) a lo largo de los laterales seleccionados de los sectores "C" y "E"..... | 44 |
| Figura 11. | Cantidad de agua aplicada semanalmente (Ap) a la plantación de frambuesos en los sectores "C", "D" y "E" a lo largo del mes de octubre..... | 45 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 12. | Cantidad de agua aplicada semanalmente (Ap) a la plantación de frambuesos en los sectores “C”, “D” y “E” a lo largo del mes de noviembre..... | 45 |
| Figura 13. | Cantidad de agua aplicada semanalmente (Ap) a la plantación de frambuesos en los sectores “C”, “D” y “E” a lo largo del mes de diciembre..... | 46 |
| Figura 14. | Cantidad de agua aplicada semanalmente (Ap) a la plantación de frambuesos en los sectores “C”, “D” y “E” a lo largo del mes de enero..... | 47 |
| Figura 15. | Antecedentes de evapotranspiración obtenida mediante imágenes satelitales (ETc) perteneciente a los sectores “C”, “D” y “E” desde octubre hasta enero..... | 49 |
| Figura 16. | Comparación y variación semanal (la flecha roja muestra el exceso y la negra el déficit) entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y la cantidad de agua aplicada (Ap) en el sector “C” desde octubre a enero..... | 50 |
| Figura 17. | Comparación y variación semanal (la flecha roja muestra el exceso y la negra el déficit) entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y la cantidad de agua aplicada (Ap) en el sector “D” desde octubre a enero..... | 51 |
| Figura 18. | Comparación y variación semanal (la flecha roja muestra el exceso y la negra el déficit) entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y la cantidad de agua aplicada en el sector “E” desde octubre a enero..... | 51 |
| Figura 19. | Representación de la Evapotranspiración de cultivo (ETc) y la evapotranspiración actual (ETa) para 2 laterales en comparación con el agua aplicada en el sector “C” y “D” durante el mes de diciembre y enero..... | 52 |
| Figura 20. | Representación de la Evapotranspiración de cultivo (ETc) y la evapotranspiración actual (ETa) para 3 laterales en comparación con el agua aplicada en el sector “E” durante el mes de diciembre y enero..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 21. Balance diario del contenido de humedad del suelo del sector "C" (θ) durante dos semanas de diciembre (Cont.Dic) y enero (Cont.Ene.), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%..... | 54 |
| Figura 22. Balance diario del contenido de humedad del suelo del sector "D" (θ) durante dos semanas de diciembre (Cont.Dic) y enero (Cont.Ene.), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%..... | 55 |
| Figura 23. Balance diario del contenido de humedad del suelo del sector "E" (θ) durante dos semanas de diciembre (Cont.Dic) y enero (Cont.Ene.), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%..... | 55 |
| Figura 24. Representación del caudal aplicado (Q) a lo largo del lateral de la hilera donde está ubicada la válvula del cuartel 4..... | 58 |
| Figura 25. Representación del caudal aplicado (Q) a lo largo del lateral de la hilera central de la plantación de frambuesos del Cuartel 4..... | 59 |
| Figura 26. Representación del caudal aplicado (Q) a lo largo del lateral de la última hilera de la plantación de frambuesos del Cuartel 4..... | 60 |
| Figura 27. Representación del agua aplicada (Ap) al frambueso en el cuartel 4 durante el mes de octubre, con una frecuencia de riego de tres veces por semana | 61 |
| Figura 28. Representación del agua aplicada (Ap) al frambueso en el cuartel 4 durante el mes de noviembre, con una frecuencia de riego de tres veces por semana | 61 |
| Figura 29. Representación del agua aplicada (Ap) al frambueso en el cuartel 4 durante el mes de diciembre, con un de riego asignado tres veces por semana..... | 62 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 30. | Representación del agua aplicada (Ap) al frambueso en el cuartel 4 durante el mes de enero, con una frecuencia de riego de tres veces por semana..... | 62 |
| Figura 31. | Antecedentes de evapotranspiración obtenida mediante imágenes satelitales (ETc) perteneciente al sector del cuartel 4 desde octubre hasta enero..... | 63 |
| Figura 32. | Comparación y variación semanal (la flecha roja muestra el exceso y la negra el déficit) entre la evapotranspiración de Cultivo (ETc) y el riego aplicado en el cuartel 4..... | 64 |
| Figura 33. | Representación de la Evapotranspiración de cultivo (ETc) y la evapotranspiración actual (ETa) en comparación con el agua aplicada en el mes de diciembre y enero..... | 65 |
| Figura 34. | Balance diario del contenido de humedad del suelo del cuartel 4 (θ) durante dos semanas de diciembre (Cont.Dic), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%..... | 67 |
| Figura 35. | Balance diario del contenido de humedad del suelo del cuartel 4 (θ) durante dos semanas de enero (Cont.Ene), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%..... | 67 |

| En el Anexo | Página | |
|-------------|--|----|
| Figura A1. | Sector “D” del Fundo Santa Sara, muestras del perfil de suelo, antes de comenzar la temporada..... | 77 |
| Figura A2. | Hilera 3 del sector “C” del Fundo Santa Sara, aforo de las líneas de riego. | 77 |
| Figura A3. | Tranque que abastece a la plantación de frambuesos (I) junto a la caseta de riego (II) del Fundo Monterrico..... | 78 |
| Figura A4. | Mapa de evapotranspiración obtenida mediante imágenes satelitales del sector del Fundo Santa Sara desde octubre a enero, temporada 2022/ 2023..... | 78 |

| | |
|---|----|
| Figura A5. Mapa de evapotranspiración obtenida mediante imágenes satelitales del sector del Fundo Monterrico, temporada 2022/ 2023..... | 79 |
|---|----|

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | Página |
|---|--------|
| Ecuación 1: Evapotranspiración de cultivo (opción 1)..... | 37 |
| Ecuación 2: Evapotranspiración de cultivo (opción 2)..... | 38 |
| Ecuación 3: Evapotranspiración de cultivo (opción 3)..... | 38 |
| Ecuación 4: Factor de riego teórico..... | 38 |
| Ecuación 5: Determinación del factor de riego..... | 39 |
| Ecuación 6: Determinación del coeficiente de demanda F_1 | 39 |
| Ecuación 7: Determinación del coeficiente de demanda F_2 | 40 |
| Ecuación 8: Determinación de la Evapotranspiración de actual..... | 40 |

ANÁLISIS DE DISEÑO, MANEJO Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO EN FRAMBUESOS

ANALYSIS OF DESIGN, MANAGEMENT AND OPERATION OF RASPBERRY IRRIGATION SYSTEMS

Palabras claves: Microriego, c.v. Dolomia, evapotranspiración, imágenes satelitales, factor de demanda.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el manejo y operación del riego en la aplicación de agua y el efecto en la producción del frambueso de variedad Dolomia. El estudio se llevó a cabo en dos huertos regados por microriego que están ubicados en la Región del Biobío (Fundo “Santa Sara”) y Ñuble (Fundo “Monterrico”), respectivamente. En Santa Sara se aplicó un tiempo de riego (Tr) que varió entre 9 a 120 min diarios, mientras que en Monterrico el Tr varió entre 5 y 6 horas con una frecuencia de 2 a 3 veces por semana. Se analizó la eficiencia de aplicación del sistema de riego y el efecto de 2 y 3 laterales de riego, en la determinación de los factores de demanda F_1 y F_2 para los meses de diciembre y enero, usando la evapotranspiración de referencia desde estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de estudio y los obtenidos mediante imágenes satelitales. Los resultados mostraron que la variación del caudal aplicado entre el primero y el último gotero de los laterales fue de 99% y 12% en los sitios del Fundo Santa Sara y Monterrico, respectivamente. Los valores de los factores para dos laterales fueron $F_1= 0,0101$ y $F_2= 0,11$ y para tres laterales $F_1= 0,0096$ y $F_2= 0,132$ en el sitio Santa Sara, mientras que para

el sitio de Monterrico fueron $F_1= 0,009$ y $F_2= 0,11$. Estos Parámetros son representativos del frambueso durante el periodo de análisis, ya que, consideran las condiciones climáticas de la zona y la etapa fenológica del cultivo.

ANALYSIS OF DESIGN, MANAGEMENT AND OPERATION OF RASPBERRY IRRIGATION SYSTEMS

Keywords: Micro-irrigation method, c.v. Dolomia, evapotranspiration, satellite images, demand factors.

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate irrigation management and operation in water application and the effect on production of the Dolomia raspberry variety. The study was carried out in two orchards irrigated by micro-irrigation. A and B are located in the Biobío Region (Fundo "Santa Sara") and Ñuble (Fundo "Monterrico"), respectively. In Santa Sara, irrigation time (T_r) varied between 9 and 120 min with a daily irrigation, while in Monterrico the T_r varied between 5 and 6 hours with a frequency of 2 to 3 times per week. The application efficiency of the irrigation system and the effect of 2 and 3 irrigation laterals were analyzed in determining the F_1 and F_2 demand factors for the months of December and January, using reference evapotranspiration from meteorological stations near the study sites and those obtained from satellite images. The results showed that the variation of the applied flow rate between the first and the last dripper at the laterals was 99% and 12% at sites Santa Sara and Monterrico, respectively. The factor values for two laterals were $F_1=0.0101$ and $F_2=0.11$ and for three laterals $F_1=0.0096$ and $F_2=0.132$ at site Santa Sara, while for site Monterrico were $F_1=0.009$ and $F_2=0.11$. These

parameters are representative of the raspberry during the period of analysis, since they take into account the climatic conditions of the area and the phenological stage of the crop.

1. INTRODUCCIÓN

La frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) es un arbusto frutal de cañas que pertenecen a la familia Rosácea y al género *Rubus*. Al igual que las zarzamoras, las moras cultivadas y muchas otras especies silvestres del mismo género, las frambuesas crecen naturalmente en zonas templadas y frías de Europa, Asia y Norteamérica, principalmente entre las latitudes 35° y los 45° Norte de donde son originarias. La frambuesa fue traída a Chile hacia fines del siglo XIX por inmigrantes alemanes que se establecieron a orillas del Lago Llanquihue, en la actual Región de los Lagos (Sudzuki, 1981), sin embargo, su explotación comercial se inicia en los años 1980 y 1990 con la introducción a Chile de cultivares como Glen Clova, Willamette, Heritage y Meeker (Bañados, 2002).

Chile tiene una superficie cultivada con frambuesas cercana a las 12000 ha (Merlet, 2016; Alcayaga, 2020), las que se encuentran mayoritariamente en las Regiones del Maule y del Biobío, seguidas por Los Lagos y la Araucanía. La producción nacional fluctúa entre las 40.000 y las 60.000 ton años⁻¹, las que se producen entre los meses de diciembre y abril de cada año, y se destina principalmente el 85% al mercado de exportación como fruta congelada. La exportación como fruta fresca es actualmente muy limitada y no supera el 1% del volumen total producido en el país, situación que fue muy distinta entre los años 1995 y 2005, donde llegó a representar cerca del 10% del volumen. El consumo interno ha ido en aumento en los últimos diez años y representa

cerca del 5% de la producción nacional; siendo cada vez más común encontrarse con jugos de frambuesas, mermeladas, pasteles y algo de fruta fresca y congelada en restaurantes y supermercados de las distintas zonas de nuestro país, lo que en el pasado estaba limitado solo a la región de Los Lagos, y a los salones de té de origen alemán (Bañados et al. 2015).

La producción de frambuesas en Chile está principalmente en manos de la agricultura familiar campesina (AFC) de nuestro país. Se cultiva en pequeñas unidades que no superan las 0,3 a 1 ha de terreno y que en la mayoría de los casos es un complemento del ingreso familiar (Ramírez, 2019). La principal variedad cultivada actualmente en Chile es 'Heritage' (80% de la superficie), una variedad remontante que se ha adaptado muy bien a la zona. Le sigue en importancia la variedad 'Meeker' que se cultiva en huertos de mayores extensiones en la zona sur, principalmente en la región de Los Lagos (González y Céspedes, 2010).

Sin embargo, actualmente la variedad Dolomia es una de las más productivas a nivel nacional, esta variedad proviene de Italia de la localidad de Sant' Orsola Terme, desde su establecimiento comercial el año 2014 ha mostrado muy buena adaptación a las condiciones edafoclimáticas presentes desde zonas de Curicó a Los Ángeles (donde se encuentra establecida hasta la actualidad). El formato de planta es de brote etiolado, delicada pero que destaca por tener un gran vigor, tanto en la primera como en la segunda flor o renuevos remontantes, llegando a producir en huertos comerciales sobre las 15

toneladas por hectárea. En comparación con otras variedades como Heritage, Meeker, Regina, etc., Dolomia se posiciona como una de alto requerimiento hídrico, nutricional y de manejo agronómico, por lo cual es un trabajo metódico y constante en el tiempo. Dentro de las características de su fruto, destaca la mayor resistencia a la sobre madurez, siendo una ventaja frente a otras variedades, permitiendo cosechar con más espaciamento en cuanto a tiempo. Por otra parte, su fruta es notoriamente mayor en cuanto a tamaño y peso. Por ejemplo, si un fruto Heritage está en promedio en 1,5 a 2,5 gramos, Dolomia puede producir frutos de 8 a 9 gramos. Algunas de las características mencionadas son muy relevantes en estos tiempos, ya que los desafíos productivos no solamente engloban realizar buenos manejos, sino que también poseer una variedad que afronte de mejor manera las situaciones de la temporada como las altas temperaturas, frecuencia de cosechas y el efecto de las plagas en la fruta.

Normalmente el manejo del agua en frambuesos se realiza mediante surcos o microriego (goteo, microaspersión, microjet o cinta), los cuales deben permitir que el cultivo reciba la cantidad de agua adecuada puesto que un déficit afecta la producción y el crecimiento vegetativo, mientras que los excesos de agua favorecen el ataque de hongos.

La zona de mayor absorción de agua (profundidad de raíces efectivas) se encuentra generalmente en los primeros 0.25 m del perfil del suelo. La planta se adapta a variados tipos de suelo, obteniéndose los mejores resultados en

suelos profundos y bien drenados. Se logran mejores resultados en suelos con alto contenido de materia orgánica (Undurraga y Vargas, 2013).

Los factores que determinan el consumo de agua de los frutales están definidos por la edad, tipo de frutal y su variedad, estado de desarrollo, volumen del sistema radical extractantes y por el clima. Esto implica que la cantidad de agua que se debe aplicar es variable, lo que traduce un cambio en la frecuencia y/o el tiempo de riego, en la medida que el frutal está más desarrollado (Holzapfel et al. 2021).

Es por esto que el presente estudio considera un análisis para mejorar el diseño y manejo del sistema de riego por goteo en frambuesos. Para esto se tomó como estudio de caso el frambueso variedad Dolomia, permitiendo así una comprensión más profunda y específica de los desafíos y oportunidades relacionados con el riego en este tipo de cultivo.

A través de la investigación y el análisis de la distribución de agua, y otros aspectos clave del sistema de riego, se pretende identificar mejoras y proponer soluciones que optimicen la utilización de los recursos hídricos, promoviendo al mismo tiempo un mejor desarrollo y una mayor productividad de los frutos de la variedad Dolomia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar el diseño, operación y manejo de microriego en frambuesos variedad Dolomia

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el sistema de microriego utilizado en el sitio de estudio.
- Determinar la evapotranspiración de cultivo en un huerto de frambuesas utilizando imágenes satelitales.
- Desarrollar un modelo de demanda de agua en función del porcentaje de cobertura en un huerto de frambuesas.
- Analizar el manejo y operación del sistema de microriego y su efecto en la producción de frambuesas.

