

**EVALUACIÓN DE TRES SISTEMAS DE CONTROL DE HELADAS
MEDIANTE RIEGO POR ASPERSIÓN EN CULTIVO DE CEREZOS
(*Prunus avium* L.) EN EL VALLE DE LOS ANTIGUOS,
PROVINCIA DE SANTA CRUZ**

Ing. Agr. Juan Santiago Arhancet

TESIS

Para optar al grado de Magister en Riego y Drenaje

Universidad Nacional de Cuyo

Facultad de Ciencias Agrarias

Septiembre 2024

COMITÉ ASESOR

Director: Ing. Agr. M. Sc. Leandro D. Martín

Codirector: Ing. Agr. Fernando A. Manavella

COMITÉ EVALUADOR

Dr. Oscar Carlos DUARTE (UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL)

Mgtr. Ing. Agr. María Eugenia RODRIGUEZ (FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS-
UNCuyo)

M. Sc. Joaquín Antonio LLERA (FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS- UNCuyo)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia (padres, tío, esposa, hija y hermanos), por poner su ejemplo, su esfuerzo, tiempo, comprensión y apoyo permanente.

Al Ing. Agr. Fernando Manavella (Co-Director de esta Tesis), por compartir sus conocimientos y experiencias, y por sugerirme, a lo largo de los numerosos viajes de trabajo por la Patagonia, que estudiara esta Maestría y que trabajara en este tema de Tesis; lo que me permitió descubrir un mundo que hoy me apasiona.

Al Ing. Agr. Mgtr. Leandro Martin (Director de esta Tesis), por haber puesto permanentemente su mirada crítica y su orientación para llevar a buen puerto este trabajo. Sin lugar a duda, un gran profesional de esta casa de estudios.

Al Ing. Agr. Mgtr. José Morábito, por su disposición y consejo permanente para que pueda avanzar y concluir mis estudios de Maestría.

Al Ing. Agr. Víctor Lipinski, la Ing. Agr. Lidia Podesta y la Ing. Agr. Daniela Consoli, por sus aportes técnicos y metodológicos para el desarrollo de esta Tesis.

Al Lic. Ezequiel Marcuzzi, por su contribución en aspectos de monitoreo de temperaturas.

A los docentes de la cátedra de Estadística de la UNCuyo, por sus aportes en la selección e interpretación del modelo de análisis de datos.

A la Cooperativa Agrofrutícola El Oasis Ltda. (en especial al Ing. Agr. Federico Guerendiain y al Sr. Ernesto Navarta) y a la empresa Southern Crops by Rio Alara, por poner a disposición los equipos de control de heladas y los cultivos para desarrollar el monitoreo y las evaluaciones implicadas en este trabajo. Al personal de campo y encargados de chacra, especialmente a Alberto "Beto" Vázquez (de la firma Southern Crops by Río Alara) por su colaboración y permanente interés en las actividades.

Al INTA, por brindarme el tiempo para poder realizar esta Maestría, y especialmente a mis compañeros de oficina (Fernando, Liliana, Verónica y Martín) por el apoyo, y a mis compañeros de la EEA Santa Cruz (Daniela Ferrante, Victor Utrilla, Pablo Peri) por poner a disposición los equipos para el monitoreo de condiciones ambientales.

A todos los que me acompañaron durante los ensayos de campo (las noches de control de heladas o los días de relevamiento de daños): mis padres, mi esposa, Fernando Manavella, Verónica Rojas, Liliana San Martino, Karen Ávila, Aylin Serrano, Martín Roa.

A todos, mi sincero agradecimiento.

INDICE

INTRODUCCIÓN	10
Producción y superficie de cereza	10

Cultivo de cerezos	13
Daño por heladas	16
Heladas	20
Sistemas de control activo de heladas	23
FORMULACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN	28
OBJETIVOS	29
Objetivo General	29
Objetivos Específicos	29
HIPÓTESIS	29
MATERIALES Y MÉTODOS	30
Área de estudio	30
Sistemas de control de heladas	30
Datos meteorológicos	33
Daños por heladas	35
Análisis estadístico	36
RESULTADOS	38
Sitio 1: Sistema de control de heladas mediante Riego por microaspersión Sub-Arbórea (RSA)	38
Temperatura, humedad relativa ambiental e intensidad de las heladas	38
Daño en órganos reproductivos	40
Sitio 2: Riego por Microaspersión de Bajo Caudal (RMBC) sobre la canopia	43
Temperatura, humedad relativa ambiental e intensidad de las heladas	43
Daño en órganos reproductivos	45
Sitio 3: Riego por aspersión convencional (RAC) sobre la canopia	48
Temperatura, humedad relativa ambiental e intensidad de las heladas	48
Daño en órganos reproductivos	50
Desempeño de los equipos de control de heladas	52
DISCUSIÓN	55
Riego por microaspersión Sub-Arbórea (RSA)	55
Riego por Microaspersión de Bajo Caudal	56
Riego por Aspersión Convencional (RAC)	57
CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	63
ANEXO I: Salida de procesamiento análisis estadístico de daño en órganos reproductivos (Software: InfoStat 2020)	63
Riego por microaspersión Sub-Arbórea (RSA)	63
Riego por microaspersión de bajo caudal (RMBC) sobre la canopia	70
Riego por aspersión convencional (RAC)	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Exportación por país de origen y por temporada del hemisferio sur, con el porcentaje de variación entre campañas de cosecha (VAR) y el porcentaje de participación de cada país durante la temporada 2021/22 (Quiroz et al., 2022)	10
Tabla 2. Superficie de producción de cereza por provincia (Sánchez, 2020)	11
Tabla 3: Período de floración: inicio y fin (gris), plena flor (negro) y fruto cuajado (rojo) en cuatro variedades de <i>Prunus avium</i> (L) en diferentes sitios del valle de Los Antiguos durante tres temporadas (INTA AER Los Antiguos, comunicación personal, 04 de mayo de 2023)	15
Tabla 4: Valores medios de las temperaturas críticas (T_c) de congelación/muerte de yemas, en pruebas de congelación controlada de cerezos Bing, en Prosser, estado de Washington, EE.UU. (Webster y Looney, 1996; Longstroth y Perry, 1996 en: Cittadini y San Martino, 2006).	19
Tabla 5: Temperatura del Punto de Rocío ($^{\circ}\text{C}$) correspondiente a la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y la Humedad Relativa (%). (Snyder et al., 2010)	22
Tabla 6: Frecuencia mensual y anual de heladas (días con heladas) en el valle de Los Antiguos, períodos 2000-2005 (frecuencia media color celeste) y 2006- 2021 (frecuencia media color verde). (Fuente: Manavella y San Martino. 2022)	23
Tabla 7: Categoría y subcategoría de los métodos de protección contra heladas (Snyder, et al., 2010)	23
Tabla 8: Compensación por déficit de humedad (Kcal/ha/h, Tassara 2007)	26
Tabla 9. Distribución de sensores en los sitios bajo estudio	33
Tabla 10: Características técnicas de los datalogger empleados	33
Tabla 11: Clasificación de los eventos de helada (Leve, Moderado, Fuerte) según temperatura y tiempo de exposición, para los diferentes estados fenológicos.	34
Tabla 12. Estados fenológicos (según Wertheim, 1976) registrados durante los eventos de helada.	39
Tabla 13: Temperatura mínima (T_{\min}), tiempo por debajo de la $TC_{10\%}$ ($T_{po} < T_{c10\%}$) en Testigo y RSA e intensidad del evento para el Sitio 1 durante las temporadas 2020-2021.	40
Tabla 14: Resumen de resultados obtenidos, a partir del análisis estadístico, para los 5 eventos considerados.	408
Tabla 15: Valores de Odds obtenidos en el Testigo y RSA, para los diferentes eventos	43
Tabla 16: Estado fenológico para los eventos relevados	442
Tabla 17. Temperatura mínima (T_{\min}) y tiempo por debajo de la $TC_{10\%}$ (T_{po} bajo $T_{c10\%}$) en Testigo y RMBC; intensidad del evento, para el Sitio 2 durante las dos temporadas de monitoreo	45
Tabla 18: Resumen de resultados del análisis de daño, obtenidos para los 3 eventos considerados.	453
Tabla 19: Datos de Chi cuadrado de Pearson (X^2_m), grados de libertad (gl) y p-valor, extraídos del Anexo II, para los tres eventos considerados.	47
Tabla 20: Valores de Odds obtenidos en el Testigo y con la aplicación de Riego por Microaspersión de Bajo Caudal (RMBC), para los 3 eventos.	475
Tabla 21: Estados fenológicos para los eventos relevados en el Sitio 3 durante 2020 y 2021	49
Tabla 22: Temperatura mínima (T_{\min}) y tiempo por debajo de la $TC_{10\%}$ (T_{po} bajo $T_{c10\%}$) en Testigo y RAC; intensidad del evento, para el Sitio 3 durante las dos temporadas de monitoreo	49
Tabla 23: Resumen de resultados del análisis de daño, obtenidos para los 2 eventos considerados.	50
Tabla 24: Datos de Chi cuadrado de Pearson (X^2_m), grados de libertad (gl) y p-valor, extraídos del Anexo II, para los eventos considerados.	51

Tabla 25: Valores de Odds obtenidos en el Testigo y con la aplicación de Riego por Aspersión Convencional (RAC), para ambos eventos	52
Tabla 26: Presión (Kg/cm ²) registrados en el aspersor más cercano al cabezal (primer aspersor) y en el más alejado de lote.	520
Tabla 27: Datos de Volumen medido por hora (cm ³ /h) obtenidos a campo, expresados en lámina (mm/h) en relación con el diámetro del pluviómetro utilizado, y diferencia entre lámina y lámina media (Δh).	53
Tabla 28: Valores de Coeficiente de Uniformidad (CU) para los tres sistemas de control de heladas evaluados.	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superficie (hectáreas) y Producción/Rendimiento (Toneladas), por mil (K), de cerezas a nivel mundial, entre 1994 y 2022 (FAOSTAT, 2023)	10
Figura 2. Superficie (hectáreas) y Producción/Rendimiento (Toneladas) de cerezas en Argentina, entre 1990 y 2022 (FAOSTAT, 2023)	11
Figura 3. Localidad de Los Antiguos a orillas del lago Buenos Aires en la provincia de Santa Cruz, República Argentina.	12
Figura 4: Superficie (hectáreas) implantadas con cereza en Los Antiguos, desde 1990 hasta 2020 (Manavella et al., 2020)	12
Figura 5: Ramillete de mayo: yemas reproductivas rodeando yema vegetativa en cerezo (Hedhly, 2003).	13
Figura 6: Estados fenológicos según Wertheim (Fotografías de Pablo Oliveri; Santiago Arhancet)	15
Figura 8: Flor de cerezo en estado de Corola visible. Izquierda: Gineceo sin daño; Derecha: gineceo necrosado por efecto de un evento de helada. (Fotos: Fernando Manavella y Santiago Arhancet).	18
Figura 9: Frutos de cerezo dañados por efecto de una helada tardía	18
Figura 10: Rama de cerezo (<i>Prunus avium</i> var. Sweet Heart) donde se puede apreciar la coexistencia de órganos con distinto grado de desarrollo: 1. Cáliz visible; 2. Punta Blanca; 3. Flor abierta.	19
Figura 11: Daño en flores de cerezo. a: necrosis del gineceo en estado de punta blanca; b: daño en androceo, gineceo y pétalos en estado de plena flor; c: daño en estado de fruto cuajado.	20
Figura 12: Encharcamiento en lote de cereza con aspersión convencional	24
Figura 13. Izquierda: Órganos reproductivos de cerezo en estado de punta blanca bajo hielo translucido en sistema de control de heladas convencional; Derecha: carámbanos con gotas de agua líquida en el extremo inferior	25
Figura 14: Ubicación de los Sitios con los diferentes sistemas de control de heladas en el Valle de Los Antiguos. Sitio 1: Control sub-arbóreo; Sitio 2: Microaspersión de bajo caudal; Sitio 3: Aspersión convencional.	30
Figura 15: Izquierda: microaspersor Senninger Miniwobbler Vertical Boquilla #5 Beige; Derecha: Microaspersor en funcionamiento.	31
Figura 16: A: Pulsador y microaspersor colocado en la estructura de soporte (alambre tensado); B: regulador de flujo Netafim; C: Microaspersor Gyronet de la firma Netafim; Sistema pulsador PIP.	31
Figura 17: Aspersor convencional en funcionamiento. (Fotografías: Pablo Oliveri; Fernando Manavella)	32
Figura 18: A) Data logger (temperatura y humedad) Decagon Em50; B) Data logger (temperatura y humedad) HOBO Familia H08; C) Data logger (temperatura y humedad) serie Pro V2 U23.	33
Figura 19: Datalogger Decagon Em50, sobre una rama a 1,5m de altura y en la misma ubicación que los órganos reproductivos.	34
Figura 20: Anemómetro de cazoletas utilizado en el monitoreo de condiciones ambientales.	34
Figura 21: A: Muestras tomadas luego de un evento de helada, en estado fenológico de Punta Blanca. B: Corte longitudinal de dos flores. Izquierda con los órganos en perfecto estado; Derecha con estilo y estigma necrosados por las bajas temperaturas.	36
Figura 22: Temperatura promedio en °C (Testigo y RSA), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (Tc) y Humedad Relativa en porcentaje (HR) medida en el Testigo, para el Sitio 1 durante la temporada 2020.	38
Figura 23: Temperatura promedio en °C (Testigo y RSA), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (Tc) y Humedad Relativa en porcentaje (HR) medida en el Testigo, para el Sitio 1 durante la temporada 2021	39