3. ANTECEDENTES GENERALES

Características generales de la planta de Frambuesa

La frambuesa es un arbusto perenne (que dura varios años bajo cultivo) de hoja caduca y con tallos o cañas de hábito bienal, es decir que duran solo dos temporadas o ciclos vegetativos y luego mueren. La planta tiene la capacidad de renovar anualmente sus tallos a partir de yemas originadas en las raíces lo que le permite vivir muchos años (Bañados, 2002; Bañados et al. 2015).

La parte radical, que crece bajo el suelo es perenne, permaneciendo funcional por varios años dependiendo de los cuidados que se tengan con ella y de su sanidad. La parte radical y la zona de remplazo de la planta son el punto de origen de los nuevos tallos de la parte aérea y por lo tanto son la base de la renovación de los huertos. Dividiremos la descripción de la planta en la parte aérea, que crece sobre el suelo, y el sistema radical que crece bajo el suelo (Bañados, 2002; Bañados et al. 2015).

Parte aérea

La parte aérea de la planta de frambuesa es la porción que crece sobre el nivel del suelo, y está compuesta por las siguientes partes u órganos:

1. Tallos de distintas edades.
2. Hojas que están presentes durante la primavera y el verano en tallos de la temporada.
3. Yemas laterales de los tallos.

4. Flores y frutos.

Dependiendo de la época del año podremos encontrar solo parte o la totalidad de estos órganos en la planta y en los huertos (Bañados et al, 2015).

Sistema radical

El sistema radical de la frambuesa es perenne y está constituido por la corona y las raíces. Las raíces de la planta de frambuesa son finas, superficiales y fibrosas. Una característica particular es que presentan numerosas yemas adventicias desde donde se originan los retoños, otorgándoles la capacidad de colonizar los lugares en forma de círculo. La longevidad del huerto de frambuesa dependerá de la sanidad y vigor del sistema radical, el que puede durar más de 20 años si es sano. En cambio, si las raíces se infectan con hongos, bacterias o insectos, su longevidad se verá reducida en forma importante pudiendo durar solo unos pocos años (Bañados, 2002; García et al. 2014).

ANÁLISIS DE VARIEDADES DE FRAMBUESAS EN CHILE

Actualmente existe un gran número de variedades comerciales de frambuesa en el mundo, las que se clasifican de acuerdo a su hábito de producción en remontantes o no –remontantes (Sudzuki, 1981; Bañados, 2002), o en su aptitud para mercado fresco o procesado. La elección de una variedad va a depender de muchos factores entre los que se cuentan las características de sus frutos, la época de cosecha, el objetivo de la producción, el hábito de

crecimiento, la flexibilidad en su producción, el vigor de los tallos, la productividad, la sensibilidad y tolerancia a diversas enfermedades, y el mercado de destino, entre otros (Morales A. et al. 2017).

Las variedades más comunes de frambuesas en Chile y las que se encuentran en mayor superficie son las frambuesas rojas “Heritage” que ocupa el 82% de la superficie nacional plantada, y “Meeker” con un 8% de la superficie (Undurraga y Vargas, 2013), es una variedad que se adapta bien a zonas más frescas como lo es el sur del país. Le siguen muy de lejos Amity, Autumn Bliss, Chilliwack y Tulameen (Figura 1) las que se encuentran solo en pequeñas cantidades y han ido desapareciendo lentamente de los huertos de Chile (Bañados, 2002; Bañados et al. 2015).

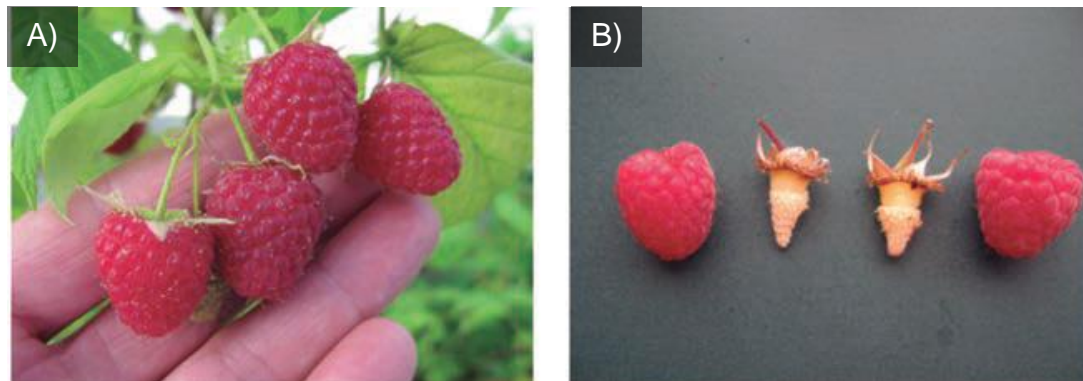


Figura 1. Frambuesa de la variedad ‘Heritage’ (A) y ‘Meeker’ (B).
Fuente: Manual Digital de Frambuesas y Frutillas en Chile, 2015.

Es muy probable sin embargo que el panorama varietal en Chile cambie en los próximos años, con la introducción al país (2008 a 2013) de nuevas variedades de frambuesa entre las cuales se cuentan Amira, Regina, Sugana, Himbotop

y Coho. Estas variedades están ya en manos de numerosos pequeños productores de la Región del Maule y del Biobío, y a diferencia de otros casos la transferencia de estos nuevos materiales genéticos ha sido muy rápida y ha abarcado distintas comunas de esas regiones (Bañados, 2002; Bañados et al. 2015).

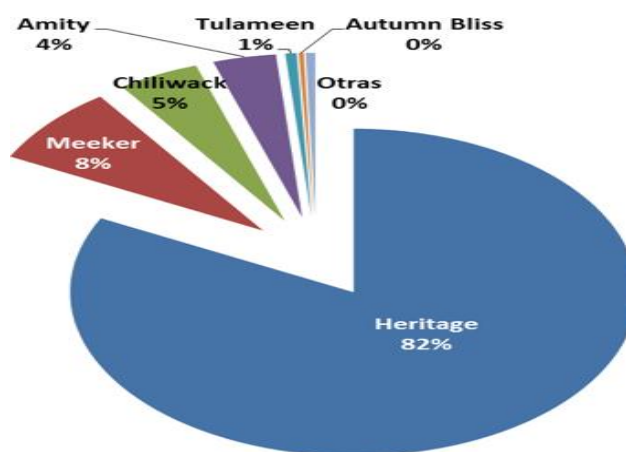


Figura 2. Proporción de la superficie plantada con distintas variedades de frambuesa roja en Chile. Fuente: Manual Digital de Frambuesas y Frutillas en Chile, 2015.

Variedades Remontantes y No Remontantes

Han sido diversas las variedades introducidas al país, inicialmente con el fin de competir en la industria para fresco con envíos aéreos a los mercados de destino, luego alternativas con mejor comportamiento en postcosecha con fruta más firme, homogénea en color y tamaño (Morales A. et al. 2017).

Las remontantes corresponden a aquellas que florecen en cañas y en retoños durante la misma temporada. Poseen dos cosechas en la temporada. Entre

las más importantes, respecto a la superficie establecida destacan: Heritage, Ruby, Autumn Bliss, Amity, Santa Catalina, Santa Clara y Santa Teresa (Bañados, 2002; Morales A. et al. 2017).

La variedad no remontante solo produce primordios florales en cañas y presentan solo una cosecha en la temporada, de las cuales son: Meeker, Chilliwack, Comox, Coho, Tulameen, Glen Magna, Glen Ample y Skeena (Bañados, 2002; Morales A. et al. 2017)

Nuevas variedades disponibles en Chile

En la actualidad, hay nuevas variedades de plantas disponibles en Chile que han sido desarrolladas por centros generadores. Estas variedades destacan por su calidad de fruto, siendo más grandes y atractivas en color. Además, muchas de estas variedades tienen un mejor sabor, con un equilibrio entre dulzura y acidez (Undurraga y Vargas, 2013; Bañados et al. 2015). En cuanto a las características vegetativas, se prefieren cañas robustas y sin espinas para facilitar la cosecha mecánica y reducir el daño a la fruta. Sin embargo, es crucial evaluar su adaptabilidad al clima y suelo chileno antes de recomendarlas para el cultivo (Undurraga y Vargas, 2013). Algunas de estas variedades están protegidas por el servicio agrícola y ganadero y pueden tener limitaciones en su comercialización debido al pago de regalías (Bañados et al. 2015).

Tabla 1. Detalle de otras variedades de frambueso y los respectivos programas de origen.

| Variedad | Programa |
|--|---|
| Amira, Regina | Berry plant, Italia. |
| Dolomia, Lagorai y Vajolet | Sant´ Orsola, Italia. |
| Ambrosia, Cardinal, Maravilla, Camina, Carmelina, Dulcita, Francesca y Madonna | Driscoll´s Strawberry Associates Inc, USA. |
| Erika | Centro di Ricerca per la Fruticoltura, Italia |
| Lupita y Adelita | Planasa, España |
| Chemainus, Cowichan, Malahat y Saanich | British Columbia, Canada |
| Cascade Delight, Cascade Dawn y Cascade Bounty | Wester Washington Research Centre |
| Isabel | California, USA |
| Anne Josephine y Caroline | Maryland, USA |
| Sugana | Lubera Breeding Ag, Inglaterra |
| Esquimalt | Corvallis, USA. |
| Glen Doll, Glen Lyon, Glen Rosa y Glen Shee. | Scottish Raspberry Breeding Consortium, UK |

Fuente: Manual de manejo agronómico del frambueso, 2017

Rendimiento de las variedades de frambuesa en Ñuble y Bío-Bío

Según la información de las fichas técnicas proporcionadas por INDAP, el rendimiento del cultivo de frambueso varía según la variedad, entre 5000 y 8000 kg/ha en las regiones de Ñuble y Bío-Bío, a continuación, se muestran rendimientos de diferentes variedades presentes en distintas localidades durante la temporada 2022/ 2023.

Tabla 2. Registros del Rendimiento (Kg/ ha) de variedades de frambuesa en la región de Ñuble y Bío-Bío.

| Región | Comuna/Localidad | Variedad | Rendimiento (Kg/ha) |
|---------|---|-----------------|---------------------|
| | Bulnes-Quillón | Heritage-Meeker | 5000 |
| | Chillán-Todas las comunas del alrededor | Heritage-Meeker | 8000 |
| Ñuble | El Carmen-San Ignacio | Heritage | 8500 |
| | San Carlos | Heritage | 8000 |
| | Pemuco-Yungay | Heritage | 8000 |
| Bío-Bío | Los Ángeles | Heritage | 8000 |

Fuente: INDAP, 2023

4. MÉTODOLÓGIA

4.1. Sitio de estudio

El estudio se realizó en dos huertos destinados al cultivo de frambuesos de la variedad Dolomia, ubicados en la Región del Biobío y la Región de Ñuble (Fig.3, A). El Fundo Santa Sara perteneciente a Comfrut Nursery, ubicado en la comuna de Cabrero, con las coordenadas UTM 734154.47 E y 5880125.92 S, Huso 18 Datum WGS 84, El Fundo Monterrico (Fig.3, B) corresponde a la frutícola La Granja, localizado (camino Chillan – Pinto en el kilómetro 18) con las coordenadas UTM 235846.34 E y 5938798.05 S, Huso 19 Datum WGS 84. El estudio se lleva a cabo durante la temporada 2022-2023.

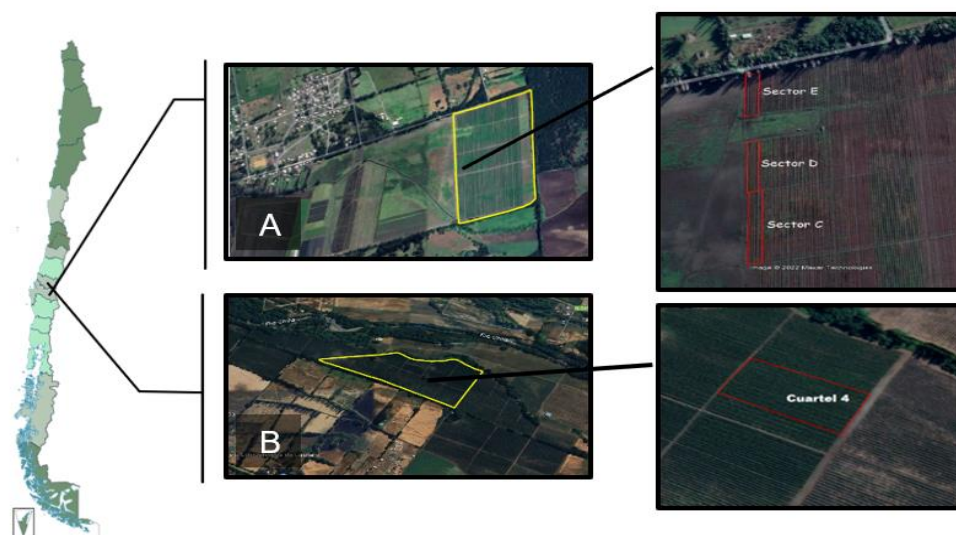


Figura 3. Sitio de estudio de los huertos de frambuesos: Fundo Santa Sara (A) y Fundo Monterrico (B). Fuente: Elaboración propia.

El Fundo Santa Sara (A) corresponde a 4433 m² (0.44 ha) donde están ubicadas las hileras con la variedad Dolomia, abarcando los sectores C, D y E

con una totalidad de 14 hileras con longitudes que van desde los 84 m hasta 134 m y un marco de plantación de 3 x 1. El Fundo Monterrico (B) corresponde una superficie de 23900 m² (2.39 ha), del cuartel 4 con 22 hileras de una longitud de 89 m y un marco de plantación de 3 x 1 m.

4.2. Caracterización del suelo

Para conocer las características físico-hídricas del suelo de cada sector, esto implicó la realización de calicatas con una profundidad estándar de 60 cm, donde las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas con a lo menos un kilo de suelo, siendo llevadas al laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción. Se determinó la clase de textura a través del sistema U.S.D.A (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), capacidad de campo (*CC*), punto de marchitez permanente (*PMP*) y densidad aparente (ρ_{ap}).

Las técnicas que se utilizaron para determinar los parámetros físico-hídricos de las muestras de suelo de los sitios de estudio fue la cámara hidráulica (olla de presión) para obtener la curva de retención de agua en el suelo, descrito en el texto de Métodos de Análisis Físicos de Suelos desarrollado por Sandoval et al. (2012).

El suelo es un espacio poroso que presenta una fase sólida, líquida y gaseosa (Bear, 1972). El espacio vacío remanente de la matriz del suelo es donde se

almacena el agua y el aire adsorben e intercambian las raíces de las plantas se denomina espacio poroso (EP).

El principio de la metodología para determinar la curva característica tiene como objetivo equilibrar las muestras de suelo a distintas tensiones, lo que se alcanza cuando el medio poroso deja de perder agua. Es así como de acuerdo con la ecuación de ascenso capilar y expresando los contenidos de agua en base a volumen (θ), si un suelo saturado con agua es equilibrado a una tensión de 60 hPa, se puede determinar el volumen de poros de drenaje rápido (PDR), y a 330 hPa (0,33 atmosferas, al valor clásico de la capacidad de campo) los poros de drenaje lento (PDL). Al conocer el contenido volumétrico de agua (θ) retenida a 330 y 15430 hPa se determina el volumen de poros de agua útil (PAU); finalmente, el volumen de poros de agua inútil (PAI) corresponde al contenido volumétrico de agua 15430 (Sandoval et al. 2012).