Figura 24: Hielo en el interfilar del tratamiento con RSA durante el evento del 20/10/20	39
Figura 25: Probabilidad de obtener flores sanas, en Testigo y RSA, calculada mediante Regresión Logística para los diferentes eventos y magnitudes analizados	43
Figura 26: Temperatura promedio en °C (Testigo y RMBC), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (T10%) y Humedad Relativa (H°) en Testigo, para el Sitio 2 durante la temporada 2020	44
Figura 27: Temperatura promedio en °C (Testigo y RMBC), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (T10%) y Humedad Relativa (H°) en Testigo, para el Sitio 2 durante la temporada 2021	44
Figura 28: A: Sensor de temperatura cubierto por hielo y agua en estado líquido; B: Sensor cubierto por hielo sin agua líquida	45
Figura 29: Probabilidad de obtener flores sanas en Testigo y RMBC, estimada mediante Regresión Logística.	48
Figura 30: Temperatura promedio en °C (Testigo y RAC), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (T10%) y Humedad Relativa (H°) en Testigo, para el Sitio 3 durante la temporada 2020	48
Figura 31: Temperatura promedio en °C (Testigo y RAC), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (T10%) y Humedad Relativa (H°) en Testigo, para el Sitio 3 durante la temporada 2021	49
Figura 32. A: Plantas de cerezo en el Sitio 3 con carámbanos de más de 30 cm; B: Órganos reproductivos en estado de Corola Visible cubiertos por hielo transparente; C: Rama de cerezo cubierta de hielo, con carámbanos goteando agua líquida.	50
Figura 33: Probabilidad de obtener flores sanas en Testigo y RAC, estimada mediante Regresión Logística	52
Figura 34: Izquierda: agua asperjada chocando con tronco en la línea de plantación. Derecha: Proyección de la sombra provocada por dicha intercepción	54
Figura 35: Izquierda: Estructura de soporte cubierta de hielo. Derecha: Mangueras de riego localizado cubiertas de hielo durante el control de heladas.	54
Figura 36: Estructura de soporte cubierta de hielo luego de un evento de helada	55

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron tres sistemas para el control de daños por bajas temperaturas, debidos a heladas tardías primaverales, mediante la implementación de riego por microaspersión sub-arbóreo (RSA), riego por microaspersión de bajo caudal (RMBC), y riego por aspersion convencional (RAC). Los ensayos se realizaron en tres sitios de producción comercial de cereza (*Prunus avium* L.) variedad "Sweetheart" en plena producción, ubicados en el valle de Los Antiguos (Santa Cruz, Argentina), durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2020 y 2021. El sistema RSA mostró una respuesta positiva ante eventos de magnitud moderada, y una respuesta ineficiente o hasta contraproducente en eventos de magnitud fuerte. Por su parte la implementación de RMBC mostró un nivel de daño similar a los evidenciados en el testigo, ante eventos de magnitud leve, y un nivel de daño elevado ante eventos de magnitud fuerte, pudiendo ser contraproducente su implementación en estos casos. Finalmente, la implementación de RAC mostró resultados positivos frente a eventos de magnitud moderada y fuerte, siendo la probabilidad estimada de obtener flores sanas de 0,70 y 0,91, respectivamente.

Palabras clave: Heladas tardías, Riego por aspersion, Riego por microaspersión

ABSTRACT

In the present work, three systems were evaluated to control damage due to low temperatures, due to late spring frosts, through the implementation of sub-arboreal micro-sprinkler irrigation (RSA), low-flow micro-sprinkler irrigation (RMBC) and conventional sprinkler irrigation (RAC). The trials were carried out in three sites of commercial production of cherry (*Prunus avium* L.) variety 'Sweetheart' in full production located in the Los Antiguos valley (Santa Cruz, Argentina), during the months of September, October and November of 2020 and 2021. The RSA system showed a positive response to events of moderate magnitude, and an inefficient or even counterproductive response to events of strong magnitude. The implementation of RMBC showed a level of damage similar to that found in the control, in low-magnitude events, and a high level of damage in strong-magnitude events, its implementation could be counterproductive in these cases. Finally, the implementation of RAC showed positive results against events of moderate and strong magnitude, with the estimated probability of obtaining healthy flowers being 0.70 and 0.91, respectively.

Keywords: Late frosts, Irrigation by aspersion, Irrigation by micro aspersion

INTRODUCCIÓN

Producción y superficie de cereza

La cereza es un cultivo que se ha incrementado notablemente a nivel mundial (Figura 1), siendo los principales productores Turquía, Estados Unidos, Chile, Uzbekistán, Irán, España, Italia, Grecia, Ucrania y Polonia.

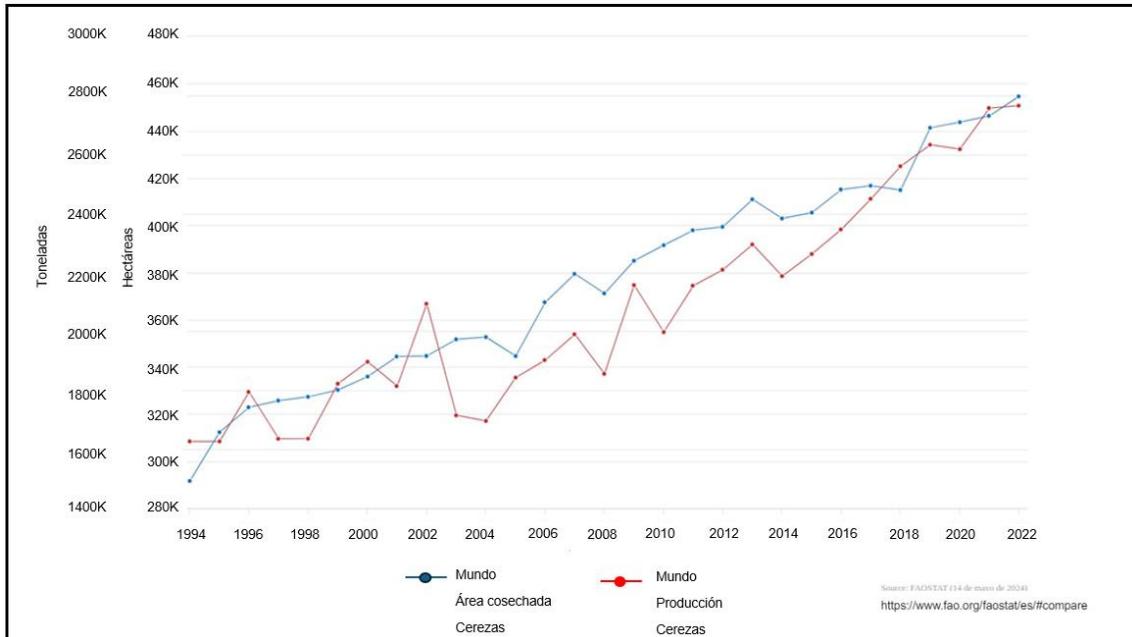


Figura 1. Superficie (hectáreas) y Producción/Rendimiento (Toneladas), por mil (K), de cerezas a nivel mundial, entre 1994 y 2022 (FAOSTAT, 2023)

En el hemisferio sur la exportación alcanzó los 370.320 Tn durante la temporada 2021/2022 (Tabla 1), siendo Chile el principal exportador (95%), seguido por Argentina con el 1,7% del total.

Tabla 1. Exportación por país de origen y por temporada del hemisferio sur, con el porcentaje de variación entre campañas de cosecha (VAR) y el porcentaje de participación de cada país durante la temporada 2021/22 (Quiroz et al., 2022)

País	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022	VAR (%) 21/22 vs 20/21	Participación 2021/22(%)
Chile	186404	179928	228586	352474	356385	1,1	95,7
Argentina	4111	5212	5591	6059	6166	1,8	1,7
Australia	4275	5500	5003	4903	3975	-18,9	1,1
N. Zelanda	4244	2863	2182	2588	3220	24,4	0,9
Sudáfrica	728	619	163	347	624	80	0,2
Total H. Sur	199762	194122	241525	366371	370370	1,1	100

Argentina cuenta con aproximadamente 2.137 ha de cultivo de cerezas (Figura 2) (Sánchez, 2020) y se ubica en el puesto 33° de los principales productores mundiales en cuanto a volumen y en la 15° posición de los principales exportadores mundiales en valor (MAGyP, 2019).

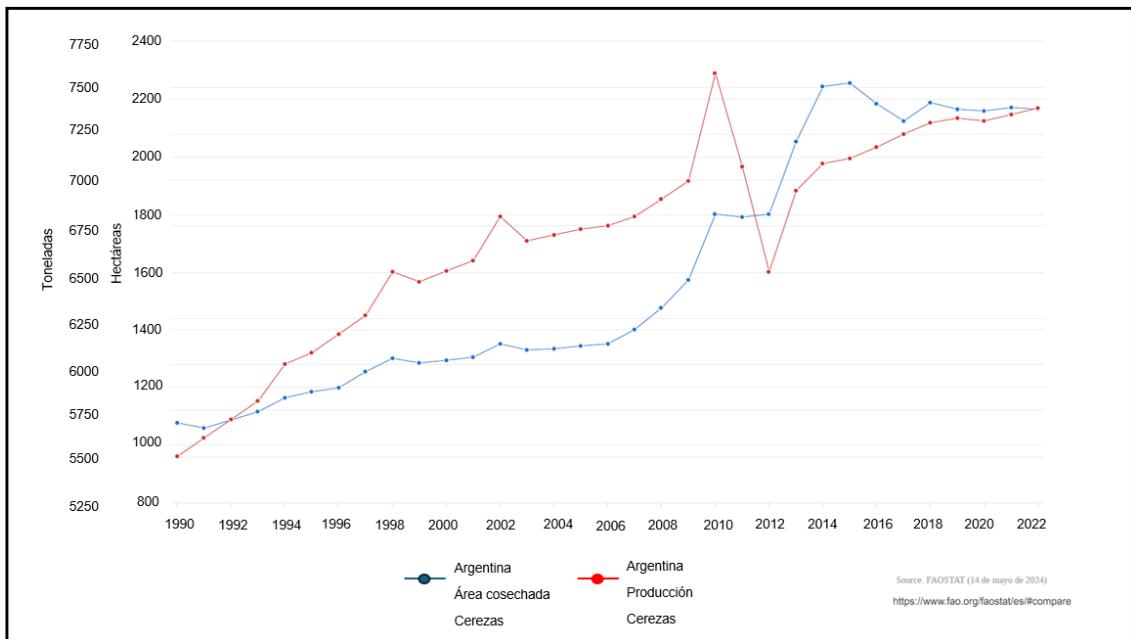


Figura 2. Superficie (hectáreas) y Producción/Rendimiento (Toneladas) de cerezas en Argentina, entre 1990 y 2022 (FAOSTAT, 2023)

La fortaleza fundamental de la producción de esta fruta en Argentina se basa en la contra estacionalidad respecto del hemisferio Norte y en que es el país que produce más tardíamente (MAGyP, 2019). Esto se debe a que la diferencia de latitud entre las diferentes zonas productivas del país (entre los 32° 20' y 46° 55' de latitud sur) permite contar con una cosecha que se extiende desde el mes de octubre, hasta principios y mediados de febrero, comenzando en Mendoza y finalizando con la fruta proveniente de Los Antiguos, Santa Cruz (Raffo et al., 2022). La producción de cereza fue adquiriendo mayor importancia en el sur del país (Tabla 2) y en la actualidad, aproximadamente, el 90% de las exportaciones provienen de la Patagonia, ambiente donde se obtiene fruta de reconocida calidad internacional (Sánchez, 2020; Caminiti, A. en Quiroz et al, 2021).

Tabla 2. Superficie de producción de cereza por provincia (Sánchez, 2020)

Provincia	Superficie (ha)
Mendoza	662
Río Negro	480
Chubut	400
Neuquén	275
Santa Cruz	260
Otras	60

El valle de Los Antiguos se localiza a los 46°33' de latitud sur y 71°37' de longitud oeste, en el noroeste de la Provincia de Santa Cruz, a orillas del Lago Buenos Aires (Figura 3).

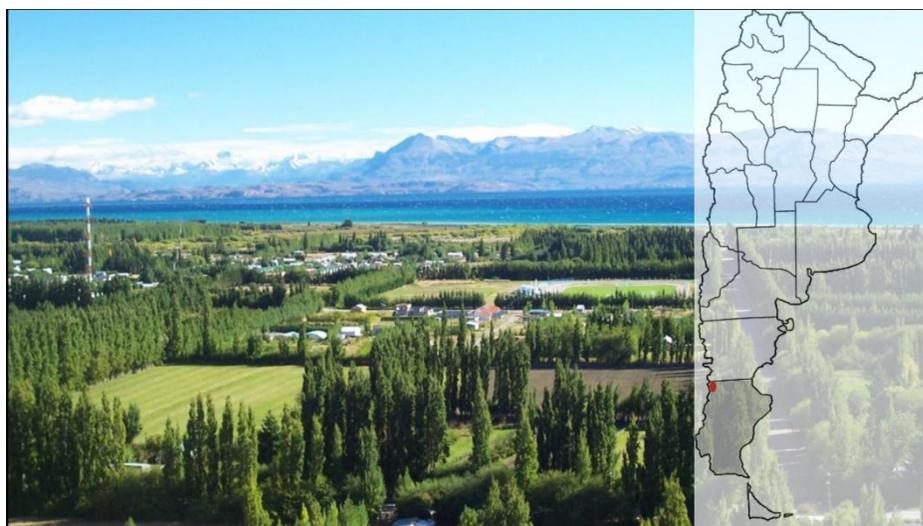


Figura 3. Localidad de Los Antiguos a orillas del lago Buenos Aires en la provincia de Santa Cruz, República Argentina.

Presenta un clima templado semiárido, con una temperatura media anual de 9,2 °C (período 2000-2005) y de 10,2°C (período 2005-2021). La precipitación media anual fue de 197mm (2000-2005) y de 184mm (2006-2021) (San Martino y Manavella, 2022). Tiene un potencial productivo de 1900 has, siendo el cultivo de cerezo (*Prunus avium L.*) la actividad económica más importante de la localidad, contando con 260 ha en producción (Figura 4). La característica local de esta producción es que proviene de variedades de maduración tardía, lo cual permite disponer de fruta cuando la misma se ha terminado en otras zonas productoras del país (Claps, 2006; Manavella et al, 2020; Raffo Benegas et al., 2022; Villareal et al., 2020).

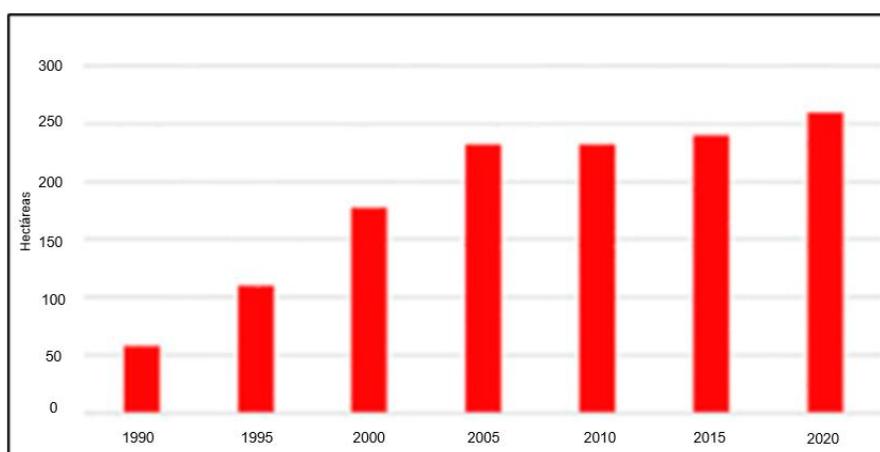


Figura 4: Superficie (hectáreas) implantadas con cereza en Los Antiguos, desde 1990 hasta 2020 (Manavella et al., 2020)

Las primeras plantaciones de cerezas en este valle se realizaron en la década del 70', y en el año 1997 se comenzó a exportar a España. En la década del 90' se produjo el primer recambio significativo de variedades, y en el año 2005/06 se comienzan a buscar variedades más tardías (Kordia, Sweetheart, Regina, Skeena) que mantuvieran su calidad en viajes largos. Actualmente, los principales destinos de exportación de esta fruta cosechada en Los Antiguos son: Medio Oriente (35%), Europa (30% entre: España, Inglaterra, Francia, Portugal), otros países (25% entre: Singapur, Estados Unidos, Canadá y Rusia) y, a partir del año 2019, en forma directa a China (10%) (Manavella et al, 2020).

Cultivo de cerezos

El cerezo, *Prunus avium L.*, es un frutal de hoja caduca, que pertenece a la familia de las Rosáceas, originario de la zona comprendida entre el mar Caspio y el mar Negro.

Es una especie relativamente exigente en horas de frío durante el período de latencia invernal, necesarias para lograr la ruptura de la dormición. Este requisito de horas de frío es diferente entre variedades, y la disminución en la acumulación de estas puede causar periodos más largos o irregulares de floración, retraso del inicio de la brotación, reducción del cuaje y aborto de frutos (Tersoglio et al., 2006; García Montiel, 2010; Ellena Dellinger, 2012; Webster y Looney, 1996).

Se trata de una especie que florece antes de la aparición de sus hojas, que son simples, ovaladas, dentadas y alternas, con estípulas y un pecíolo largo, con dos glándulas rojizas próximas al limbo. Las flores blancas del cerezo, largamente pedunculadas, están dispuestas en fascículos umbeliformes protegidos por numerosas brácteas basales (Muñoz Garmendia et al, 1998). (Figura 5). A pesar de que sus flores son hermafroditas, muchas variedades son autoestériles, debido a que presentan incompatibilidad gametofítica, lo que hace necesario la polinización cruzada para lograr rendimientos aceptables, siendo la polinización principalmente entomófila en variedades autofértiles y autoestériles (Hedhly, 2003; Scarpati y Puga, 2011; Lemus, 2005). Además, las condiciones de bajas temperaturas o mucho viento durante la etapa de floración pueden afectar el movimiento de los polinizadores y a su vez, disminuir la cantidad de flores polinizadas. De igual modo, el exceso de agua durante la floración puede generar dificultades para la polinización debido al lavado de estigmas e hinchado del polen (Ellena Dellinger, 2012).



Figura 5: Ramillete de mayo: yemas reproductivas rodeando yema vegetativa en cerezo (Hedhly, 2003).

Si bien la floración ocurre durante la primavera, los procesos de inducción y diferenciación floral se inician cuando hay fruta en el árbol en la temporada previa a la floración. La inducción floral es el proceso por el cual, ocurren cambios metabólicos en las yemas de origen vegetativo para transformarse en yemas florales. Esta etapa es seguida por la manifestación externa de la inducción, es decir la diferenciación floral, momento en el que se producen los cambios morfológicos (Raffo Benegas, et al. 2022; García Montiel, 2010). No se conoce de forma precisa la fecha en la que ocurre la inducción floral, la cual depende, entre otras cosas, de las condiciones fisiológicas del árbol que son afectadas por las prácticas culturales y por el clima (Hedhly, A. 2003). Son diversos los factores que pueden afectar la diferenciación floral, entre ellos se pueden

mencionar las altas temperaturas de verano que pueden provocar el desarrollo anormal de pistilos y formación de frutos dobles (Valenzuela Villar, 2019); del mismo modo que el estrés térmico, la luz, el balance interno de reguladores de crecimiento, el estado nutricional y la disponibilidad de agua, pueden influir en el desarrollo de esta etapa fundamental para la producción (Raffo Benegas et al. 2022).

Así como son necesarias horas frío para la ruptura de la dormición, se requiere la acumulación de horas calor para llegar a la floración. El momento de inicio de la floración y su duración depende de la variedad, del pie (patrón o portainjerto) y de las condiciones climáticas (Hedhly, 2003). Un aspecto de gran incidencia a nivel productivo es el conocimiento del momento de ocurrencia y duración de los diferentes estados fenológicos, lo que permitirá tomar decisiones importantes desde el punto de vista productivo, como por ejemplo la selección de variedades de floración tardía en zonas con riesgo de heladas; selección de variedades para polinización e introducción de polinizadores al establecimiento entre otros aspectos.

El ciclo fenológico del cerezo (Figura 6) comprende las siguientes etapas (Wertheim, 1976; Hochmaier y San Martino, 2007):

- Yema hinchada (YH): cuando se observan yemas verdes y pardas que hayan aumentado de grosor.
- Cáliz visible (CAV): cuando se observa el color verde del cáliz de los pimpollos.
- Punta blanca (PB): cuando se observan las puntas blancas de los pétalos en el extremo de las yemas.
- Inicio de floración (CF): 20% de flores abiertas (se observan los estambres).
- Floración plena (PF): 80% de flores abiertas.
- Fin de floración/Caída de pétalos: todas las flores abiertas (estambres curvos, caída de pétalos).
- Fruto cuajado (FC): observando el ovario, que debe tener al menos 2 mm de diámetro.
- Inicio de cosecha (IC): cuando más del 50% de los frutos del árbol se encuentran en estado óptimo de cosecha.

la siguiente estación. Condiciones que afecten su acumulación pueden afectar la tolerancia del árbol a los efectos perjudiciales de las bajas temperaturas (Lemus, 2005; Urbina Vallejo, 2007; Chaar, 2013).

Flore y Lane (1999) describen que: *“La productividad del cerezo depende del suministro y almacenamiento de fotoasimilados, y de la capacidad de translocar y dividir el carbono en estructuras vegetativas y reproductivas de una manera eficiente”*.