Figura 4. Calicata (A) en uno de los sectores del Fundo Santa Sara, donde se extrajeron muestras de suelo (B).



Figura 5. Calicata en el sector del Fundo Monterrico, de donde se extrajeron las muestras del suelo.

4.3. Descripción y evaluación del sistema de riego

El suministro de agua a las plantas de frambuesa se realiza mediante el método de riego por goteo superficial en ambos sitios de estudio. En el caso del Fundo Santa Sara (Fig.4, A), los sectores C, D y E cuentan con dos laterales de riego por hilera, equipados con goteros autocompensado integrados de 2 L hr^{-1} , distribuidos a intervalos de 0,2 m. En el sector "E", se implementó una modificación adicional, que consistió en la instalación de un tercer lateral en el sector para evaluar su efecto en producción, en los meses de octubre a enero, se aplicó tiempos de riego en los sectores en un rango de 9 a 120 min con frecuencias diaria dependiendo de la demanda del cultivo.

En cuanto al Fundo Monterrico, (Fig.4, B) la superficie destinada a los cultivos de frambuesa cuenta también con dos laterales por hilera, goteros autocompensado integrados con un flujo de 2 L hr^{-1} , a intervalos de 0,2 m.

Durante la temporada, el tiempo de riego varió, entre 5 y 6 h con una frecuencia de 2 a 3 veces por semana.

La evaluación del riego por goteo se llevó a cabo a través del aforo de los emisores. Este procedimiento consistió en la medición del caudal de agua que fluye a través de cada gotero individual en el sistema de riego, seleccionando seis emisores en el primer, segundo y tercer tercios del lateral (18 emisores) en un intervalo de tiempo de 10 min, donde se registró la cantidad de agua recolectada en recipientes graduados, permitiendo así una apreciación de la distribución del agua a lo largo de las hileras de cultivo. Este análisis garantizó la obtención de datos confiables sobre la uniformidad de la aplicación de agua, dando a conocer el manejo del riego en los sectores de cada huerto.



Figura 6. Aforo en una de las líneas de riego en el Fundo Santa sara.



Figura 7. Aforo a una de las líneas de riego ubicadas en el cuartel 4 del Fundo Monterrico.

En la figura 8 y 9, se proporcionan los planos de cada huerto, los cuales ofrecen una representación visual del terreno

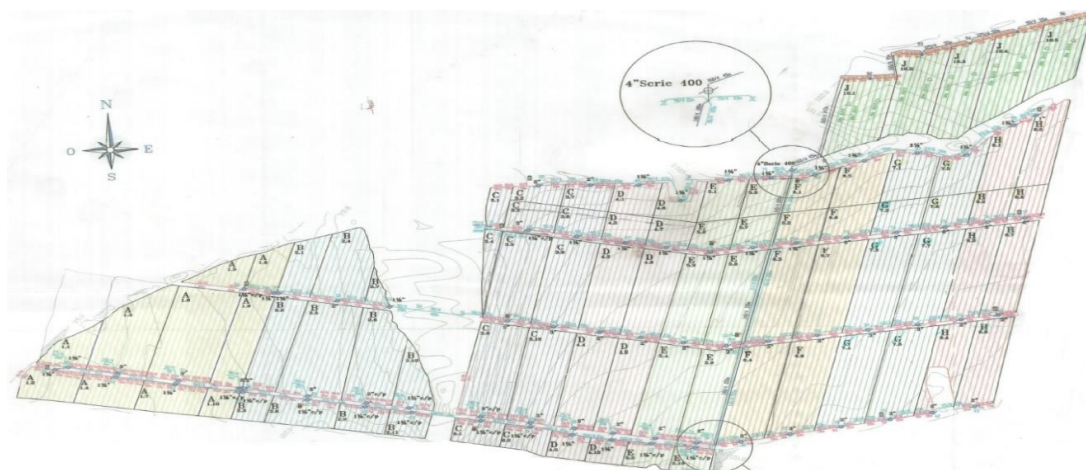


Figura 8. Plano del diseño del sistema de riego del Fundo Santa Sara (Comfrut Nursery) correspondiente a la superficie total de la plantación de frambuesos.

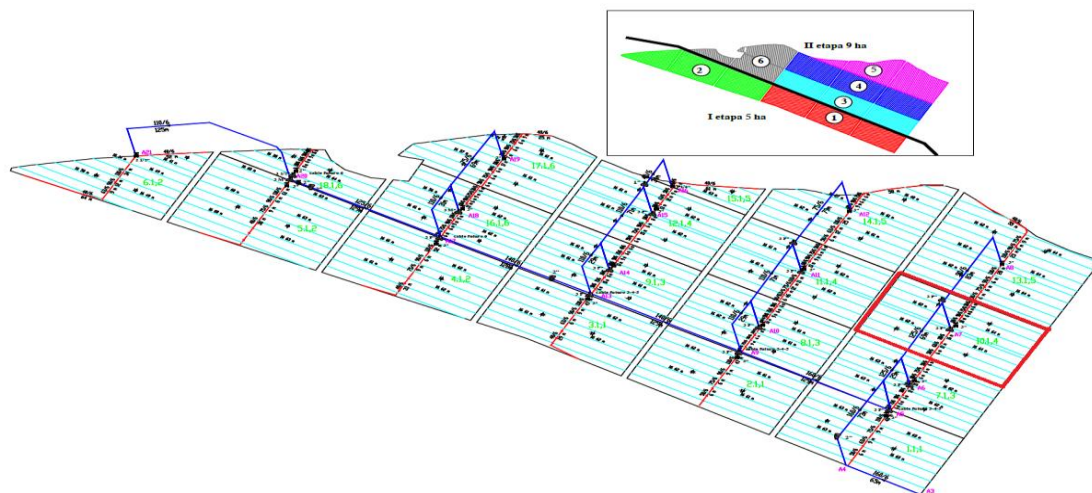


Figura 9. Plano del diseño del sistema de riego para el Fundo Monterrico se muestra el área de estudio demarcada de color rojo (2,39 ha).

4.4. Determinación de los coeficientes (F_1 y F_2)

La demanda de agua es crucial en la agricultura para una gestión eficiente del recurso y su productividad (Lorite et al, 2004; Santos et al. 2010; Levidow et al. 2014). Para la estimación de la cantidad de agua que requiere el frutal en los diferentes escenarios se utilizaron antecedentes de evapotranspiración (ET), con el objetivo de mejorar la gestión de la aplicación del riego (DeJonge et al. 2012; X. Li et al. 2012).

Existen varias aproximaciones para la determinación de requerimientos hídricos de la planta de los huertos frutales que se plantean en el escrito del Manual Riego y Drenaje desarrollado por Holzapfel et al. (2021) las cuales se muestran a continuación:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad [1]$$

$$ETc = ETo * Kc * Fc \quad [2]$$

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

$$Fc = F_1 * P + F_2 \quad [4]$$

Donde:

ETc : Evapotranspiración de cultivo (mm día⁻¹, mm mes⁻¹).

ETo : Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹, mm mes⁻¹).

Kc : El coeficiente de cultivo (adimensional).

Fc : Factor de riego.

F₁ y F₂ : Factores asociado al cultivo y métodos de riego.

P : Porcentaje de cobertura o sombreadamiento (20% < P < 70%).

Para este estudio se utilizaron las Ecuaciones (3) y (4) que nos permitió obtener los factores de demanda del frambueso bajo condiciones de 2 y 3 laterales para los meses de diciembre y enero del 2022/2023.

Para los antecedentes de evapotranspiración de referencia (ETo) se extrajeron de la base de datos de la red agrometeorológica del INIA (<https://agrometeorologia.cl>), seleccionando específicamente las estaciones meteorológicas La Colonia, Human y Yungay, ubicadas a distancias de 22.87, 28.3 y 31.65 km del sitio Fundo Santa Sara, respectivamente. En cuanto a las estaciones para el Fundo Monterrico fueron, Santa Rosa y Mayulermo, que se ubican a distancias de 14.20 y 18.46 km, respectivamente. Mientras que, para la obtención de los datos de la evapotranspiración de cultivo (ETc) se utilizaron

imágenes Satelitales que permitieron la generación de mapas de evapotranspiración generados a partir del satélite Landsat 8 y 9, con una frecuencia de 5 días, con una resolución espacial (tamaño del píxel) de 30 x 30 m, con los cuales es posible capturar la respuesta del cultivo frente a las prácticas de manejo adoptadas en la temporada de riego dependiendo del tipo de cultivo (Gavilán, 2019).

Estimación de los Coeficientes de demanda para 2 laterales

Con los antecedentes de ET_o y ET_c del predio Santa Sara y Monterrico se estimó el factor de riego para los días correspondientes a diciembre y enero, calculado a partir de la Ecuación (3):

$$F_c \text{ calculado} = \frac{ET_c}{ET_o} \quad [5]$$

Con los valores de F_c de cada día, se estimó el factor F_1 que se despejó de la Ecuación (4):

$$\frac{F_c \text{ calculado} - F_2}{P} = F_1 \text{ promedio} \quad [6]$$

En la Ecuación (6) el F_2 se consideró con un valor teórico para frutales de 0,11 asociado a riego por goteo, mientras que, P fue considerado igual a 70% asociado a la etapa fenológica del cultivo en los meses de máxima demanda. Al tener F_1 de diciembre y enero, se calculó un promedio de todos los valores estimados en conjunto, resultando un F_1 promedio, representativo para el

frambueso en ese periodo para los sectores de los Predios Santa Sara y Monterrico equipados con 2 laterales.

Estimación de los coeficientes de demanda para 3 laterales

Para la estimación del parámetro F_1 , se siguió el mismo procedimiento que para los 2 laterales, con la diferencia que se calculó un nuevo F_2 , el cual se obtuvo despejando la Ecuación (4):

$$F_{2 \text{ promedio}} = FC_{\text{calculado}} - (F_{1 \text{ calculado}} * P) \quad [7]$$

Una vez estimado el factor F_2 , se calculó un promedio de todos los valores vinculados al mes de diciembre y enero, donde se obtuvo un valor de F_2 promedio representativo para frutal con riego por goteo.

Después que se obtuvieron los valores de los factores F_1 y F_2 , se procedió al cálculo de la evapotranspiración actual (ETA) en el contexto de tener considerados 2 o 3 laterales, para dicho cálculo se modificó la Ecuación (4) resultando:

$$ETA = ETO * (F_{1 \text{ calculado}} * P + F_{2 \text{ calculado, teorico}}) \quad [8]$$

Luego de obtener los antecedentes de la ET de referencia, del cultivo y la actual se modelaron con los datos de aplicación de cada sector con el propósito de analizar la comparación entre la demanda y el agua aplicada.

4.5. Producción de la frambuesa variedad Dolomia

Para evaluar el rendimiento de la variedad Dolomia en ambos huertos, se proporcionaron datos de producción del predio Fundo Santa Sara y Fundo Monterrico correspondientes a las temporadas 2021/2022 y 2022/2023. Esto permitió comparar las cosechas y asociarlas con el manejo del riego aplicado.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis Fundo Santa Sara

5.1.1. Parámetros físicos-hídricos del suelo de cada sector

En la tabla 3 se muestran las propiedades físico-hídricas obtenidas a partir del análisis de las muestras de suelo de los sitios del Fundo Santa Sara, en particular, se constata que los sectores seleccionados tienen una textura de suelo que se clasifica como franco arenoso. Esto significa que el suelo en estos sectores posee arena y limo, lo que influye en sus propiedades de retención de agua y drenaje. Los resultados de laboratorios del contenido volumétrico para el sector C, D y E fueron de 0.123, 0.165 y 0,220 m³ m⁻³ respectivamente.

Tabla 3. Propiedades físico-hídricas del suelo para el Fundo Santa Sara, sectores C, D y E. Contenidos gravimétricos de capacidad de campo (θ_{CC}), punto marchitez permanente (θ_{PMP}), densidad aparente (ρ_{ap}), textura y profundidad radicular del cultivo (Z).

| Sector | Textura | θ_{CC} (g g ⁻¹) | θ_{PMP} (g g ⁻¹) | ρ_{ap} (g cm ⁻³) | Z (m) |
|--------|----------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|------------|
| C | Franco arenoso | 0,221 | 0,122 | 1,27 | 0,30 |
| D | Franco arenoso | 0,299 | 0,173 | 1,31 | 0,30 |
| E | Franco arenoso | 0,419 | 0,229 | 1,16 | 0,30 |

Fuente: Laboratorio de suelos, 2023

5.1.2. Evaluación del sistema de riego en los sectores C, D, y E

En la tabla 4 se muestra los resultados de caudales de los emisores que muestra que al comparar los valores del caudal al inicio con el final de cada lateral existe un 99% de variación para el sector “C” y un 60% para el sector “E” (Fig.11).

Tabla 4. Aforo de los emisores del sistema de riego a una distancia de 0, 24, 48, 72, 96 y 120 m. para la superficie plantada con la variedad Dolomia en el Fundo Santa Sara, registro del Tiempo (t), volumen (vol.) y caudal (Q).

| Sector | Muestra | Distancia (m) | t (h) | Vol (L) | Q (L h ⁻¹) |
|------------|---------|---------------|-------|---------|------------------------|
| Sector "C" | 1 | 0 | 0,17 | 0,42 | 2,47 |
| | 2 | 24 | 0,17 | 0,41 | 2,41 |
| | 3 | 48 | 0,17 | 0,35 | 2,06 |
| | 4 | 72 | 0,17 | 0,28 | 1,65 |
| | 5 | 96 | 0,17 | 0,24 | 1,41 |
| | 6 | 120 | 0,17 | 0,21 | 1,24 |
| Sector "E" | 1 | 0 | 0,17 | 0,48 | 2,82 |
| | 2 | 24 | 0,17 | 0,41 | 2,41 |
| | 3 | 48 | 0,17 | 0,38 | 2,24 |
| | 4 | 72 | 0,17 | 0,35 | 2,06 |
| | 5 | 96 | 0,17 | 0,32 | 1,88 |
| | 6 | 120 | 0,17 | 0,30 | 1,76 |

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los antecedentes se hace evidente que los laterales ubicados en los sectores C y E (Fig.11) presentan un patrón de aplicación muy heterogéneo en el funcionamiento del sistema de riego por goteo. Esta situación se debe a que la longitud de las líneas laterales de riego es inadecuada en esos sectores, por lo que es necesario su rediseño. Esta variabilidad conlleva a que se produzca una variación en la cantidad de agua suministrada al cultivo a lo largo de las hileras (entre la cabecera y el final del lateral).

La diferencia de caudal entre la cabecera y el final de cada lateral es igual o superior a un litro por hora, lo que podría influir de manera notable en el desarrollo y crecimiento de las plantas en los sectores "C" y "E". Es importante

considerar la longitud de las líneas de riego como un factor crítico en el diseño y funcionamiento del sistema de riego por goteo en estos sectores para atenuar esta variación de caudal, ya que, se vuelve esencial para garantizar una distribución con no más de un 10% de variación del agua aplicada en la totalidad del lateral.

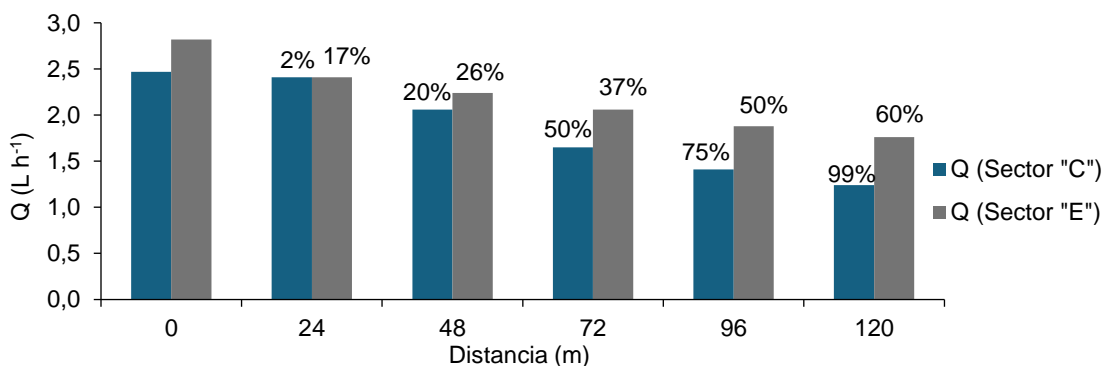


Figura 10. Representación del caudal aplicado (Q) respecto a la distancia (m) a lo largo de los laterales seleccionados de los sectores "C" y "E".

5.1.3. Agua aplicada en los sectores del Fundo Santa Sara

En un primer análisis de los antecedentes sobre la cantidad de agua aplicada en los sectores durante los meses de octubre y noviembre (Fig.11 y 12), al llevar los datos de riego diario a una modelación semanal, se observó que la cantidad de agua aplicada en los sectores C y D se ajustaron a las necesidades del cultivo durante estos dos meses. Sin embargo, en el sector E se registró una mayor cantidad de agua aplicada, esto se asocia con la incorporación de un tercer lateral en este sector y en el que no se redujeron los tiempos de riego asociado a un mayor número de emisores por planta. Esta

situación de exceso de aplicación no tiene un efecto en la producción dado que se trata de un suelo arenoso y por ende de buen drenaje evitando anaerobiosis en las raíces. Esta tercera línea de laterales se incorporó con el objetivo de ampliar el área de humedecimiento y, al mismo tiempo, evaluar y comparar el crecimiento, desarrollo y producción en relación con los otros sectores.

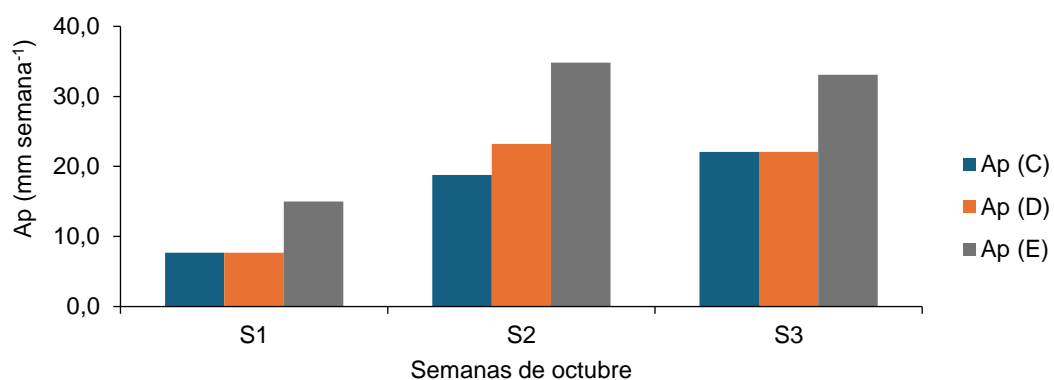


Figura 11. Cantidad de agua aplicada semanalmente (Ap) a la plantación de frambuesos en los sectores “C”, “D” y “E” a lo largo del mes de octubre.

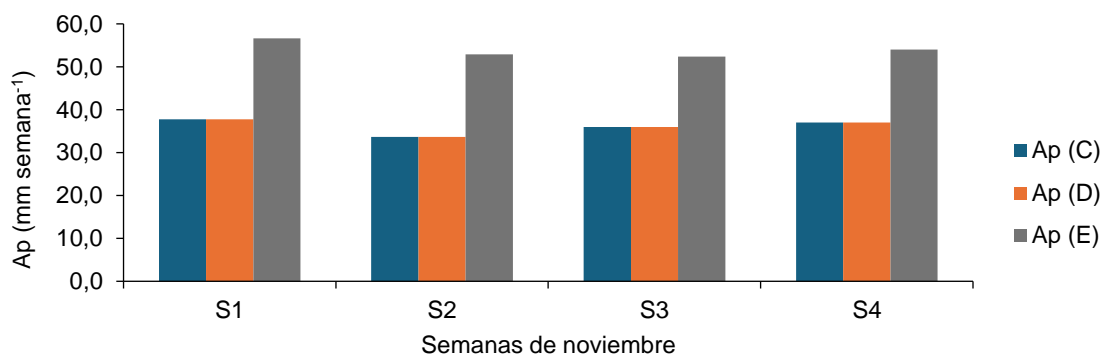


Figura 12. Cantidad de agua aplicada semanalmente (Ap) a la plantación de frambuesos en los sectores “C”, “D” y “E” a lo largo del mes de noviembre.

En la figura 13 y 14 muestran un incremento del riego en comparación al inicio de temporada, cuyas aplicaciones fueron muy variadas durante el mes de diciembre (Fig.13) para los sectores que cuentan con 2 y 3 laterales, mientras que para el mes de enero (Fig.14) la aplicación de agua tuvo un comportamiento más homogéneo. Estas aplicaciones de agua tuvieron como base el poder asegurar que todo el cultivo reciba una cantidad de agua adecuada para su desarrollo en estos meses críticos, ya que, mantener al frambueso en óptimas condiciones es un factor determinante para obtener una buena producción, lo que refuerza la importancia en la gestión del riego en el huerto.

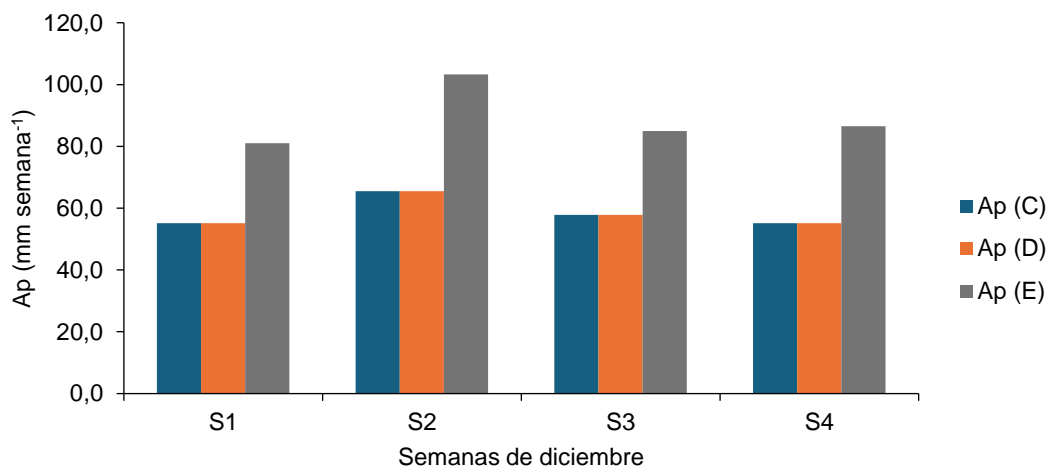


Figura 13. Cantidad de agua aplicada semanalmente (Ap) a la plantación de frambuesos en los sectores “C”, “D” y “E” a lo largo del mes de diciembre.

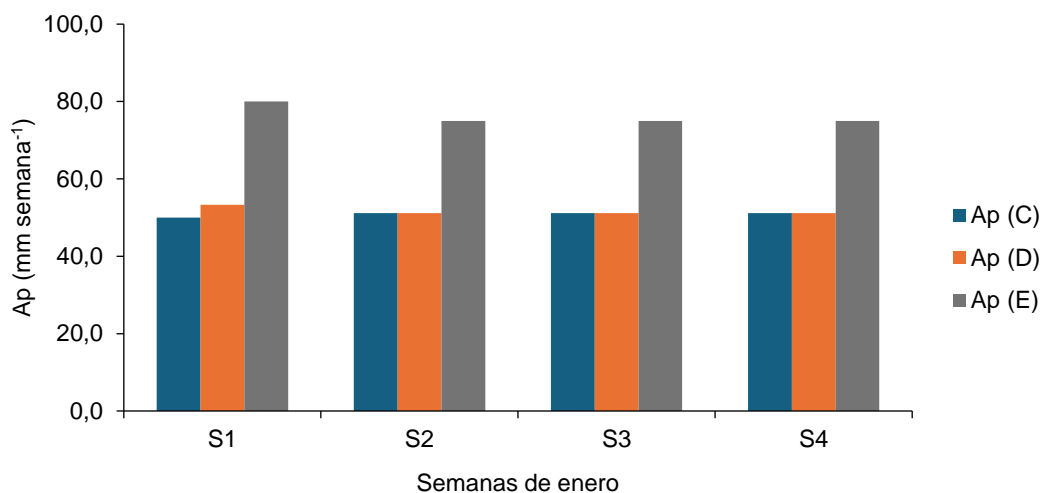


Figura 14. Cantidad de agua aplicada semanalmente (Ap) a la plantación de frambuesos en los sectores “C”, “D” y “E” a lo largo del mes de enero.

5.1.4. Análisis del riego de los Sectores del Fundo Santa Sara mediante imágenes satelitales

Los antecedentes del satélite sobre el Fundo Santa Sara mostrados en la Figura 15 corresponde a los valores de evapotranspiración entre las distintas áreas durante los meses de octubre hasta mediados de enero. La información entregada del satélite muestra diferencias mensuales de los antecedentes entre un 7,2 y 48%, que se atribuye a los cambios de la demanda en la zona a lo largo del período.

La semana S2, S3 y S4 (octubre) muestran antecedentes de evapotranspiración entre los sectores del huerto muy similares, que es una respuesta a las condiciones climáticas del periodo y un indicativo del desarrollo

del cultivo, destacando que estos datos se tomaron en una fecha en la que las cañas de frambueso solo tenían sus primeros brotes.

Los registros de la semana S6, S7, S8 (noviembre) presentaron un alza de un 38% respecto al mes anterior (octubre), esto se debió a un mayor porcentaje de cobertura de follaje que condujo un aumento en la demanda de agua provocando el incremento de la evapotranspiración.

Los datos registrados de la semana S9, S11, S12 (diciembre) y S14 (enero) reflejaron un aumento con una variación del 13 y 15% del promedio mensual en los niveles de evapotranspiración, en el sector "C". En las semanas siguientes S15 y S16 y S17 (enero) la evapotranspiración registrada varió un 18 y 48% respecto a las semanas anteriores en cada uno de los sectores del huerto.

Es importante destacar que, durante los meses de diciembre y enero, se observaron cambios en los registros de evapotranspiración que pueden atribuirse a múltiples razones. Una de las causas principales puede atribuirse a la cosecha mecanizada que desfolia la planta en su proceso, la cual provoca una disminución en la demanda de agua, ya que las plantas de frambueso experimentan una reducción en la superficie foliar causada por la cosecha mecanizada.

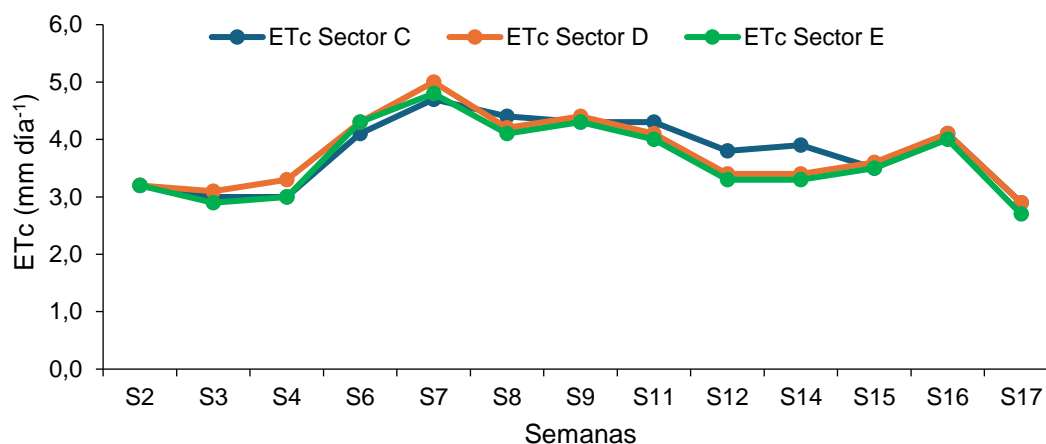


Figura 15. Antecedentes de evapotranspiración obtenida mediante imágenes satelitales (ETc) perteneciente a los sectores “C”, “D” y “E” desde octubre hasta enero.

5.1.5. Comparación de agua aplicada y demanda en el Fundo Santa Sara

La evapotranspiración de cultivo desempeña un papel fundamental en el cálculo de la demanda para la aplicación de agua necesaria para la planta, ya que considera las condiciones climáticas de la zona y la etapa fenológica del cultivo. Los antecedentes de ETc en comparación con el agua aplicada en los sectores C, D y E desde la segunda semana de octubre, tiempo en que se comenzó a regar (S1) y la última semana de enero (S16). Los datos modelados mostrados en la Figura 16, 17 y 18 son el promedio diario de un día en específico que es representativo para cada semana, donde la comparación refleja los altos porcentajes de variación entre lo requerido por la planta y lo

aplicado en cada sector, donde el exceso de agua fue predominante todo el periodo de observación.

En la Figura 16 y 17 Se observa que las aplicaciones excesivas realizadas entre octubre y enero presentan valores que varían entre el 32% y el 58% en comparación con la ETc de cada sector. Destacando que en la semana S2 se registró uno de los mayores déficits de aplicación en comparación con la ETc, siendo del 36% en el sector C y del 50% en el sector D.

En la Figura 18 se presentan los datos de aplicación del sector E, equipado con tres laterales. Se observa que el exceso de agua en la mayoría de las semanas superó el 50%, alcanzando un máximo del 73% en comparación con lo requerido por el cultivo.

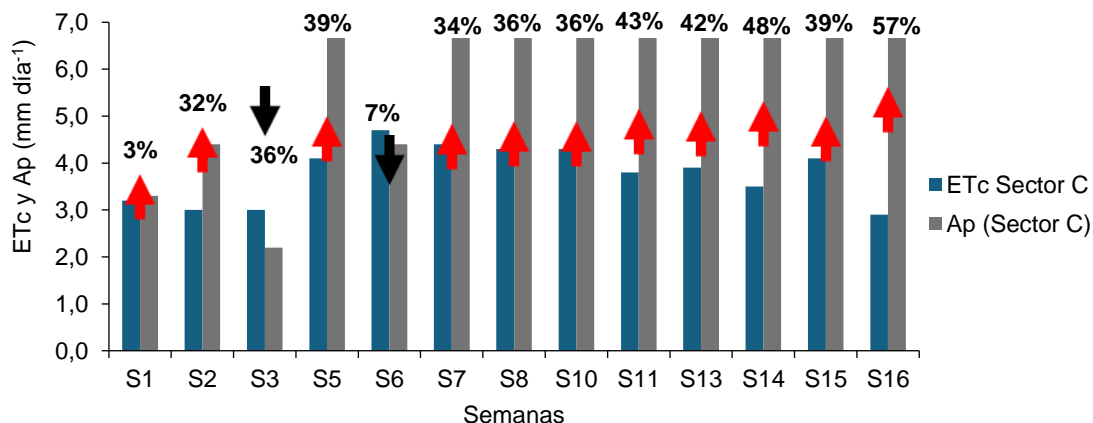


Figura 16. Comparación y variación semanal (la flecha roja muestra el exceso y la negra el déficit) entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y la cantidad de agua aplicada (Ap) en el sector "C" desde octubre a enero.