Existe un efecto directo en la planta de los factores externos sobre estos procesos, así como una interrelación entre los distintos puntos de la planta que pueden demandar estas sustancias. A modo de citar algunos de ellos: a) la luz puede tener efecto sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo, afectando la formación de botones florales, el crecimiento de frutos (el sombreado afecta el tamaño y el color de la fruta, disminuye los sólidos solubles, el cuajado y puede provocar la caída temprana de frutos) y la resistencia al frío; b) la defoliación causada por insectos o enfermedades, que alcanza un nivel que supera el daño que puede ser compensado y puede resultar en una reducción de fotoasimilados y c) condiciones de estrés causadas por inundación o sequía que pueden afectar directa o indirectamente los fotoasimilados (disminución de área foliar a través del cierre estomático) (Flore y Lane, 1999).

Considerando la compleja interrelación de los elementos mencionados (internos y externos), se puede comprender que no resulta simple atribuir los rendimientos productivos a la influencia de un solo factor, ni a las condiciones propias de una sola temporada.

Daño por heladas

El daño causado por las heladas, a través de la congelación en los tejidos vegetales, se considera un factor de estrés de gran relevancia en la fruticultura (Chaar, 2013). Para el cerezo, si bien las yemas inactivas parecen ser muy resistentes al frío, después de la ruptura de la dormición, la resistencia a temperaturas mínimas que pueden provocar daño es menor a otras especies como por ejemplo peral y manzano (Damario et al., 2006; Hernández, 1995). Por este motivo, las heladas tardías pueden provocar daños graves desde el estado de yema hinchada hasta la madurez de los frutos (Manavella y San Martino 2006).

De este modo, se puede afirmar que el verdadero riesgo a nivel productivo lo representan las heladas primaverales o heladas tardías (Hernández, 1995). El daño provocado por las heladas es el efecto conjunto de la baja temperatura y de su extensión en el tiempo o duración del descenso térmico (Bravo et al., 2020). Tal como menciona Urbina Vallejo (2007) *“...para una temperatura dada, el tiempo de exposición al frío está muy relacionado con la aparición gradual de daños. Así, suele resultar más perjudicial una temperatura de -2 a -3 °C durante varias horas que una temperatura mucho más baja en períodos menores de media hora...”*. Por su parte, Coletto et al (2003) representan la curva de daño en diferentes variedades de cereza (Ambrunés, Lapins, P. colorado, Sunburst y Van) a -2°C, en el estado fenológico comprendido entre inicio y plena floración, en la cual es posible apreciar que, sobre un tiempo de exposición de 2,5hs todas las variedades presentan más del 50% de daño.

El efecto producido por el hielo altera o detiene el normal desarrollo de los órganos y sus funciones, mediante la ocurrencia de dos situaciones (Arribillaga García, 2020):

- Daño directo: la formación de cristales de hielo dentro del protoplasma de las células.
- Daño indirecto: formación de hielo dentro de las plantas, pero fuera de las células.

Desde el punto de vista fisiológico el daño ocurre cuando el agua, que forma parte de los tejidos celulares, se congela y expande provocando la ruptura física de los mismos (Valenzuela Villar et al., 2020). Si el descenso térmico es paulatino, las disoluciones celulares son subenfriadas, comenzando la congelación en la zona extracelular por tener menor concentración de solutos. A medida que continúa el congelamiento en esta zona, se produce la salida de agua desde el interior de la célula, para compensar el déficit osmótico existente, ocurriendo la plasmólisis de las células y su contenido se concentra. Si el agua extraída por dicha congelación externa forma parte del agua de constitución, puede ocurrir la desnaturalización y, por ende, transformarse en un daño irreversible. Es decir que, si bien existen posibilidades de recuperación por parte de los tejidos, en determinadas circunstancias, puede ocurrir la muerte celular sin necesidad de que se forme hielo intracelular, ya sea por lo recientemente expuesto, o por una rápida velocidad de descongelación luego de la helada que puede provocar la pérdida irreversible de agua por transpiración (Urbina Vallejo, 2007).

En los tejidos de las plantas son necesarias temperaturas menores a 0 °C para que el agua se congele. El descenso lento de la temperatura permite que se baje varios grados el punto de congelación sin formarse hielo, lo que a su vez depende de los solutos celulares y de la presencia de nucleadores. De este modo, las reservas nutricionales pueden influir sobre la resistencia a las heladas por medio de la degradación del almidón en compuestos osmóticamente activos, que aumentan la capacidad de sobreenfriamiento del tejido vegetal (Chaar, 2013; Urbina Vallejo, 2007). Es entonces importante considerar que el daño provocado en los órganos depende de numerosos factores, algunos propios de la helada y otros de la planta (Urbina Vallejo, 2007).

La importancia y tipos de daños dependen, además de las mencionadas condiciones propias de la planta, de la intensidad y duración de la helada y del estado de desarrollo de la yema. Cuando las flores aún están cerradas, no se manifiestan síntomas externos del daño por helada, pero en el interior, los estilos y los ovarios pueden estar necrosados. Cuando la flor está expuesta, desde el estado fenológico de Punta blanca hasta la Caída de Pétalos, el efecto negativo de la helada se verá reflejado en el daño de la base del estilo y el ovario (Figura 7), pudiendo observarse todas las partes de la flor necrosadas frente a eventos de mayor intensidad. En estados fenológicos en los cuales el daño principal no se manifiesta a simple vista, al realizar un corte transversal en el órgano transcurridas 24-48 horas después de la helada, permitirá descubrir los daños producidos (Coletto et al., 2003; Damario et al., 2006).



Figura 7: Flor de cerezo en estado de Corola visible. Izquierda: Gineceo sin daño; Derecha: gineceo necrosado por efecto de un evento de helada. (Fotos: Fernando Manavella y Santiago Arhancet).

En flores, se produce la muerte del gineceo, y en frutos cuajados, puede ocurrir deshidratación, cambio de color y caída del árbol o manifestar daños menores como la superficie corchosa o deformaciones (Arribillaga García, 2020; Urbina Vallejo, 2007).

El estado de fruto cuajado es uno de los más sensibles al frío, pudiendo ser afectado el 10% y 90% de los frutos por temperaturas de -1.1°C y -1.7°C , respectivamente. El daño ocurre directamente sobre el embrión causando la muerte de este. Los frutos pueden presentar deshidratación (Figura 8), cambio de color, o caer de la planta, mientras que, con daños menos severos se manifiestan superficies corchosas o deformaciones (Arribillaga García, 2020; Coletto et al., 2003; Damario et al., 2006).



Figura 8: Frutos de cerezo dañados por efecto de una helada tardía

Se conoce como Temperatura crítica (T_c) a la que puede ser resistida sin daño por los órganos vegetales durante al menos media hora (Damario et al, 2006). Diversos autores mencionan diferentes T_c para un mismo estado fenológico (Hernández, 1995) y es importante comprender que en una misma rama pueden coexistir órganos con distinto estado de desarrollo (Figura 9).

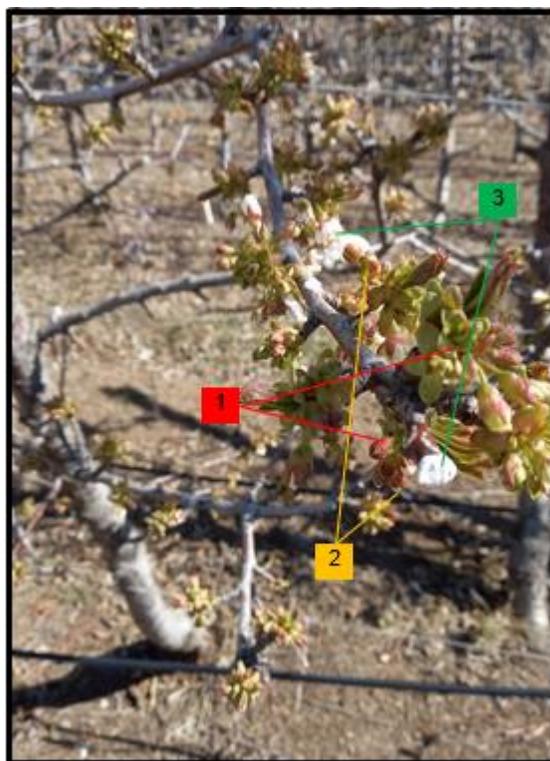


Figura 9: Rama de cerezo (*Prunus avium* var. Sweet Heart) donde se puede apreciar la coexistencia de órganos con distinto grado de desarrollo: 1. Cáliz visible; 2. Punta Blanca; 3. Flor abierta.

No es simple asignar una temperatura mínima crítica a cada momento del desarrollo fenológico debido a que el nivel de resistencia es afectado por muchos factores. Entre ellos, algunos propios del cultivo tales como la variedad, la severidad de la poda, el portainjerto, el estado nutricional de la planta y otros regulados por las condiciones meteorológicas acompañantes al descenso térmico (humedad relativa, presencia y velocidad del viento) y por la duración de la helada. A su vez, la influencia de numerosos factores que afectan el desarrollo y tolerancia de las plantas ante un evento de helada (estado nutricional, variedad, presencia de nucleadores, estado fenológico, temperatura, duración del evento) permite entender por qué hay diferencias entre las temperaturas críticas propuestas por diversos investigadores o por qué en estudios con condiciones controladas se observaron niveles de daño similares para temperaturas diferentes. Es importante destacar entonces que, las temperaturas críticas no son biológica o temporalmente constantes, por lo que no deben utilizarse de manera general o absoluta (Damario et al., 2006; Demirsoy et al., 2022). Por otra parte, las temperaturas bajo cero que no causan daños visibles en los órganos reproductivos pueden disminuir el porcentaje de frutos cuajados y afectar negativamente la polinización debido al menor vuelo de insectos, o disminuir el potencial de las flores para abrir y estar receptivas al polen (Chaar, 2013; Kodad et al., 2005).

Las temperaturas críticas (T_c) que producen la muerte del 10%, 50% y 90% de los órganos reproductivos en estado de plena floración del cerezo son de $-2,4^{\circ}\text{C}$, $-3,2^{\circ}\text{C}$ y $-3,9^{\circ}\text{C}$, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4: Valores medios de las temperaturas críticas (T_c) de congelación/muerte de yemas, en pruebas de congelación controlada de cerezos Bing, en Prosser, estado de Washington, EE.UU. (Webster y Looney, 1996; Longstroth y Perry, 1996 en: Cittadini y San Martino, 2006).

Estado fenológico	$T_{c_{10}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c_{50}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c_{90}}$ ($^{\circ}\text{C}$)
Yema Hinchada	-5,8	-9,9	-13,4

Punta verde	-3,7	-5,9	-10,3
Punta Blanca	-3,1	-4,3	-7,9
Corola Visible	-2,7	-3,6	-4,9
Inicio de Floración	-2,8	-3,4	-4,1
Plena Floración	-2,4	-3,2	-3,9
Post-floración	-2,1	-2,7	-3,6

Nótese que, a medida que se avanza en el desarrollo fenológico de los órganos reproductivos, la diferencia es cada vez menor entre los valores de Tc que producen entre el 10% al 90% del daño.

Según datos meteorológicos de la localidad de Los Antiguos en los últimos años, la temperatura mínima absoluta registrada alcanzo valores de $-6,0^{\circ}\text{C}$ en septiembre, $-4,2^{\circ}\text{C}$ en octubre, $-3,4^{\circ}\text{C}$ en noviembre y $-2,1^{\circ}\text{C}$ en diciembre (San Martino y Manavella, 2022). Al comparar esta información con el desarrollo fenológico (Tabla 3) de algunas de las principales variedades cultivadas en el área, se observa que existe un gran riesgo de daño durante todo el período de floración y cuajado de frutos del cerezo en la zona (desde fines de septiembre hasta finales de octubre).

Es importante mencionar que algunos autores, como por ejemplo Charr (2013), destacan que el aumento de las temperaturas debido al cambio climático puede constituir un factor relevante, pudiendo provocar un aumento del daño por heladas por anticipar el desarrollo fenológico producto de una desaclimatación primaveral.

Heladas

Desde el punto de vista meteorológico, se considera “helada” al evento que ocurre cuando la temperatura del ambiente medida bajo abrigo meteorológico desciende por debajo de 0°C . En cambio, desde el punto de vista agronómico, la helada se refiere al evento cuyo descenso de temperatura es capaz de provocar daño en los tejidos vegetales (Figura 10; Urbina Vallejo, 2007).



Figura 10: Daño en flores de cerezo. a: necrosis del gineceo en estado de punta blanca; b: daño en androceo, gineceo y pétalos en estado de plena flor; c: daño en estado de fruto cuajado.

Webster y Looney (1996) mencionan que la Temperatura crítica capaz de generar un 10% de daño en dormición (*Prunus avium* var. Bing) puede ser entre -35°C hasta -14°C según la época del año. Si bien pueden desarrollarse heladas de invierno, otoño o primavera (heladas tardías), estas últimas son las que pueden generar los mayores

daños en la producción, y por ello a partir de ahora se centrará la descripción en este evento.

Las heladas pueden clasificarse según las condiciones en que se desarrollan en: a) advección y b) radiación. Las primeras están relacionadas a ingresos de aire frío en una atmósfera con viento, cuyas temperaturas están por debajo de 0°C generalmente e incluso durante el día y presentan más dificultad para su control o prevención. Las heladas de radiación se vinculan al enfriamiento rápido del suelo y plantas debido a la pérdida de energía desde la tierra hacia la atmósfera es decir el suelo emite más radiación de la que recibe. Se produce una inversión térmica, con estratificación del aire de menor a mayor temperatura a medida que se incrementa la altura. Las condiciones favorables para la ocurrencia de este tipo de helada son cielo despejado, sin viento, baja humedad relativa y escasa humedad del suelo (Tassara, 2007; Urbino Vallejo, 2007; Snyder et al., 2010).

La ocurrencia de un tipo de helada no limita el desarrollo de la otra, es decir, que puede presentarse una helada por advección y seguidamente condiciones que favorezcan heladas de radiación (Snyder et al., 2010).

Si bien se han mencionado algunos factores, existen otros que pueden influir en el desarrollo del evento (Matías Ramirez, et al., 2001; Snyder y De Melo-Abreu, 2010; Tassara, 2007; Urbina Vallejo, 2007):

- Nubosidad: por las noches la tierra se enfría, producto de la pérdida de calor por radiación hacia la atmósfera. Las condiciones de nubosidad limitan dicha pérdida de energía, permitiendo que el calor se mantenga por más tiempo en la superficie.
- Viento: el viento puede provocar un descenso de temperatura en los cultivos o sobre la superficie del terreno, al provocar la evaporación (pérdida de calor latente) del agua y puede favorecer el movimiento de masas de aire estratificado; o como ya fue mencionado, provocar el ingreso de masas de aire frío (advección).
- Vapor de agua: La energía almacenada en las uniones entre moléculas de agua recibe el nombre de calor latente, y al pasar por diferentes estados es absorbido o liberado. Cuando la humedad es elevada, la temperatura a cuál el agua se condensa (punto de rocío) es más elevada. Al producirse la condensación en la superficie de las plantas, se libera energía y disminuye el descenso de la temperatura. Si la temperatura continúa bajando hasta 0 °C, el agua se congela cediendo nuevamente energía (80 calorías/gramo) y formando abundante escarcha sobre las plantas.

Para que ocurra la helada es necesario que la temperatura para alcanzar el Punto de Rocío (PR) sea inferior a la del aire (Tabla 5), de lo contrario se producirá la transferencia de calor latente, que protege al cultivo. Desde el punto de vista productivo, el registro de este parámetro en las horas previas a la helada es de gran utilidad. Los valores bajos indican que el descenso térmico será importante y están relacionados a la humedad

relativa baja, mientras que valores de punto de rocío cercanos a 0 °C indican que las temperaturas mínimas no serán demasiado extremas (Tassara, 2007).

Tabla 5: Temperatura del Punto de Rocío (°C) correspondiente a la temperatura del aire (°C) y la Humedad Relativa (%). (Snyder et al., 2010)

Humedad Relativa	Temperatura del aire							
	-2 °C	0 °C	2 °C	4 °C	6 °C	8 °C	10 °C	12 °C
100 %	-2	0	2	4	6	8	10	12
90 %	-3,4	-1,4	0,5	2,5	4,5	6,5	8,4	10,4
80 %	-5	-3	-1,1	0,9	2,8	4,8	6,7	8,7
70 %	-6,7	-4,8	-2,9	-1	1	2,9	4,8	6,7
60 %	-8,7	-6,8	-4,9	-3	-1,2	0,7	2,6	4,5
50 %	-11	-9,2	-7,3	-5,5	-3,6	-1,8	0,1	1,9
40 %	-13,8	-12	-10,2	-8,4	-6,6	-4,8	-3	-1,2
30 %	-17,2	-15,5	-13,7	-12	-10,2	-8,5	-6,8	-5
20 %	-21,9	-20,2	-18,6	-16,9	-15,2	-13,6	-11,9	-10,2
10 %	-29,5	-27,9	-26,4	-24,8	-23,3	-21,7	-20,2	-18,6

Teniendo en cuenta el contenido de humedad en la atmósfera, se pueden dividir a las heladas de radiación en dos categorías: aquellas en las cuales la humedad es alta y el vapor de agua se deposita y congela sobre la superficie de las plantas (helada blanca), o las que ocurren con temperaturas que caen por debajo de cero y con humedad baja, sin formación de hielo sobre las plantas, provocando daño sobre los tejidos (Snyder y De Melo-Abreu, 2010).

Desde el punto de vista energético, la radiación solar es la fuente principal de calor para el suelo y el microambiente vegetal, siendo la causa principal de enfriamiento la pérdida de calor por radiación hacia el espacio, lo que se ve agudizado cuando los días son más cortos y las noches más largas, debido por un lado a una menor acumulación de calor en el suelo, y a la existencia de mayor tiempo para que el mismo se transmita y pierda hacia la atmósfera (Matías Ramírez et al., 2001; Tassara, 2007).

Tabla 6: Frecuencia mensual y anual de heladas (días con heladas) en el valle de Los Antiguos, periodos 2000-2005 (frecuencia media color celeste) y 2006- 2021 (frecuencia media color verde). (Fuente: Manavella y San Martino. 2022)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Frec. anual
2000	0	0	1	9	4	22	22	24	12	4	3	0	101
2001	0	0	1	5	2	19	26	18	11	3	4	3	92
2002	0	2	1	5	18	25	21	20	7	9	6	0	114
2003	0	1	2	10	12	23	18	18	6	6	2	0	98
2004	0	0	1	5	12	15	25	18	7	4	4	0	91
2005	0	0	1	6	5	s/d	15	25	10	7	3	2	74*
Frec. media	0,0	0,5	1,2	6,7	8,8	20,8	21,2	20,5	8,8	5,5	3,7	0,8	99,2
2006	0	0	2	8	19	19	23	21	10	10	2	0	114
2007	0	2	1	3	19	17	11	19	13	7	2	0	94
2008	0	0	0	5	16	18	19	22	11	2	0	0	93
2009	0	0	2	2	11	12	11	10	9	2	2	0	61
2010	0	0	0	3	12	15	18	18	5	2	0	1	74
2011	0	0	0	2	7	14	15	23	2	0	0	0	63
2012	0	0	0	5	8	17	19	16	5	1	0	0	71
2013	0	0	0	3	9	7	20	14	16	5	1	0	75
2014	1	0	1	5	10	14	20	2	4	3	2	0	62
2015	0	0	0	3	4	10	11	16	8	6	2	0	60
2016	0	0	0	13	6	13	13	8	9	3	0	0	65
2017	0	0	0	2	8	21	17	13	5	3	0	0	69
2018	0	0	2	3	8	19	19	10	4	4	0	0	69
2019	0	2	0	3	10	12	10	10	11	6	0	0	64
2020	0	0	0	1	8	10	21	14	5	5	0	0	64
2021	0	0	1	0	7	18	11	18	11	3	0	0	69
Frec. media	0,1	0,3	0,6	3,8	10,1	14,8	16,1	14,6	8,0	3,9	0,7	0,1	72,9

En la localidad de Los Antiguos, considerando una serie de datos de 21 años (período 2000-2021), no se registran meses libres de heladas (Tabla 6), si bien durante diciembre, enero y febrero no se registraron heladas en la mayoría de los años. (Manavella y San Martino. 2022).

Sistemas de control activo de heladas

Las técnicas de protección contra heladas normalmente se dividen en métodos pasivos y activos (Tabla 7), siendo los primeros aquellos que actúan previniendo el efecto de las heladas, mientras que los métodos activos, en cambio, se desarrollan en el momento del evento y requieren una mayor cantidad de energía (Snyder et. al, 2010).

Tabla 7: Categoría y subcategoría de los métodos de protección contra heladas (Snyder, et al., 2010)

Categoría	Subcategoría	Método de protección
Pasiva	Biológica	Inducción de resistencia a la congelación sin modificar la genética de las plantas Tratamiento de semillas con agroquímicos Selección de plantas y mejora genética Selección de especies en base a su desarrollo fenológico Selección de fechas de plantación (sp. Anuales) Reguladores de crecimiento
	Ecológica	Selección de la ubicación Modificación del paisaje y microclima Control del estado nutricional Manejo del suelo Control de la cobertura del cultivo (malas hierbas)
Activa	Coberturas y radiación	Materiales orgánicos Coberturas con soporte Coberturas sin soporte

	Aspersores sobre las plantas
Agua	Aspersores bajo las plantas Microaspersores Riego por superficie Niebla artificial
Estufas	Combustible líquido Propano Horizontal
Máquinas de viento	Vertical Helicópteros
Combinaciones	Ventiladores y estufas Ventiladores y agua

El método de control de heladas mediante riego por aspersión aprovecha el calor latente liberado (80 cal/g) durante el cambio de estado líquido a sólido del agua. Si bien la inversión inicial es alta (sobre todo en aspersión convencional), el consumo de energía es más bajo que al implementar otros sistemas de control activo, como las estufas, y también es menor la demanda de mano de obra. Por otra parte, el uso de estos equipos por tiempos muy prolongados y de manera permanente puede generar encharcamiento (Fig. 12), y con ello causar problemas a las raíces, lavado de nutrientes e impedir el normal desarrollo de las actividades de manejo de manejo (Snyder y De Melo-Abreu, 2010).



Figura 11: Encharcamiento en lote de cereza con aspersión convencional

El fundamento de este método se basa en que la formación permanente de hielo sobre la planta libera el calor necesario para mantener la temperatura de los órganos vegetales ligeramente por debajo de 0°C. Por este motivo, se debe cubrir toda la plantación y garantizar el funcionamiento ininterrumpido del equipo, siendo indicadores de buen funcionamiento (Figura 12) la formación de gotas de agua líquida en el extremo inferior de los carámbanos y que el hielo se vea traslúcido (De Rossi et al., 2018; Manavella y Guerendiain, 2003).