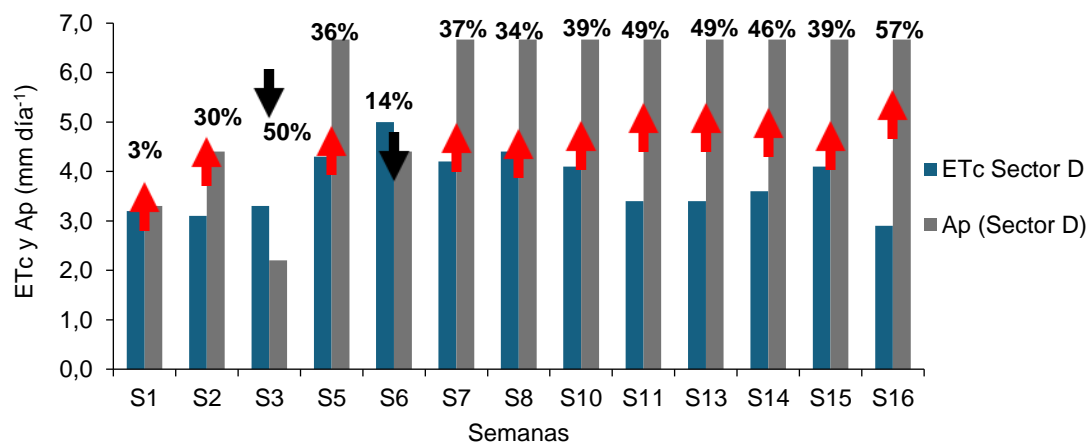


Figura 17. Comparación y variación semanal (la flecha roja muestra el exceso y la negra el déficit) entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y la cantidad de agua aplicada (Ap) en el sector "D" desde octubre a enero.

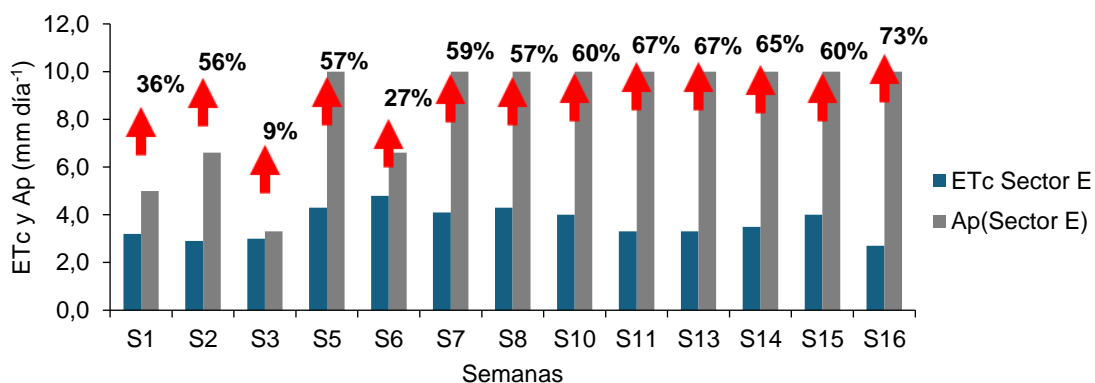


Figura 18. Comparación y variación semanal (la flecha roja muestra el exceso y la negra el déficit) entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y la cantidad de agua aplicada en el sector "E" desde octubre a enero.

Para los meses de máxima demanda, diciembre y enero, se calcularon los coeficientes de demanda asociados al cultivo para los sectores equipados con dos (sector C y D) y tres laterales (sector E). A partir de estos coeficientes y utilizando los datos de evapotranspiración de referencia (ETo) de las

estaciones cercanas al sitio de estudio, se estimó la evapotranspiración actual del cultivo (ETa).

En la Figura 19 y 20 se muestra la comparación entre la ETa, ETc y la aplicación de agua en los sectores C, D y E, a lo largo de nueve semanas. Al comparar estos parámetros se observa que, la cantidad de agua aplicada en los sectores fue mayor a la requerida por el cultivo. Además, la diferencia entre la ETa y ETc puede atribuirse a factores como las condiciones climáticas de la zona, el manejo del cultivo y el riego aplicado.

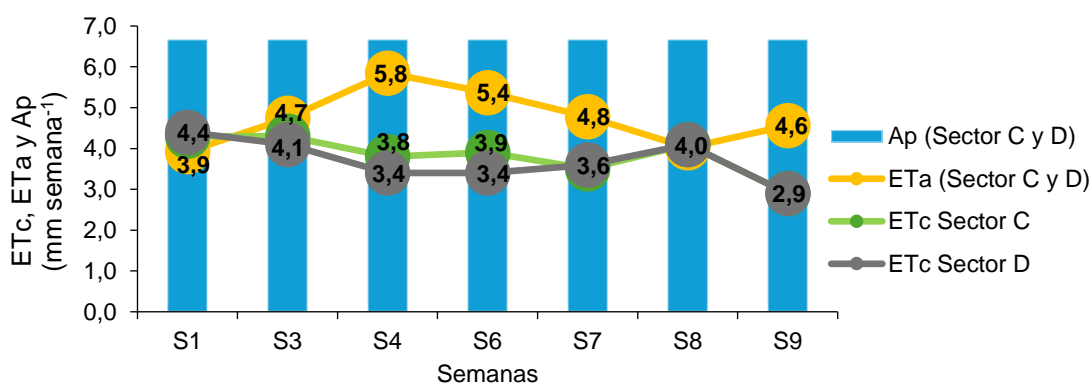


Figura 19. Representación de la Evapotranspiración de cultivo (ETc) y la evapotranspiración actual (ETa) para 2 laterales en comparación con el agua aplicada en el sector "C" y "D" durante el mes de diciembre y enero.

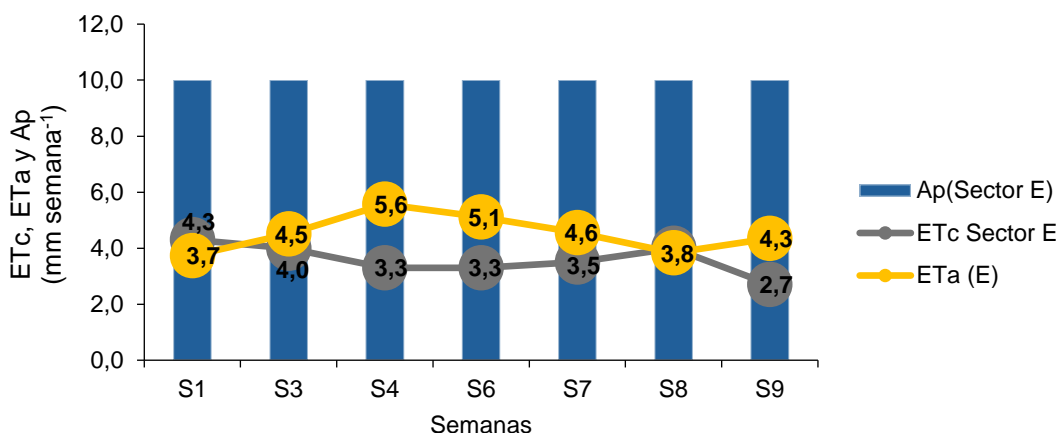


Figura 20. Representación de la Evapotranspiración de cultivo (ETc) y la evapotranspiración actual (ETa) para 3 laterales en comparación con el agua aplicada en el sector “E” durante el mes de diciembre y enero.

Al observar los datos se puede comprobar que se está aplicando un exceso de agua en relación con la necesidad real del cultivo. Esta práctica se ha mantenido de manera sostenida durante los meses de máxima demanda en cada sector del Fundo Santa Sara. Una de las razones de esta aplicación excesiva de riego puede estar relacionada con la falta de información actualizada sobre las necesidades hídricas específicas del cultivo, las variaciones climáticas en estos sectores. A menudo, se tiende a mantener una programación de riego constante por temor a la escasez de agua o a la creencia de que más agua es siempre beneficiosa. Esta divergencia entre la cantidad de agua requerida por los cultivos, según la evapotranspiración medida, y la cantidad realmente aplicada, indica la importancia de ajustar y gestionar el manejo del riego de manera más precisa, con el fin de optimizar el uso del agua.

Para evaluar el manejo hídrico del cultivo durante los meses de máxima demanda, se realizó un análisis detallado de los balances de humedad del suelo. En este contexto, se modelaron los contenidos de humedad en diferentes sectores del campo, considerando factores clave como la retención del suelo a capacidad de campo (CC) descrita en la Tabla 3, la cantidad diaria de agua aplicada y la evapotranspiración actual (ETa). En la Figura 21, 22 y 23 se presentan estos balances hídricos para diciembre y enero en un periodo de dos semanas. Este análisis permite observar cómo las aplicaciones de agua, aunque suficientes para cubrir las necesidades del cultivo y mantener el suelo cercano a su capacidad de campo, resultaron ser excesivas en comparación con las necesidades reales del cultivo.

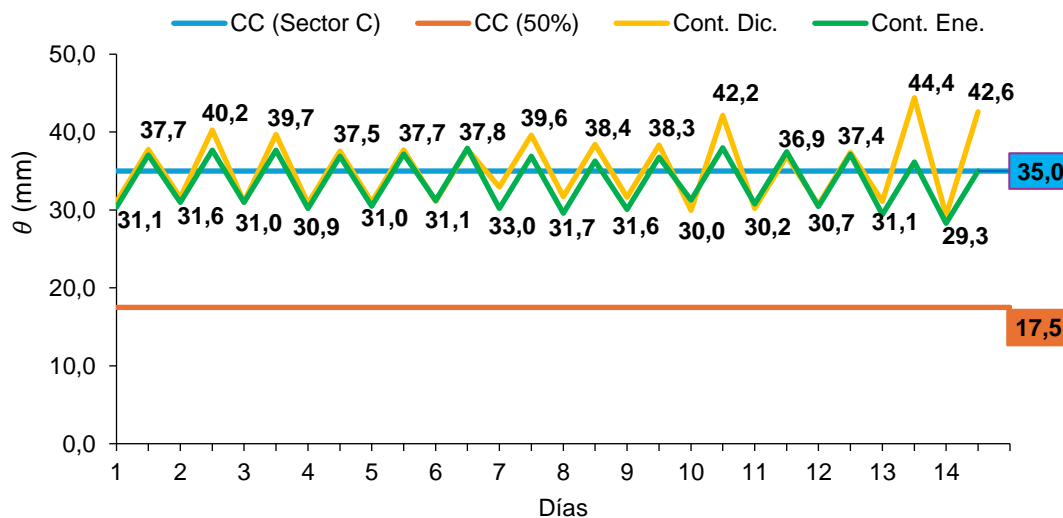


Figura 21. Balance diario del contenido de humedad del suelo del sector “C” (θ) durante dos semanas de diciembre (Cont.Dic) y enero (Cont.Ene.), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%.

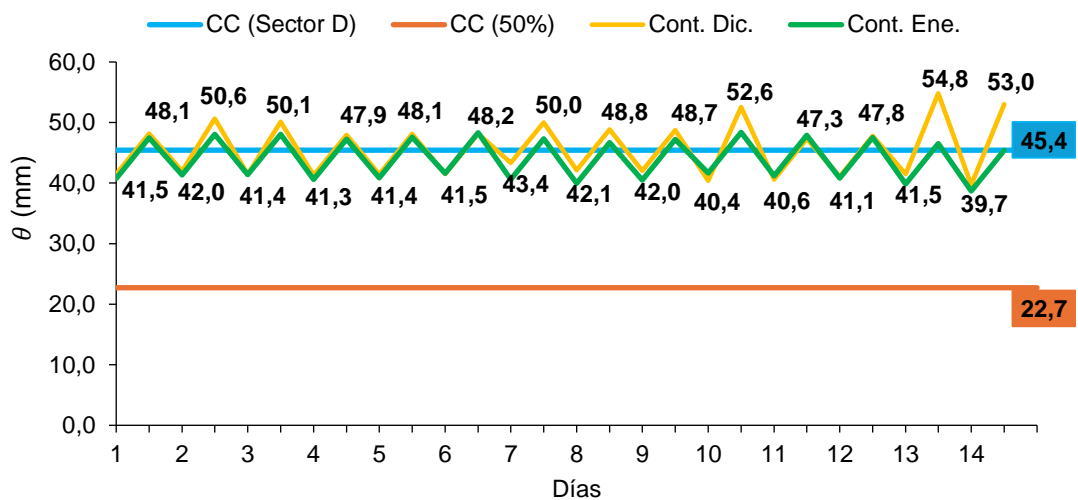


Figura 22. Balance diario del contenido de humedad del suelo del sector “D” (θ) durante dos semanas de diciembre (Cont.Dic) y enero (Cont.Ene.), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%.

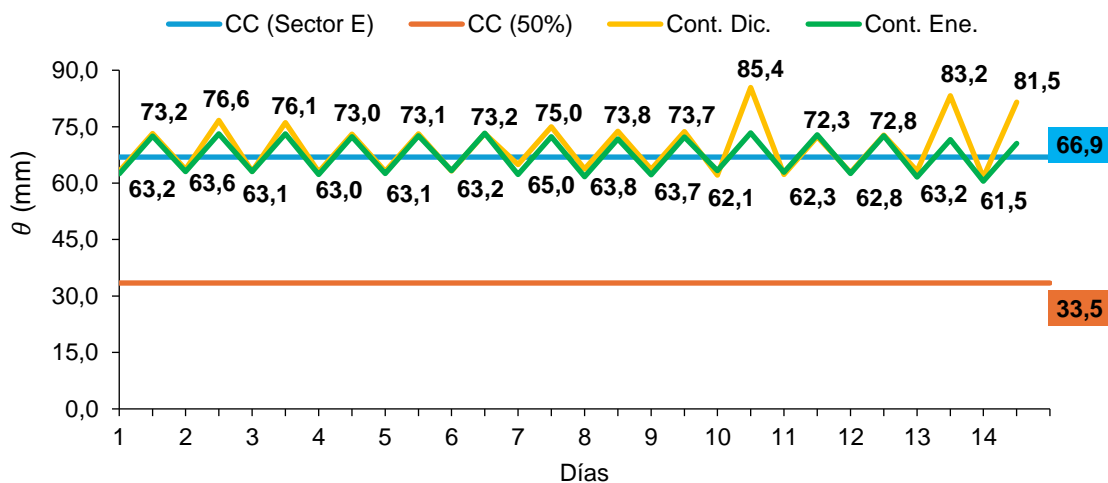


Figura 23. Balance diario del contenido de humedad del suelo del sector “E” (θ) durante dos semanas de diciembre (Cont.Dic) y enero (Cont.Ene.), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%.

Es fundamental conocer la capacidad de retención de agua del suelo, especialmente al considerar diferentes tipos de suelo, al momento de regar. La textura y estructura del suelo influyen directamente en su capacidad para retener agua, afectando la disponibilidad hídrica para las plantas. Por ejemplo, suelos arcillosos retienen más agua que los arenosos debido a su alta capacidad de retención de humedad. Conocer estas propiedades permite adaptar el riego de mejor manera, evitando tanto el exceso como la escasez de agua, lo que mejora el crecimiento de las plantas para su producción.