Figura 12. Izquierda: Órganos reproductivos de cerezo en estado de punta blanca bajo hielo translucido en sistema de control de heladas convencional; Derecha: carámbanos con gotas de agua líquida en el extremo inferior

Si bien la cantidad de agua a aplicar depende de las características del evento de helada (temperatura mínima, duración y viento), se supone un consumo de 4 a 8 mm/h para una temperatura de -6°C (Sozzi, 2007). La lámina de riego a aplicar durante un evento de helada por radiación se puede estimar de forma teórica mediante el modelo propuesto por Gerber y Martsof, 1979 y la aproximación de Campbell y Norman, 1998 (Vargas y Chipana, 2015):

$$Ra = (Ta - 1,4458 u - 0,4568) (0,0538 u^2 - 0,5404 u - 0,4732)$$

siendo:

- Ra: Pluviometría (mm/h)
- Ta: Temperatura del aire (°C)
- U: velocidad del viento (m/s)

Tassara (2007) describe que la lámina de agua a aplicar se puede estimar al considerar diversos factores:

- Las pérdidas de energía por radiación hacia la atmósfera (del suelo y las plantas), las cuales se pueden calcular a partir de la ecuación de Stefan – Boltzmann, quienes determinaron que la intensidad de energía irradiada (I) por un cuerpo teórico o ideal (que absorbe toda la luz y la energía radiante que incide sobre él) es función de la cuarta potencia de su temperatura absoluta:

$$I = \sigma T^4$$

- I= intensidad de la radiación emitida por el cuerpo (en W/m²) y
- σ = constante de Stefan-Boltzmann (5,67 x 10⁻⁸ W/m²K⁴).
- T= temperatura del cuerpo (en K).

En noches despejadas, con una temperatura de 0 °C, las pérdidas energéticas en 1 hectárea son de 900.000 Kcal/hora

- Pérdidas de calor/energía por convección: son aquellas que se registran como producto de la diferencia de temperatura existente entre la zona protegida y los sectores aledaños que no tienen control de heladas. Es posible calcularlas mediante la fórmula de Tabard:

$$Q = F \times H \times V \times 3600 \times Ch \times \Delta T$$

- Q: calor en kilocalorías por hora (Kcal/h)
- F: ancho del contorno o frente en metros (m)
- H: altura del cultivo protegido en metros (m)
- V: velocidad de la masa de aire (viento) (m/seg.)
- Ch: calor específico del aire húmedo (Cal/m³/0 °C)
- ΔT: diferencia de temperatura entre el área protegida y el contorno (°C)
- La compensación energética por déficit de humedad (Tabla 8), que hace referencia a la energía requerida para saturar la atmósfera:

Tabla 8: Compensación por déficit de humedad (Kcal/ha/h, Tassara 2007)

Viento (m/s)	Humedad Relativa (%)		
	90	80	70
0	1672	3344	5434
1	63536	127490	191026
2	127490	254980	382052

Finalmente, mediante la suma de los tres factores mencionados (a-b-c) se obtiene las Kilocalorías por hectárea y por hora que se requiere compensar mediante el aporte de agua, y conociendo el aporte calórico (80cal/g) es posible calcular la pluviometría requerida por el equipo (mm/h) para determinadas condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

En todos los sistemas de control de heladas mediante aspersión, la decisión del momento de encendido y apagado del equipo es de suma importancia. Para esto se deben considerar la temperatura del termómetro húmedo (la cual refleja la temperatura de la planta en el momento de ser mojada), la temperatura crítica de daño y la velocidad del viento. En primer lugar, si la velocidad de viento a la altura de los aspersores es superior a 1m/s (3,6 Km/h) se debe encender el equipo, aunque se haya llegado a la temperatura de daño del vegetal. Si hay condiciones de calma (sin viento o inferior al umbral mencionado) y el descenso de temperatura es superior a 1 o 2°C/hora, se debe comenzar a controlar 1 o 2°C antes de la temperatura crítica. Si el descenso es menor a 1°C/hora, es posible encender cuando se alcanza la temperatura crítica. Otro criterio utilizado es encender el equipo de control de heladas a 0°C (termómetro húmedo), sin considerar la temperatura crítica, pero es posible que en algunos casos no se llegue a

una temperatura que pueda causar daño y el equipo se haya encendido innecesariamente (De Rossi et al., 2018; Tassara, 2007). El apagado del equipo se decide considerando que la temperatura del termómetro húmedo se encuentre entre 1 y 3°C sobre la temperatura crítica, considerando la ausencia de viento, con sol y constatando un aumento térmico sostenido, no siendo un factor necesario que se descongele el agua depositada sobre las plantas (De Rossi et al., 2018).

Sin embargo, ciertos factores como la disponibilidad de agua, la posibilidad de problemas en raíces, lavado de nutrientes y dificultades de manejo acarreados por el encharcamiento ocasionan en que los productores analicen otras alternativas al uso de aspersores convencionales, tales como la microaspersión sobre o bajo el dosel.

Para aspersores que aplican el agua sobre las plantas y que no giran, la idea es aplicar un caudal más bajo sobre una superficie más pequeña. Para aspersores y microaspersores que aplican el agua por debajo de las plantas (sub-arbóreo), la idea es mantener la temperatura superficial del suelo cerca de 0 °C, para lo cual es necesario compensar el calor que se pierde por radiación, con el objetivo de aumentar la radiación de onda larga y la transferencia de calor sensible a las plantas. Para esto es necesario suministrar agua en cantidad suficiente, abarcando la mayor superficie posible, siendo necesaria la presencia una mezcla de hielo y líquido sobre el sector irrigado (Snyder y De Melo-Abreu, 2010; Tassara, 2007).

A lo largo de todo el mundo se han utilizado diferentes tecnologías para control de heladas, algunas de las más utilizadas en Argentina han sido el riego por inundación, los calefactores o estufas de combustible líquido y el riego por aspersión (Snyder y De Melo-Abreu, 2010).

En el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, los principales sistemas de control de heladas, al menos hasta el año 2007, fueron, por orden de superficie ocupada, calefacción, aspersión e inundación, estando el mayor porcentaje de la superficie cultivada con frutales (manzano, peral, ciruelo, durazno y nectarina) sin sistemas de defensa contra heladas (Tassara, 2007). En la localidad de Los Antiguos, para el año 2011, sólo el 3,3 % del área cultivada con cereza contaba con sistemas de protección activa contra heladas, existiendo en los productores un elevado nivel de confianza en el efecto del lago Buenos Aires para atenuar su impacto (Righi et al., 2011). Actualmente, hay un aumento en la proporción de fincas con sistemas de control de heladas (siendo en su mayoría con aspersores convencionales sobre la canopia, aunque aún persiste, de forma casi aislada, la práctica de generar humo a partir de un combustible), y existe en los productores una mayor conciencia sobre la necesidad de implementar sistemas de protección activa de heladas. Este interés, producto de evidenciar la frecuencia e intensidad de los daños, ha llevado a la búsqueda de alternativas a la aspersión convencional, tales como la microaspersión sobre los árboles y sub-arbórea.

Un estudio realizado por la Fundación para la Innovación Agraria de Chile (FIA), en donde se brinda información de antecedentes sobre la investigación y desarrollo tecnológico que se han realizado en el mundo en cuanto a control de las heladas entre 2000 y 2014 menciona que, el uso de microaspersores es muy difundido, y que se puede

apreciar una marcada tendencia, a partir del año 2007, a las investigaciones y desarrollos relacionados a sustancias protectoras o reguladoras de crecimiento (Montenegro et al., 2016).

Por un lado, Montenegro et al. (2016) mencionan que son pocas las evaluaciones científicas que avalan el efecto de protección de estos productos, y los resultados con relación a su efectividad son diversos.

En relación con el uso de microaspersores, algunos autores concluyen que estos sistemas no proporcionan una protección completa ante todos los eventos de helada (Parsons y Boman; 2015), y que, si bien ofrecen ventajas desde el punto de vista sanitario para las plantas y simplicidad en su operación, el potencial de este sistema de defensa aún no se ha cuantificado del todo (De Rossi et al., 2018).

FORMULACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN

El principal aporte de la agrometeorología a los investigadores y agricultores es ofrecer la información necesaria para hacer frente a los problemas de la producción agrícola provocados por las variaciones meteorológicas y climáticas. Considerando esto, es relevante mencionar que las heladas tardías representan la adversidad climática de mayor importancia económica en la producción de cerezos (Snyder, 2010; Tassara, M. A. 2007).

El desarrollo y efectos de las heladas han sido estudiados ampliamente, pero con recurrencia se solicita nuevas investigaciones que aporten conocimiento sobre la sensibilidad de los sistemas agrícolas que son afectados por estos fenómenos (Bravo et al., 2020). Considerando esto, el análisis local de los efectos provocados por un fenómeno de helada, así como de la efectividad de los métodos de control empleados, resultan en un aporte sumamente relevante para la producción.

Damario et al. (2006) describen que es alto el riesgo de heladas (basado en el Índice de Peligrosidad de Heladas) en el valle de Los Antiguos para cerezas (variedad Bing) en floración y fructificación, pronosticándose anualmente pérdidas de diferentes magnitudes. Y mencionan que, si bien la utilización de variedades de floración tardía es una posibilidad para reducir el riesgo, la existencia de pérdidas en producciones anuales es inevitable, considerando que los valores de Índice de Peligrosidad de Heladas, que indican pérdida parcial, se mantienen en un valor alto aun después de 10 o 15 días de atraso en la fecha de plena floración (Damario et al., 2006).

En la temporada 1996/1997, una helada tardía en el valle de Los Antiguos provocó una pérdida aproximada del 70% de la producción. Del mismo modo, durante el año 2000 y en la temporada 2012/2013 se cuantificaron daños importantes (Manavella y San Martino, 2022).

En el valle de Los Antiguos se han utilizado principalmente tres sistemas de control de heladas en los montes de cereza: calefactores con depósito de combustible, tapa y chimenea, calefactor a inyección (depósito general de combustible, con bomba, cañerías primarias y secundarias y quemadores) y riego por aspersión convencional (Manavella y Guerendián, 2003). Muchos productores han dejado de implementar los sistemas que

implementan calefactores, debido a varios factores, entre los cuales se destacan: costo del combustible, contaminación y gran dependencia de mano de obra la cual es difícil de conseguir en la localidad (Guerendiain, F.; Manavella, F., Comunicación personal, 15 de octubre de 2021).

Actualmente, todos los sistemas de control de heladas presentes en la localidad son mediante riego por aspersión convencional, existiendo interés por parte de los productores en implementar sistemas que requieran menor volumen de agua aplicado y que posibiliten la utilización de equipos ya instalados para riego. A raíz de esto, actualmente se están implementando a modo de prueba diferentes sistemas de riego por microaspersión.

Considerando que existe un riesgo elevado de daño en órganos reproductivos, la elección de un sistema de control de heladas debe considerar su eficacia, la adaptabilidad al sistema productivo de cada establecimiento, así como la disponibilidad de agua y mano de obra, entre otros factores (Arribillaga García. 2020; Bravo, et. al. 2020).

En el presente trabajo, se evalúan tres métodos de protección contra heladas, mediante riego por aspersión y microaspersión, instalados por productores en fincas del valle de Los Antiguos, a fin de generar información local relacionada al desempeño de estos equipos ante diferentes eventos de helada.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar tres equipos de control activo de heladas mediante riego por aspersión y microaspersión frente a heladas tardías en montes de cerezos (*Prunus avium L.*) en condiciones reales de producción en el valle de Los Antiguos, Santa Cruz.

Objetivos Específicos

- Monitorear en forma continua la temperatura y humedad ambiental durante el control de heladas en los lotes bajo control activo y plantaciones contiguas sin control de heladas.
- Caracterizar los daños provocados por heladas tardías en yemas, flores y frutos en montes de cerezos (*Prunus avium L.*) con diferentes sistemas de control activo de heladas mediante riego por aspersión y microaspersión.
- Establecer la capacidad de protección de cada sistema de control activo empleado en función del menor daño medido en los cultivos.

HIPÓTESIS

1) La implementación del sistema de control convencional sobre el dosel (RAC), influye en una menor proporción de órganos reproductivos afectados, para heladas de mediana a alta intensidad, en relación con su correspondiente testigo, lo que justifica la implementación de este.

2) La implementación del sistema de control con microaspersión sobre la copa con bajo caudal (RMBC) registra una proporción mayor de daño en los órganos reproductivos que en su respectivo testigo, para heladas de mediana a alta intensidad.