5.2. Análisis Fundo Monterrico

5.2.1. Parámetros físicos-hídricos del suelo en el sector “cuartel 4”

En la tabla 5 se muestran los resultados de las muestras de suelo para el sitio del Fundo Monterrico, basados en los datos, el perfil del suelo en el sitio se clasifica como franco que se caracteriza por tener una buena capacidad de retención de agua, al tiempo que permite un drenaje adecuado. Esto sobre la textura del suelo en el Fundo Monterrico es para comprender su composición y sus propiedades.

Tabla 5. Propiedades físico-hídricas del suelo para el Fundo Monterrico, cuartel 4. Contenidos gravimétricos de capacidad de campo (θ_{CC}), punto marchitez permanente (θ_{PMP}), densidad aparente (ρ_{ap}), textura y profundidad radicular del cultivo (Z).

| Sector | Textura | θ_{CC} (g g ⁻¹) | θ_{PMP} (g g ⁻¹) | ρ_{ap} (g cm ⁻³) | Z (m) |
|----------------|---------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|------------|
| Cuartel n°4 | Franco | 0,687 | 0,37 | 0,85 | 0,30 |

Fuente: Laboratorio de suelos, 2023

Acorde con el análisis de suelo del laboratorio el contenido volumétrico estimado fue 0.269 m³ m⁻³.

5.2.2. Evaluación del sistema de riego

En el cuartel 4, se realizaron mediciones a seis goteros por cada tercio durante 10 minutos logrando la estimación de un caudal promedio (Tabla 6) con el propósito de obtener la uniformidad de la aplicación a lo largo de la hilera (80 m). Atraves de los antecedentes del aforo se obtuvo una distribución homogénea del agua aplicada que incluso bajo las situaciones más críticas, la diferencia entre el inicio y el final de la hilera está dentro de un rango aceptable, alcanzando un 12% de variación.

Tabla 6. Aforo de los emisores del primer, segundo y tercer tercio del tramo, en hileras ubicadas en diferentes sectores del cuartel 4, perteneciente a la superficie plantada con la variedad Dolomia en el Fundo Monterrico, registro del tiempo (t) y caudal (Q).

| Sector | Tramo | t (h) | Q (L h ⁻¹) |
|---------------------------|----------------|-------|------------------------|
| Hilera de la válvula | Primer tercio | 0,17 | 2,30 |
| | Segundo tercio | | 1,98 |
| | Tercer tercio | | 2,03 |
| Hilera del medio | Primer tercio | 0,17 | 2,08 |
| | Segundo tercio | | 1,98 |
| | Tercer tercio | | 1,91 |
| Ultima hilera del cuartel | Primer tercio | 0,17 | 2,11 |
| | Segundo tercio | | 2,05 |
| | Tercer tercio | | 1,96 |

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los antecedentes de la aplicación de agua en la hilera de la válvula del cuartel 4 (Fig.24), muestra un patrón de comportamiento con una variación de 12% en el caudal.

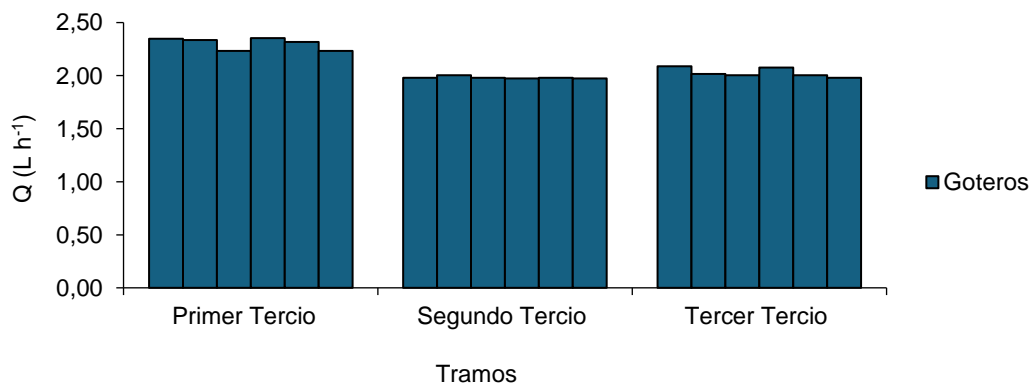


Figura 24. Representación del caudal aplicado (Q) a lo largo del lateral de la hilera donde está ubicada la válvula del cuartel 4.

Al examinar la distribución del caudal en la hilera en el centro del cuartel 4 (Fig.25), se destacan las mediciones de los goteros efectuadas entre la cabecera y el final del lateral que muestran una variación de un 8% valor que se encuentra dentro de un rango aceptable, lo que indica una aplicación homogénea a lo largo del tramo.

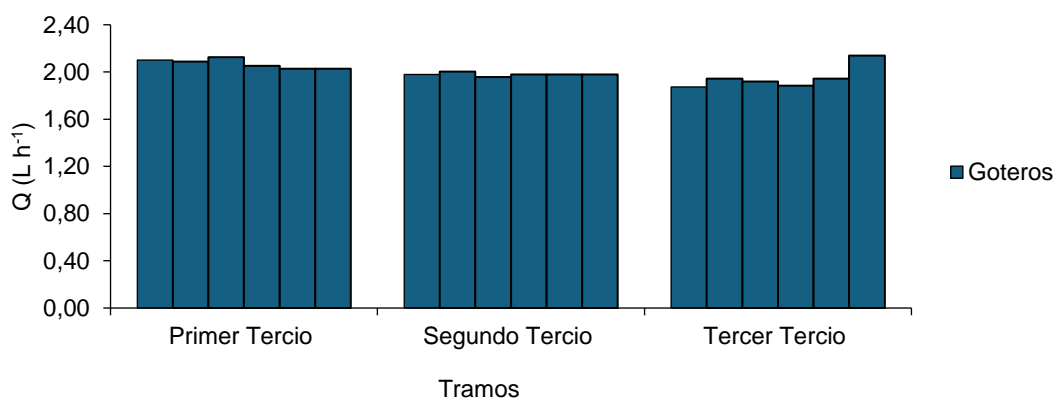


Figura 25. Representación del caudal aplicado (Q) a lo largo del lateral de la hilera central de la plantación de frambuesos del Cuartel 4.

El análisis de la aplicación en los laterales que se encuentra en el extremo del cuartel 4 (Fig.26), se aprecia un aumento de caudal en el segundo tercio del tramo. Esta situación en general es provocada por la operación de retro lavado del sistema, momento en el cual el sistema se estabiliza y procede a la aplicación uniforme del agua a lo largo de la hilera. Esto enfatiza la importancia del proceso de retro lavado en la regulación del sistema, lo que, a su vez, contribuye a una distribución homogénea y eficiente del agua en dicho tramo.

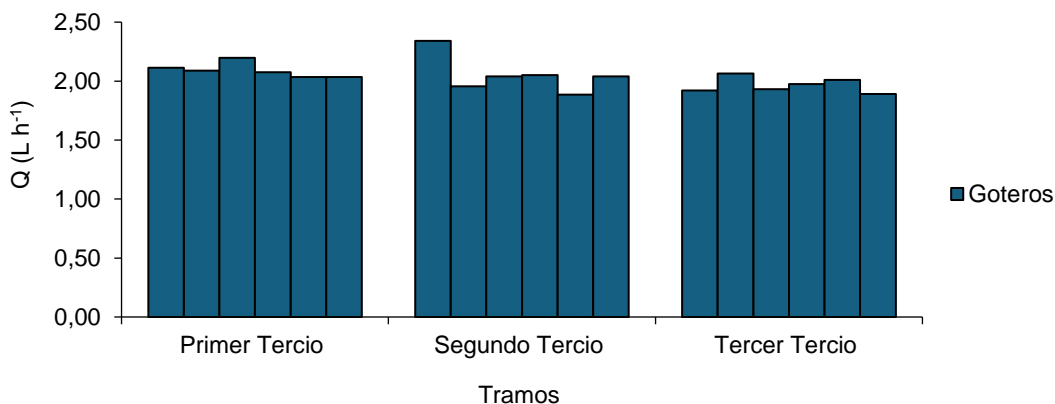


Figura 26. Representación del caudal aplicado (Q) a lo largo del lateral de la última hilera de la plantación de frambuesos del Cuartel 4.

5.2.3. Agua Aplicada en el Fundo Monterrico

El análisis del sistema de riego que abarca la superficie de la plantación de frambuesos de la variedad Dolomia ha sido para comprender en profundidad el riego y la uniformidad de su distribución del agua a lo largo de las hileras del cuartel 4. A continuación, se muestra el agua aplicada del Fundo Monterrico desde octubre a enero (Fig.27, 28, 29 y 30).

Los antecedentes del riego aplicado en el mes de octubre (Fig.27) se realizó con una frecuencia de dos veces por semana con una aplicación homogénea, en el mes de noviembre (Fig. 28) la aplicación paso de dos a tres veces por semana, teniendo una variación en los dos últimos riegos del mes, que aumentó en un 18% debido a las condiciones climáticas y las necesidades del fruto. El riego aplicado en los meses de diciembre y enero (Fig. 29 y 30) se mantuvo tres veces por semana con una aplicación homogénea.

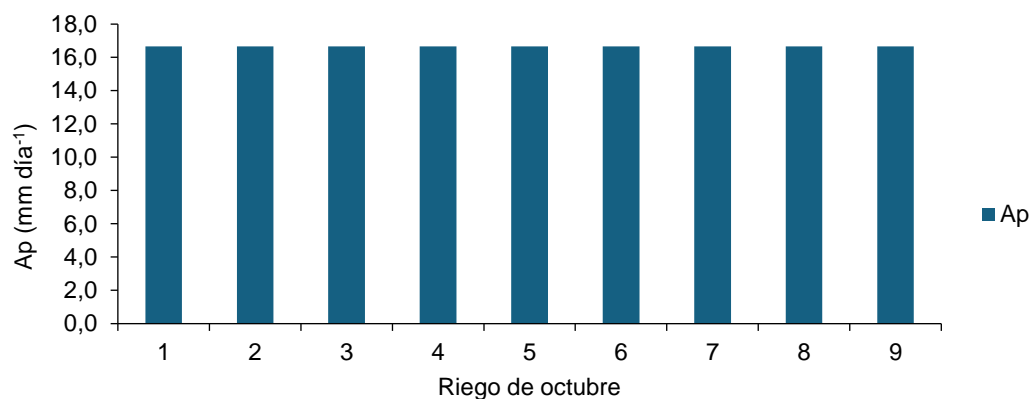


Figura 27. Representación del agua aplicada (Ap) al frambueso en el cuartel 4 durante el mes de octubre, con una frecuencia de riego de tres veces por semana.

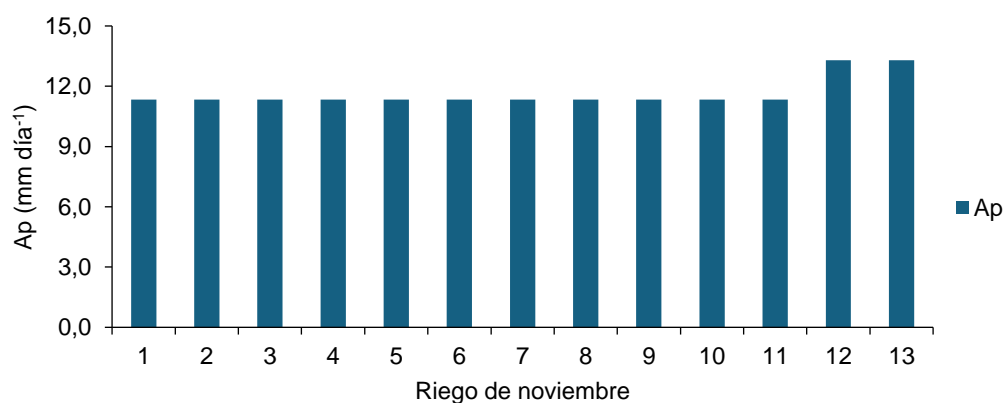


Figura 28. Representación del agua aplicada (Ap) al frambueso en el cuartel 4 durante el mes de noviembre, con una frecuencia de riego de tres veces por semana.

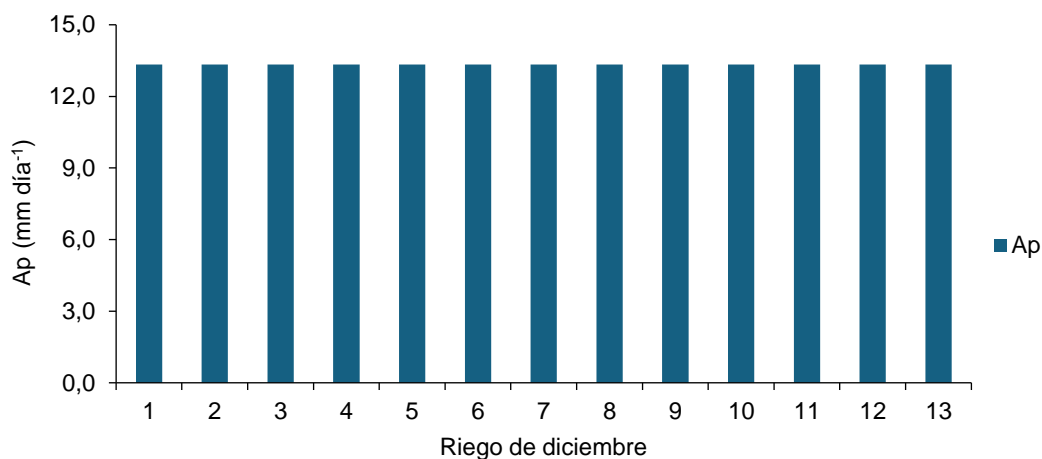


Figura 29. Representación del agua aplicada (Ap) al frambueso en el cuartel 4 durante el mes de diciembre, con una frecuencia de riego de tres veces por semana.

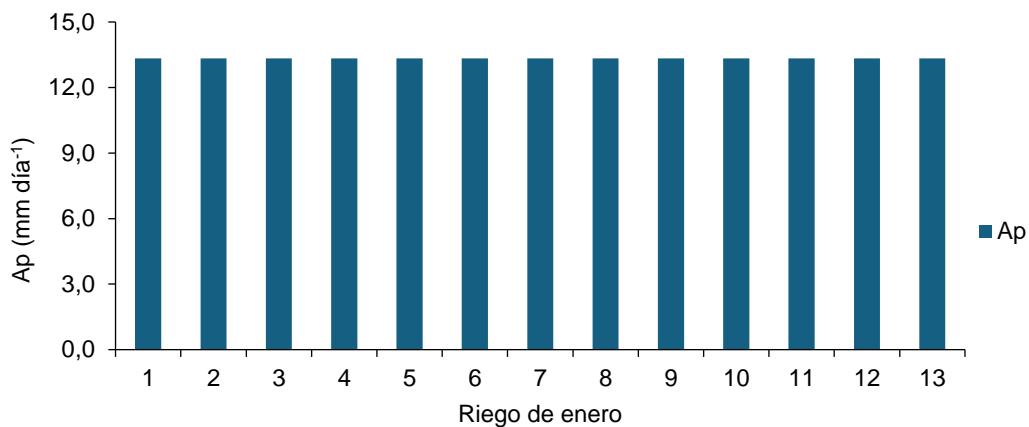


Figura 30. Representación del agua aplicada (Ap) al frambueso en el cuartel 4 durante el mes de enero, con un riego asignado tres veces por semana.