3) La implementación del sistema de control por microaspersión sub-arbórea (RSA), influye en una proporción de órganos afectados mayor o igual que en el testigo para heladas de mediana a alta intensidad.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

Los ensayos experimentales se realizaron en tres lotes comerciales de cerezos (*Prunus avium* L.) variedad 'Sweetheart' en plena producción durante los meses de septiembre, octubre y noviembre en el valle de Los Antiguos (Figura 13), provincia de Santa Cruz. Los estados fenológicos evaluados durante los meses descritos están comprendidos entre yema hinchada y fruto cuajado.



Figura 13: Ubicación de los Sitios con los diferentes sistemas de control de heladas en el Valle de Los Antiguos. Sitio 1: Control sub-arbóreo; Sitio 2: Microaspersión de bajo caudal; Sitio 3: Aspersión convencional.

En cada establecimiento privado, se seleccionaron dos lotes contiguos, uno con sistema de control activo y el otro sin control de heladas o Testigo (T), cuyas condiciones ambientales, características de manejo y edad del monte fueron iguales. A continuación, se describen las características de cada finca:

Sistemas de control de heladas

Se evaluaron 3 sistemas de control activo de heladas mediante riego por aspersión (uno por cada establecimiento):

- Sitio 1: Riego por microaspersión Sub-Arbóreo (RSA). Este sistema (Figura 14) implementa microaspersores de la firma Senninger modelo mini Wobbler Vertical Boquilla #5Beige, de 1,98 mm, ubicados a 0,46m de altura con una distribución de 6x9,6m, en un lote de la variedad Sweet Heart en sistema de conducción Tatura, con plantas distanciadas 1 m en la fila, y 4,8 m entre líneas de plantación.

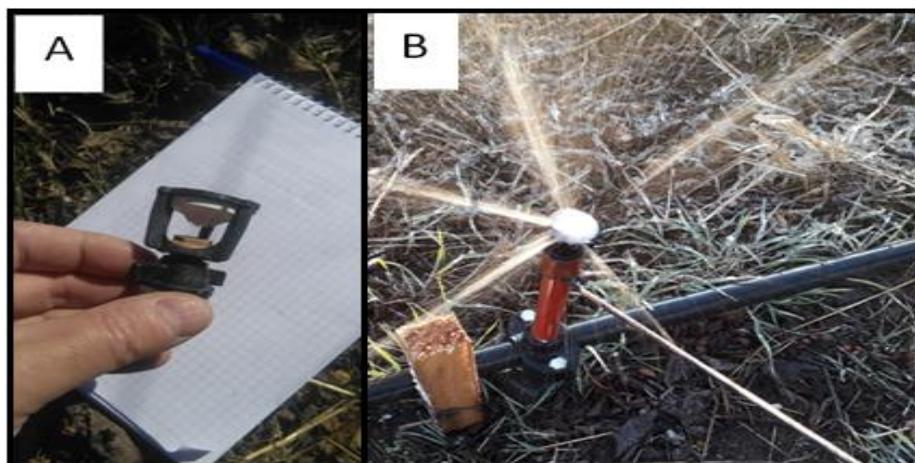


Figura 14: Izquierda: microaspersor Senninger Miniwobbler Vertical Boquilla #5 Beige; Derecha: Microaspersor en funcionamiento.

- Sitio 2: Riego por Microaspersión de Bajo Caudal (RMBC) sobre la canopia.

Este sistema (Figura 15) emplea un regulador de flujo y un microaspersor de la firma Netafim, y un sistema pulsador de la empresa PIP. Los microaspersores se ubican a 0,5 m por sobre la copa de los árboles y funcionan conectado a la red de distribución de agua para riego localizado, distribuidos en un marco rectangular de 4,5x6 m. El sistema está instalado en un lote de la variedad Sweet Heart, con sistema de conducción en Eje Central, con plantas distanciadas 2 m en la fila y una distancia entre hileras de plantación de 4,5 m.

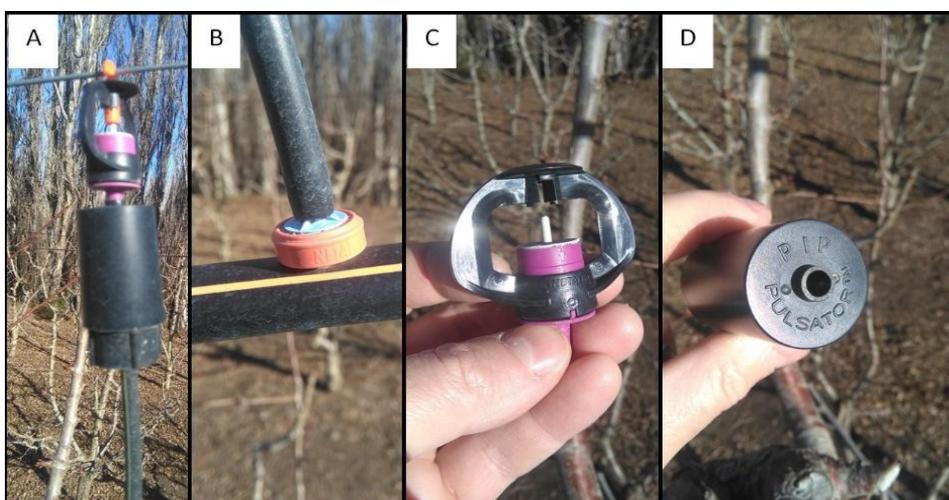


Figura 15: A: Pulsador y microaspersor colocado en la estructura de soporte (alambre tensado); B: regulador de flujo Netafim; C: Microaspersor Gyronet de la firma Netafim; Sistema pulsador PIP.

- Sitio 3: Riego por Aspersión Convencional (RAC). Este sistema (Figura 16) de control de heladas emplea aspersores de impacto, anti-heladas, de la firma Vyr S.A. modelo VYR33, ubicados 0,5 m por sobre la copa de los árboles, distribuidos en un marco de 18x18 m. El sistema está instalado en un lote de la variedad Seetheart, conducido en Eje central, en un marco de plantación de 4x2 m.



Figura 16: Aspersor convencional en funcionamiento. (Fotografías: Pablo Oliveri; Fernando Manavella)

Para cada sistema de aspersión se midió la pluviometría y el Coeficiente de Uniformidad (CU) en cada lote en cuestión, a través de la metodología propuesta por Tassara, M. A. (2007). Para esto se seleccionó un sector delimitado por cuatro aspersores, en donde se distribuyeron pluviómetros, de igual superficie de boca de entrada para el agua (70,9cm² para los sistemas RMBC y RAC, y 56,75cm² para el sistema RSA), cada 1 m, sobre una línea trazada entre dos aspersores de un ala regadora y sobre una de las diagonales del cuadrado o rectángulo. Para evitar la interferencia de las ramas a la caída del agua en los sistemas que ubican los aspersores o microaspersores sobre la canopia, se implementó una estructura de soporte para los pluviómetros, que permitió mantener la boca de estos justo por encima del nivel de las ramas. En una de las conexiones de un aspersor del sector, así como al inicio del lote y al final de este, se instalaron manómetro para llevar registro de la presión.

Para desarrollar la evaluación, se pusieron en funcionamiento los equipos en las mismas condiciones de trabajo que durante una helada, respetando la presión de trabajo recomendada en el diseño durante 120 min, y posteriormente se midió con una probeta graduada el agua caída en cada uno de los pluviómetros (cm³), calculando a partir de esta información el valor en mm/h con la formula:

$$V = S \times H; H = V/S$$

siendo:

- V= Volumen de agua recolectado en el pluviómetro (cm³)
- S= Superficie de la boca del pluviómetro (cm²)
- H= Altura de la lámina de agua (mm)

A partir de estos datos se calculó:

- Altura de la lámina de agua promedio (Hm).
- Diferencia (valor absoluto) entre la lámina de agua medida en el pluviómetro y el promedio de la lámina de agua (Δh).

- Número de pluviómetros utilizados (n)
- Sumatoria de Δh ($\sum \Delta h$)

Finalmente, con estos datos se calculó el Coeficiente de Uniformidad (CU) de Christiansen, a partir de la siguiente formula:

$$CU = 100 \times (1 - \sum \Delta h / (n \times H_m))$$

Datos meteorológicos

Durante el control de las heladas, se monitoreo en forma continua la temperatura y humedad con datalogger's (Tabla; Figura 17) ubicados en las parcelas con sistema de control activo y en los correspondientes Testigos sin control (fuera del área de influencia de los aspersores o microaspersores).

Tabla 9. Distribución de sensores en los sitios bajo estudio

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Lote sin sistema de control de heladas	HOBO Flia.H8	HOBO Flia.H8	HOBO Flia.H8
Lote con sistema de control de heladas	HOBO Flia.H8	Decagon Em50	Decagon Em50; Serie Pro V2 U23



Figura 17: A) Data logger (temperatura y humedad) Decagon Em50; B) Data logger (temperatura y humedad) HOBO Familia H08; C) Data logger (temperatura y humedad) serie Pro V2 U23.

La ubicación de los datalogger's en los sitios se relaciona con sus características de diseño (Tabla ;Figura 18) y con las condiciones del sitio, es decir, expuestos o no en forma directa al agua. Los sensores se instalaron a 1,5 m de altura (ubicación de referencia de los termómetros de mínima) y en relación con la posición de las primeras ramas fructíferas del cultivo (Tassara, 2007).

Tabla 10: Características técnicas de los datalogger empleados

Datalogger	Resistencia al agua	Rango operativo	Precisión
HOBO Familia H8	NO	-20 a +70°C	±0,7°C a +20°C
HOBO Pro V2 U23	SI	-40 a +70°C	±0,21°C sobre 0°C hasta +50°C

Decagon Em50	SI	-40 a +60°C	±0,5 desde -40 a +60°C
--------------	----	-------------	------------------------



Figura 18: Datalogger Decagon Em50, sobre una rama a 1,5m de altura y en la misma ubicación que los órganos reproductivos.

La velocidad del viento fue monitoreada a la altura de los aspersores con un anemómetro manual de cazoletas (Figura 19), y las condiciones de nubosidad a lo largo de cada evento se relevaron de forma visual.



Figura 19: Anemómetro de cazoletas utilizado en el monitoreo de condiciones ambientales.

Finalmente, en base al incremento de daño en órganos reproductivos según el tiempo de exposición mencionado por Coletto, et. al. (2003), a los valores medios de congelación/muerte del 10, 50 y 90 % descriptos por Proesting y Mills (1978) en Webster, A. D. & Looney, N. E. (1996) y a los valores de intensidad de pérdida total y parcial propuestos por Damario, et. al. (2006), se estableció la intensidad (leve, moderada y fuerte) de los eventos de helada de la siguiente manera (Tabla):

Tabla 11: Clasificación de los eventos de helada (Leve, Moderado, Fuerte) según temperatura y tiempo de exposición, para los diferentes estados fenológicos.

Estado fenológico	TC _{10%}			TC _{50%}		TC _{90%}
	0,5-2 h	2-3,5 h	> 3,5h	0,5-2h	2h	0,5 h o >
	Leve	Moderada	Fuerte	Moderada	Fuerte	Fuerte
Yema Hinchada	-5,8	-5,8	-5,8	-9,9	-9,9	-13,4
Punta verde	-3,7	-3,7	-3,7	-5,9	-5,9	-10,3

Punta Blanca	-3,1	-3,1	-3,1	-4,3	-4,3	-7,9
Corola Visible	-2,7	-2,7	-2,7	-3,6	-3,6	-4,9
Inicio de Floración	-2,8	-2,8	-2,8	-3,4	-3,4	-4,1
Plena Floración	-2,4	-2,4	-2,4	-3,2	-3,2	-3,9
Post-floración	-2,1	-2,1	-2,1	-2,7	-2,7	-3,6
Fruto	-1	-1	-1			-1,7

Daños por heladas

Para evaluar los daños causados por las heladas, se seleccionaron en cada lote 4 árboles (n=4) con un área de la sección transversal del tronco (ASTT) similar, y ubicados en un punto tal que sean afectados por la misma pluviometría. Se considero a cada árbol como la unidad experimental. En cada árbol se seleccionarán 3 ramas de la parte basal, de más de 2 años y de diámetro similar (Valenzuela-Villar et al., 2020; Kodad et al., 2010).