5.2.4. Análisis del riego en el Sector del Fundo Monterrico mediante imágenes satelitales

En la Figura 31 se muestran la variación de los antecedentes obtenidos mediante imágenes satelitales, desde la segunda semana de octubre (S2) hasta la tercera semana de enero (S16), donde los antecedentes están sujetos a un día en específico, representativo del comportamiento semanal de la ETc debido a los cambios climáticos constantes que experimentó la zona durante gran parte de la temporada. La recta anaranjada en la Figura 31 representa la tendencia, mostrando un crecimiento constante y heterogéneo en el valor promedio de ETc, incrementándose de 2.0 mm/día en la semana 2 a 4.0 mm/día en la semana 16. Este aumento del 100% podría estar relacionado con factores climáticos, el desarrollo del cultivo o cambios en las condiciones del suelo debido al riego.

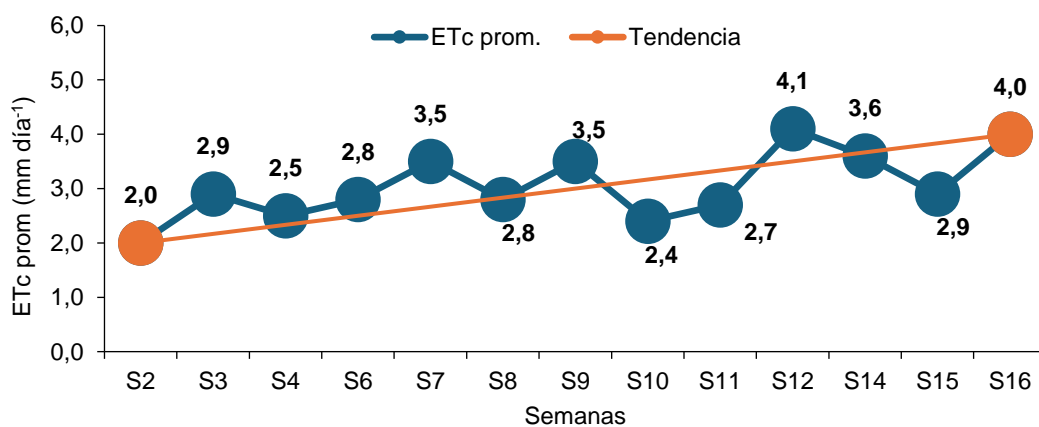


Figura 31. Antecedentes de evapotranspiración obtenida mediante imágenes satelitales (ETc) perteneciente al sector del cuartel 4 desde octubre hasta enero.

5.2.5. Comparación de agua aplicada y demanda en el Fundo Monterrico

Para monitorear adecuadamente las necesidades hídricas del cultivo, es crucial llevar un registro continuo de la evapotranspiración. Este seguimiento permite obtener una comprensión de la cantidad de agua que se pierde debido a la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Con esta información actualizada, se puede ajustar el riego de manera adecuada, asegurando así una aplicación de agua apta para optimizar el crecimiento y rendimiento del cultivo.

En la Figura 32 se evidencia que, durante todas las semanas (diciembre y enero), se aplicó más agua de la que requería el cultivo, con un gran margen de exceso que esta entre un 28% y 58%. Esto podría indicar una ineficiencia en la aplicación del agua, sugiriendo la necesidad de ajustes para optimizar el uso del recurso.

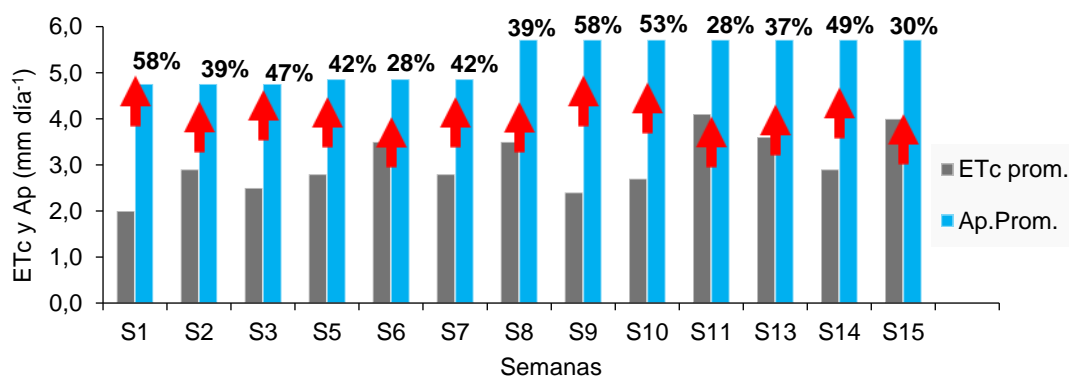


Figura 32. Comparación y variación semanal (la flecha roja muestra el exceso y la negra el déficit) entre la evapotranspiración de Cultivo (ETc) y el riego aplicado en el cuartel 4.

Al obtener los coeficientes de demanda asociados al cultivo para los meses de máxima demanda, diciembre y enero, se estimó la evapotranspiración actual del cultivo (ETa) utilizando datos de evapotranspiración de referencia (ETo) de las estaciones cercanas al sitio de estudio.

La Figura 33 muestra la comparación entre la evapotranspiración actual (ETa), la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la aplicación de agua (Ap) a lo largo de siete semanas, los antecedentes demuestran que la aplicación fue constante durante todo el periodo (diciembre y enero), pero a su vez mayor a los requeridos por el cultivo. Por otro lado, la ETa sigue una tendencia similar a la ETc, pero con valores ligeramente superiores que varían menos de 1 mm/día en algunas semanas del periodo.

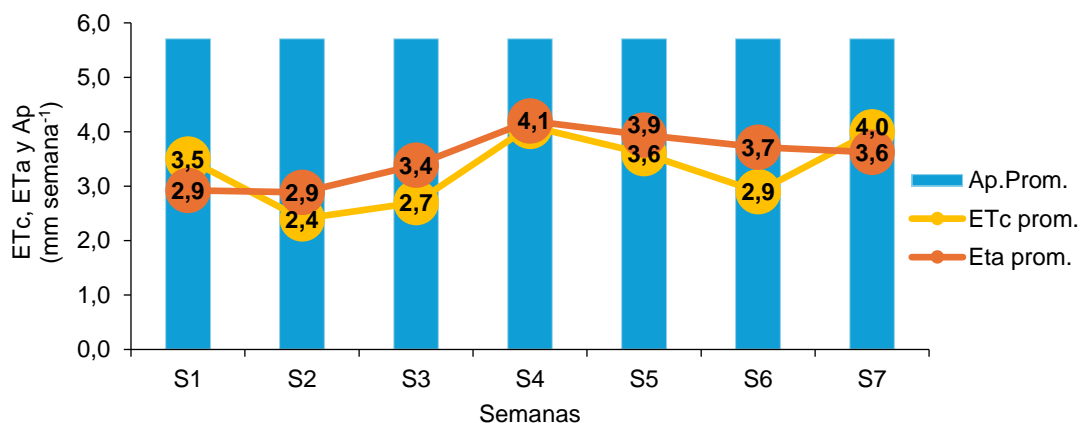


Figura 33. Representación de la Evapotranspiración de cultivo (ETc) y la evapotranspiración actual (ETa) en comparación con el agua aplicada en el mes de diciembre y enero.

Los antecedentes permiten visualizar que la aplicación de agua supera por mucho la cantidad realmente requerida (Fig. 32 y 33). Este exceso hídrico se atribuye a una serie de factores relacionados con la gestión del riego y su manejo en el área. El desajuste en este caso puede ser atribuido a la falta de una programación adecuada en la aplicación de agua, lo que resulta en riegos más frecuentes y abundantes de lo necesario. También puede ser influenciado por decisiones de riego impulsadas por factores no relacionados con las necesidades del cultivo, como cambios en las condiciones climáticas o falta de sincronización con las etapas de crecimiento del cultivo. Para abordar este problema y lograr un equilibrio adecuado en la aplicación de agua, es crucial implementar un enfoque más estratégico y basado en datos que se adapte a las necesidades cambiantes del cultivo y al entorno. Esto no solo optimizará el uso del agua, sino que también mejorará la productividad y la sostenibilidad en el huerto.

Para evaluar la eficiencia del riego y la disponibilidad de agua en el suelo, es fundamental considerar el balance hídrico del sector. En las Figuras 34 y 35 se muestra el balance del contenido de humedad del suelo del cuartel 4 durante diciembre y enero. Para este cálculo, se consideró la capacidad de campo (CC) del suelo, tal como se muestra en la Tabla 4, la cantidad de agua aplicada tres veces por semana y la evapotranspiración actual del cultivo (ET_a) en un periodo de dos semanas. El balance hídrico modelado demuestra que la cantidad de agua aplicada suplía las necesidades del cultivo y mantenía el

suelo del sector a capacidad de campo; sin embargo, esta cantidad de agua era excesiva

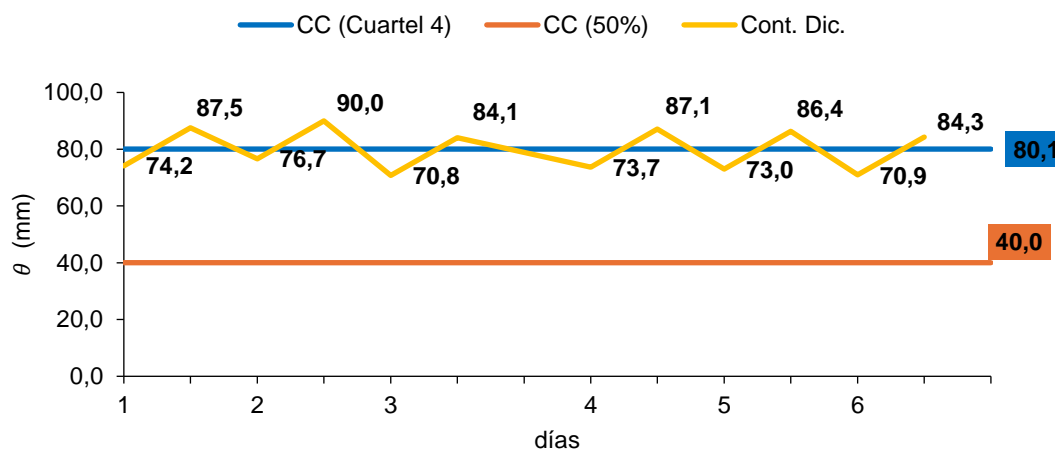


Figura 34. Balance diario del contenido de humedad del suelo del cuartel 4 (θ) durante dos semanas de diciembre (Cont.Dic), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%.

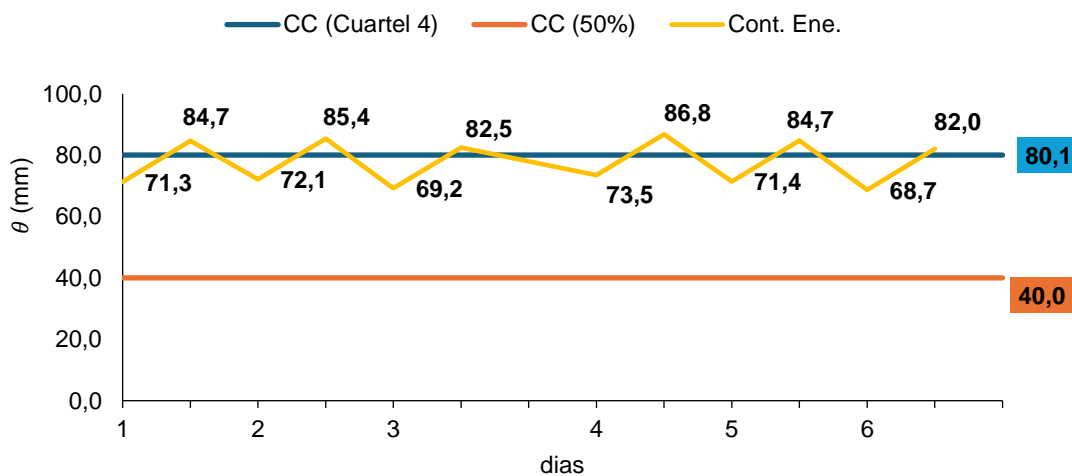


Figura 35. Balance diario del contenido de humedad del suelo del cuartel 4 (θ) durante dos semanas de enero (Cont.Ene), dando a conocer la capacidad de retención del suelo al 100% (CC) y al 50%.

Conocer la cantidad de agua que retiene el suelo al momento de regar es fundamental para una gestión eficiente del riego. La capacidad de retención de agua del suelo determina que volumen de agua estará disponible para las plantas entre riegos, lo que influye directamente en su crecimiento y desarrollo. Regar sin considerar esta capacidad de retención de agua en el suelo puede llevar a un exceso de agua aplicada, provocando charcos, pérdida de nutrientes y favoreciendo enfermedades radiculares. Por otro lado, un riego insuficiente puede dejar a las plantas en un estado de estrés hídrico, reduciendo su productividad. Al entender la retención hídrica del suelo, se puede optimizar el uso del agua, garantizar un suministro adecuado y uniforme a las plantas.

5.3. Factores de demanda asociados al cultivo

En la tabla 6 y 7 se presentan los valores de F_1 y F_2 para la determinación del factor de demanda asociados al cultivo de frambuesa variedad Dolomia en el Fundo Santa Sara y Monterrico durante el periodo de máxima demanda, los valores de estos parámetros son representativos de cada zona, ya que se consideraron los factores climáticos de los sectores, antecedentes de evapotranspiración a través de estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de estudio y el apoyo de imágenes satelitales para la obtención de los factores. En general podemos observar una observa una variación de un 5 a 12 % entre los valores de F_1 que en general no reflejan una diferencia importante y una similitud de los F_2 de ambos huertos, esto se debe principalmente a que se

riega por goteo y la ubicación de los laterales en cada terreno era similar y las condiciones específicas en las que se encuentran.

Tabla 7. Valores obtenidos de los factores de demanda asociados al cultivo en los sectores del Fundo Santa Sara equipados con 2 y 3 laterales.

| Nº de laterales | F ₁ | F ₂ |
|-----------------|----------------|----------------|
| 2 | 0,0101 | 0,11 |
| 3 | 0,0096 | 0,13 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Valores obtenidos de los factores asociados al cultivo para el sector del Fundo Monterrico equipado con 2 laterales.

| Nº de laterales | F ₁ | F ₂ |
|-----------------|----------------|----------------|
| 2 | 0,009 | 0,11 |

Fuente: Elaboración propia.

RENDIMIENTO DE LA VARIEDAD DOLOMIA

En la temporada 2022 / 2023 de frambuesa Dolomia del huerto del Fundo Santa Sara registró una producción de 2.77 ton, un aumento destacable en comparación con la temporada 2021 / 2022, la cual fue su primer año de cosecha registrando 313 kg, estas cifras indican que el cultivo esta más grande. Por otra parte, en caso del Fundo Monterrico la producción de la temporada 2022 / 2023 que registró fue de 212 ton (16,3 ton/ha) de frambuesa Dolomia, cantidades muy semejantes a las temporadas anteriores, esto se debe a que se mantienen las practicas aplicadas a los sectores dedicadas a este tipo de variedad.

Mejorar el riego es un factor importante en el desarrollo y la producción de los cultivos, y su correcta gestión puede marcar una diferencia significativa en los rendimientos obtenidos en ambas temporadas. Esto se debe al poco conocimiento de las necesidades específicas del cultivo de frambuesa Dolomia, incluyendo sus requerimientos hídricos y la capacidad de retención del suelo. Garantizar que cada etapa fenológica del cultivo reciba la cantidad óptima de agua, sin excesos ni déficits, es fundamental para maximizar el rendimiento durante el periodo de cosecha. Las técnicas de riego avanzadas no solo optimizan el uso del agua, sino que también contribuyen a una mayor uniformidad en la producción y a una calidad superior de los frutos cosechados. Un manejo eficiente del riego asegura que las plantas reciban la cantidad adecuada de humedad, lo que mejora la absorción de nutrientes y reduce el estrés hídrico, resultando un óptimo crecimiento y vigor del cultivo.

6. CONCLUSIÓN

En la investigación realizada se analizó el diseño, operación y manejo de microriego en frambuesos, específicamente se puede concluir que:

1. El estudio realizado permite establecer la importancia que tiene el riego y el manejo del agua en la producción de frambuesas, en la variedad Dolomia. En este contexto, la tecnología está desempeñando un papel cada vez más crucial en la agricultura, permitiendo un manejo más preciso y eficiente del agua. Esto no solo contribuye al crecimiento y desarrollo óptimos de los cultivos, sino que también mejora significativamente tanto la calidad como la cantidad de la producción de frutos de la variedad Dolomia.
2. Los requerimientos hídricos de la variedad Dolomia son diferentes de las variedades más antiguas, como Heritage y Meeker. Esto se debe a que la Dolomia presenta un follaje mucho más denso y extenso, lo que implica una demanda de agua distinta y generalmente mayor. Esta particularidad destaca la necesidad de un manejo del riego más preciso, utilizando tecnologías avanzadas que permitan monitorear y ajustar la cantidad de agua suministrada.
3. El manejo del agua en ambos sitios de estudio tiende a aplicar una cantidad mayor de agua que la requerida. Esto se debe a que no se considera adecuadamente la demanda hídrica del cultivo ni la capacidad de retención del suelo. Este exceso de agua puede traer problemas como la saturación

del suelo y la pérdida de nutrientes, afectando negativamente a la planta y la eficiencia del riego. Por lo tanto, es crucial implementar un manejo hídrico más preciso y adaptado a las necesidades específicas de cada sitio y cultivo, optimizando así el uso del agua y mejorando las técnicas de manejo agrícola.

4. Es fundamental incorporar tecnologías avanzadas para el manejo del agua en el cultivo de frambuesos, como el uso de imágenes satelitales, que permiten monitorear y ajustar el riego de manera más precisa. La longitud del lateral de riego tiene un impacto significativo en la uniformidad de la aplicación de agua, afectando directamente la eficiencia del riego y el desarrollo del cultivo. Utilizar tecnologías puede ayudar a optimizar la distribución del agua, garantizando que cada planta reciba la cantidad adecuada según sus necesidades y mejorando la productividad del cultivo.
5. Finalmente, el complemento de un óptimo diseño y manejo de riego y uso de nuevas tecnologías podría permitir una gestión más eficiente y sostenible del agua en la agricultura, contribuyendo así al aumento de la productividad y mejor manejo del cultivo.

7. LITERATURA CITADA

AGROMETEOROLOGÍA (Chile), 2023. RED AGROMETEOROLÓGICA INIA

[en línea]. Instituto de Investigación Agropecuarias, Chile.

<<https://agrometeorologia.cl/evapotranspiracion/>>, [consulta: 15 de abril 2023].

Alcayaga, C. G. M., Urbina, J. G., & Contreras, F. R. (2020). Arándanos y frambuesas en la Región del Maule: caracterización sectorial y análisis varietal.

Bañados, M., Bonomelli, C., Figueroa, R., Gambardella, M., Zaviezo, T., Ávila, B., ... & Grez, J. (2015). Manual del Cultivo de Frambuesas y Frutillas en Chile.

Bañados, O., & Pilar, M. (2002). Frambuesas en Chile: sus variedades y características.

Bear, J. (1972). Dynamics of fluids in porous media, *Elsevier, New York*, 764 S.

Colinas Sudzuki, F. (1981). Frambuesa [Rubus, botánica, cultivo, análisis económico, Chile]. *Publicaciones en Ciencias Agrícolas (Chile)*, (8).

DeJonge, K. C., Ascough II, J. C., Andales, A. A., Hansen, N. C., García, L. A., & Arabi, M. (2012). Improving evapotranspiration simulations in the CERES-Maize model under limited irrigation. *Agricultural water management*, 115, 92-103.

- García Rubio, J. C., García González de Lena, G., & Ciordia, M. (2014). El cultivo del frambueso.
- Gavilán Pino, V. A. (2019). Balance anual de agua en cultivos utilizando datos de serie de tiempo armonizados de Landsat-8 y Sentinel-2.
- González, M., & Céspedes, M. (2010). Manual de producción de frambuesa orgánica. *Boletín INIA. Instituto de investigación agropecuaria, Chillán. Chile. 88p.*
- Holzapfel, E., Orrego, X., Jara, J., Salgado, L., & Souto, C. (2021). Manual Riego y Drenaje en frutales.
- INDAP (Chile). 2024. Instituto de Desarrollo Agropecuario [en línea]. Ministerio de Agricultura, Chile. <<https://www.indap.gob.cl/fichas-tecnicas>>, [consulta: 10 marzo 2024].
- Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., & Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. *Agricultural Water Management*, 146, 84-94.
- Li, Y., Kinzelbach, W., Zhou, J., Cheng, G. D., & Li, X. (2012). Modelling irrigated maize with a combination of coupled-model simulation and uncertainty analysis, in the northwest of China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(5), 1465-1480.
- López-Olivari, R. (2016). Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el Sur de Chile: conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para optimizar el recurso hídrico.

- Lorite, I. J., Mateos, L., & Fereres, E. (2004). "Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment: II. Variability among crops and farmers." *Irrigation Science*.
- Merlet Badilla, H., Navarro Villarroel, A., & Rosales, J. (2016). Manual técnico productivo y económico Frambuesa. (Pub. CIREN N° 189).
- Morales, C. G., Riquelme, J., & Hirzel, J. (2017). Manual de manejo agronómico del frambueso.
- Ramírez Díaz, S. F., Jara Rojas, R. A., & Paillán Legue, H. (2019). *Aplicación de un índice de sustentabilidad en frambuesa: comparación entre predios agroecológicos, orgánicos y convencionales en la región del Maule* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.).
- Sandoval, M., Dörner, J., Seguel, O., Cuevas, J., & Rivera, D. (2012). Métodos de análisis físicos de suelos. *Publicaciones del Departamento de Suelos y Recursos Naturales*, (5).
- Santos, C., Lorite, I. J., Tasumi, M., Allen, R. G., & Fereres, E. (2010). Performance assessment of an irrigation scheme using indicators determined with remote sensing techniques. *Irrigation Science*, 28, 461-477.
- Undurraga, P., & Vargas, S. (2013). Manual De Frambuesa. Instituto De Investigaciones Agropecuarias (Inia).

8. ANEXOS



Figura A1. Sector “D” del Fundo Santa Sara, muestras del perfil de suelo, antes de comenzar la temporada.



Figura A2. Hiler 3 del sector “C” del Fundo Santa Sara, aforo de las líneas de riego.



Figura A3. Tranque que abastece a la plantación de frambuesos (I) junto a la caseta de riego (II) del Fundo Monterrico.

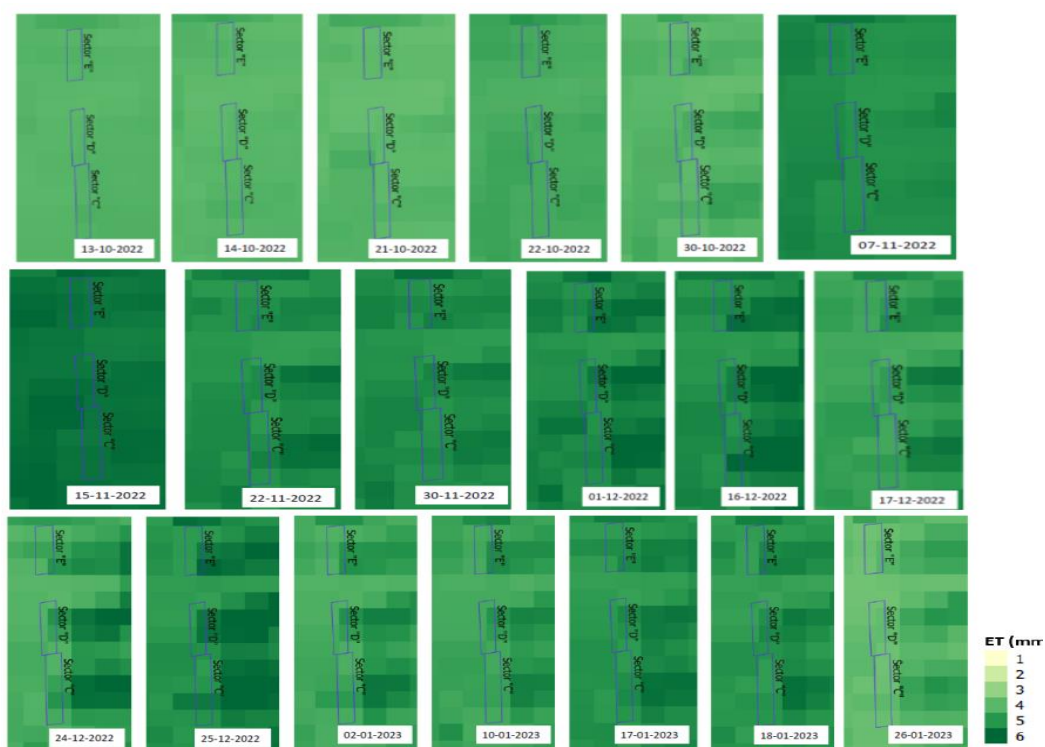


Figura A4. Mapa de evapotranspiración obtenida mediante imágenes satelitales del sector del Fundo Santa Sara desde octubre a enero, temporada 2022/ 2023.

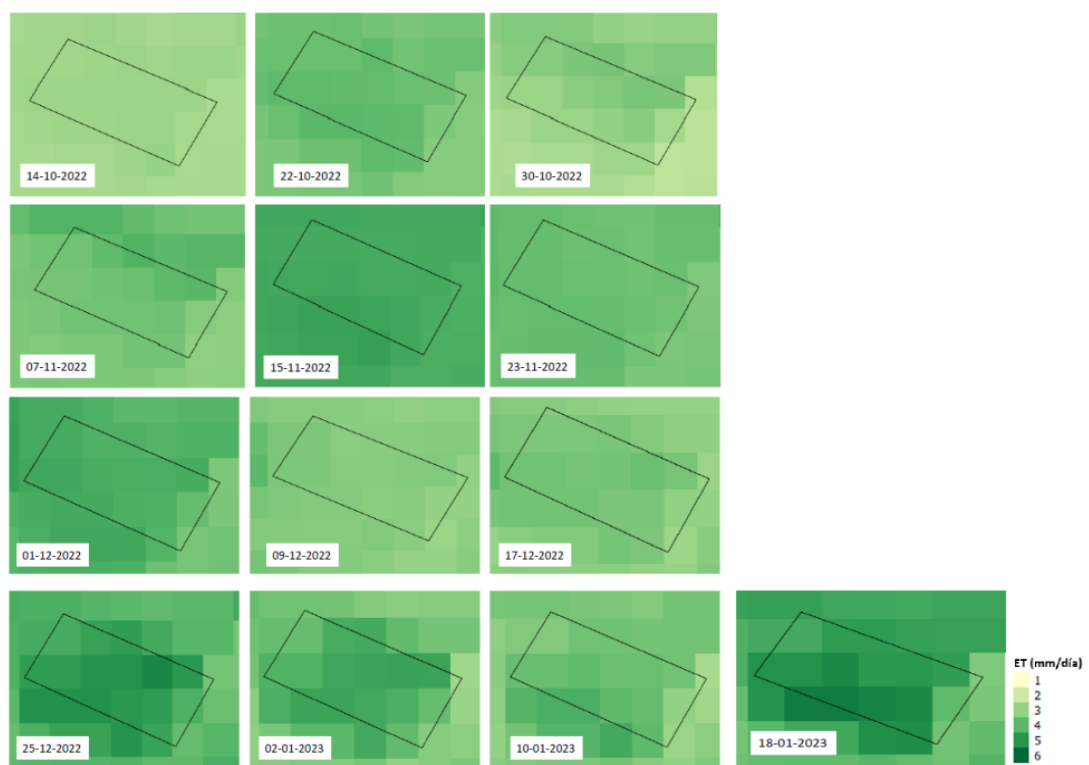


Figura A5. Mapa de evapotranspiración obtenida mediante imágenes satelitales del sector del Fundo Monterrico, temporada 2022/2023.

Tabla A1. Datos de evapotranspiración de cultivo obtenidos mediante imágenes satelitales en el Fundo Santa Sara durante la temporada 2022/ 2023, sector Laja.

| N° | FECHA | ET promedio (mm día ⁻¹) | | |
|----|------------|-------------------------------------|----------|----------|
| | | Sector E | Sector D | Sector C |
| 1 | 13-10-2022 | 3,2 | 3,2 | 3,2 |
| 2 | 14-10-2022 | 3,0 | 3,0 | 3,2 |
| 3 | 21-10-2022 | 2,9 | 3,1 | 3,0 |
| 4 | 22-10-2022 | 3,5 | 3,6 | 3,4 |
| 5 | 30-10-2022 | 3,0 | 3,3 | 3,0 |
| 6 | 07-11-2022 | 4,3 | 4,3 | 4,1 |
| 7 | 15-11-2022 | 4,8 | 5,0 | 4,7 |
| 8 | 22-11-2022 | 4,1 | 4,2 | 4,4 |
| 9 | 23-11-2022 | 4,2 | 4,3 | 4,1 |
| 10 | 30-11-2022 | 4,3 | 4,4 | 4,3 |
| 11 | 01-12-2022 | 4,2 | 4,1 | 4,1 |
| 12 | 16-12-2022 | 4,0 | 4,1 | 4,3 |
| 13 | 17-12-2022 | 3,6 | 3,7 | 3,6 |
| 14 | 24-12-2022 | 3,3 | 3,4 | 3,8 |
| 15 | 25-12-2022 | 4,0 | 4,1 | 4,1 |
| 16 | 02-01-2023 | 3,3 | 3,4 | 3,9 |
| 17 | 10-01-2023 | 3,5 | 3,6 | 3,5 |
| 18 | 17-01-2023 | 4,0 | 4,2 | 4,1 |
| 19 | 18-01-2023 | 3,8 | 4,0 | 4,0 |
| 20 | 26-01-2023 | 2,7 | 2,9 | 2,9 |

Tabla A2. Datos de evapotranspiración de cultivo obtenidos mediante imágenes satelitales en el Fundo Monterrico durante la temporada 2022/ 2023, sector Pinto.

| N° | FECHA | ET promedio (mm día ⁻¹) |
|----|------------|-------------------------------------|
| | | Sector |
| 1 | 14-10-2022 | 2,0 |
| 2 | 22-10-2022 | 2,9 |
| 3 | 30-10-2022 | 2,5 |
| 4 | 07-11-2022 | 2,8 |
| 5 | 15-11-2022 | 3,5 |
| 6 | 23-11-2022 | 2,8 |
| 7 | 01-12-2022 | 3,5 |
| 8 | 09-12-2022 | 2,4 |
| 9 | 17-12-2022 | 2,7 |
| 10 | 25-12-2022 | 4,1 |
| 11 | 02-01-2023 | 3,6 |
| 12 | 10-01-2023 | 2,9 |
| 13 | 18-01-2023 | 4,0 |