Cada sistema de control de heladas se consideró como un ensayo independiente. De este modo el tratamiento evaluado fue: con y sin sistema de control activo de heladas.

La evaluación del daño en los órganos reproductivos se realizó en distintos estados fenológicos (desde yema hinchada hasta fruto cuajado) según la escala propuesta por Wertheim,1976:

- Yema hinchada (YH): cuando se observan yemas verdes y pardas que hayan aumentado de grosor.
- Cáliz visible (CV): cuando se observa el color verde del cáliz de los pimpollos.
- Punta blanca (PB): cuando se observan las puntas blancas de los pétalos en el extremo de las yemas.
- Inicio de floración (CF): 20% de flores abiertas (se observan los estambres).
- Floración plena (PF): 50% de flores abiertas.
- Caída de pétalos: cuando caen los pétalos
- Fruto cuajado (FC): observando el ovario, que debe tener al menos 2 mm de diámetro.
- Inicio de cosecha (IC): cuando más del 50% de los frutos del árbol se encuentran en estado óptimo de cosecha.

Y dependiendo del momento de ocurrencia de los eventos de helada.

Respecto al daño en el estado de yema hinchada (YH), cáliz visible (CV), punta blanca (PB) y corola visible (CoV), por tratarse de un monitoreo “destrutivo”, se definió la siguiente metodología de muestreo: se tomaron 50 muestras de árboles diferentes a los seleccionados en cada lote, ubicados sobre la misma fila que estos, de igual edad y ASTT; seleccionando ramas con la misma orientación que las ubicadas en cada unidad experimental y también a 1,5m de altura. Posteriormente, se realizaron cortes

transversales (YH) y longitudinales (PB) para determinar la presencia de daño (Figura 20).



Figura 20: A: Muestras tomadas luego de un evento de helada, en estado fenológico de Punta Blanca. B: Corte longitudinal de dos flores. Izquierda con los órganos en perfecto estado; Derecha con estilo y estigma necrosados por las bajas temperaturas.

En estados fenológicos más avanzados, con flores abiertas, se buscó la presencia de necrosis en la base del estilo y en el estigma (Urbina Vallejo, 2007), mientras que en estado de fruto cuajado se observó (Figura 10) el cambio de color y la necrosis de tejidos (Arribillaga García, 2020); registrando el número de flores/frutos afectados en relación con el número total de la rama, después de cada evento.

Análisis estadístico

El procesamiento de los datos se realizó utilizando el Software estadístico Infostat 2020, desarrollado por el equipo de Estadística y Biometría y de Diseño de Experimentos de la Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC).

Se trabajó con un análisis de Regresión Logística, modelando para cada momento fenológico y cada finca, la respuesta que provoca el sistema de control activo de heladas, implementado en un año determinado, en la proporción de órganos reproductivos no afectados.”

Los dispositivos experimentales son los siguientes:

- Sitio 1: se identificó con $X1=1$ el lote con sistema de protección activa mediante riego por microaspersión Sub-Arbóreo (RSA), y $X1=0$ al lote donde no se aplicó este sistema y se considera testigo
- Sitio 2: se identificó con $X1=1$ el lote donde se implementó aspersion de bajo caudal sobre el dosel (RMBC), como sistema de control activo de heladas. Por el contrario, $X1=0$ corresponde al lote donde no se aplicó este sistema y se considera testigo.
- Sitio 3: se identificó con $X1=1$ el lote donde se implementó el sistema de aspersion convencional sobre el dosel (RAC). Por el contrario, $X1=0$ corresponde al lote donde no se aplicó protección activa de heladas y se considera testigo.

Las Variables respuesta fueron las siguientes:

Variable categorizada:

- Yf: 0= flor afectada y 1=flor no afectada por helada tardía
- Yfr: 0= fruto no afectado y 1=fruto afectado por helada tardía
- Yy: 0= yema no afectada y 1=yema afectada por helada tardía

$$p(Yf = 0) = \frac{n_{fa}}{(n_{fa} + n_{fna})} = p$$

Donde:

n_fa:cantidad de flores afectadas por rama

n_fna:cantidad de flores no afectadas por rama

P= es la proporción de flores no afectadas por la helada tardía

Variables regresoras:

El modelo utiliza dos variables regresoras. Con X1 se identifica al lote según el tratamiento que se aplicó (X1=0 testigo y X1=1 con el sistema de control correspondiente al sitio). Y con X2 al momento del recuento (X2=0 al año base y X2=1 al año siguiente)

El modelo estadístico para cada finca es:

$$\log \log \left(\frac{p_i}{1 - p_i} \right) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i}$$

$$p(Yf = \frac{1}{x_{1i}, x_{2i}}) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i}}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i}}}$$

i = 1,2,...,n

Representa riesgo de encontrar una flor no afectada por una helada tardía, según el valor que asume para la i-ésima rama observada.

A su vez, se realizaron pruebas de independencia de factores (Tablas de contingencia 2x2) para determinar la evidencia de asociación entre la implementación de control activo de heladas y las flores afectadas, así como el Riesgo Relativo y la Chance de obtener flores afectadas en relación con las no afectadas, en ambos tratamientos.

Se realizó también la Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones (prueba de Z para la diferencia de proporciones con un nivel de significancia $\alpha=0,05$) considerando:

H_c: “La proporción de flores no afectadas en los frutales en que se utiliza un riego por aspersión debajo de los frutales no es la misma que a los referidos como testigos”

$$H_0: \pi_1 - \pi_2 = 0$$

$$H_1: \pi_1 - \pi_2 \neq 0$$

RESULTADOS

Sitio 1: Sistema de control de heladas mediante Riego por microaspersión Sub-Arbórea (RSA)

Temperatura, humedad relativa ambiental e intensidad de las heladas

A continuación, se describen los eventos de helada registrados en el Sitio 1 durante las dos temporadas de estudio (2020 y 2021).

2020



Figura 21: Temperatura promedio en °C (Testigo y RSA), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (Tc) y Humedad Relativa en porcentaje (HR) medida en el Testigo, para el Sitio 1 durante la temporada 2020.

2021

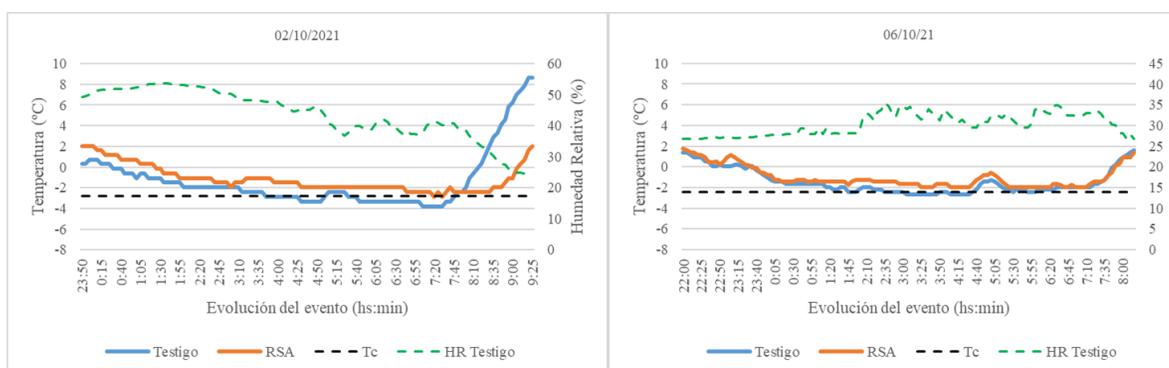


Figura 22: Temperatura promedio en °C (Testigo y RSA), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (Tc) y Humedad Relativa en porcentaje (HR) medida en el Testigo, para el Sitio 1 durante la temporada 2021

Las heladas monitoreadas se desarrollaron durante noches despejadas y sin viento, siendo las condiciones habituales de heladas de radiación. El estado fenológico de las plantas durante los mismos se describe en la Tabla :

Tabla 12. Estados fenológicos (según Wertheim,1976) registrados durante los eventos de helada.

Evento de helada		Estado fenológico
1°	02/10/2020	Inicio de floración
1°	03/10/2020	Inicio de floración
1°	04/10/2020	Inicio de floración
2°	20/10/2020	Fruto Cuajado
3°	02/10/2021	Inicio de floración
4°	06/10/2021	Plena Floración

El 1° evento registrado abarcó 3 heladas consecutivas, 2 fuertes y una moderada, que para los fines de la evaluación de daño fue considerado como un evento de magnitud fuerte. El mismo fue el de mayor intensidad (Tabla **Tabla**) por presentar las temperaturas más bajas y los mayores tiempos de exposición a temperaturas inferiores a la Tc. Sin embargo, se registró otro evento de intensidad “fuerte” (2°), en donde se pudo apreciar toda el agua congelada sobre la superficie del suelo (Figura 23), sin presencia de gotas en estado líquido cayendo del hielo.



Figura 23: Hielo en el interfilas del tratamiento con RSA durante el evento del 20/10/20

Tanto en los eventos mencionados, como en los dos de intensidad moderada (3° y 4°), los gráficos permitieron apreciar que ambas curvas (RSA y Testigo) presentaron un recorrido similar.

Tabla 13: Temperatura mínima (T_{\min}), tiempo por debajo de la $TC_{10\%}$ ($T_{po} < T_{c10\%}$) en Testigo y RSA e intensidad del evento para el Sitio 1 durante las temporadas 2020-2021.

Evento de helada		T_{\min} (°C)		$T_{po} < T_{c10\%}$ (h:min)		Intensidad del evento
		Testigo	RSA	Testigo	RSA	
1°	2/10/20	-5,31	-3,85	05:50	05:05	Fuerte
1°	3/10/20	-6,82	-4,33	10:30	08:25	Fuerte
1°	4/10/20	-3,85	-2,44	03:35	00:00	Moderada
2°	20/10/20	-2,90	-3,30	03:50	03:45	Fuerte
3°	2/10/21	-3,85	-2,90	03:30	00:10	Moderado
4°	6/10/21	-2,60	-1,90	02:20	00:00	Moderado

Durante el 2° evento (de magnitud “Fuerte”), la temperatura mínima registrada al aplicar el sistema de control de heladas fue menor que en el testigo, observándose esta tendencia a lo largo de todo el evento.

En relación con los de magnitud “Fuertes” (1° y 2°), presentaron temperaturas por debajo de la $TC_{90\%}$ incluso implementando RSA (Tabla 9), y tuvieron una duración similar en T y RSA.

Por otra parte, la helada del 02/10/2021 (3° evento) presentó una magnitud moderada, y permitió registrar, en el RSA, temperaturas inferiores a la $T_{c10\%}$ durante 3hs 20min menos que en el Testigo.

Finalmente, el evento del 06/10/2021 si bien es clasificado como moderado (por superar las 2hs bajo la $T_{c10\%}$), presentó temperaturas más benignas en comparación con el resto y los menores tiempos de exposición.

Daño en órganos reproductivos

A continuación (Tabla) se presenta un resumen los resultados del análisis realizado para los 4 eventos analizados:

Tabla 14: Resumen de resultados obtenidos, a partir del análisis estadístico, para los 5 eventos considerados.

Evento	Tablas de contingencia								Prueba de H		Regresión Logística		
	Flores SANAS		Daño			Asoc. RSA-FA	RR	Chance	Diferencia de proporciones	Estimador	Relación Tratamiento/Daño	Prob. F. SANAS	
	T	RSA	Total	T	RSA							T	RSA
1°	16,8	34,7	74,7	58,4	41,6	SI	1,27	2,63	Significativa	0,18	Significativa	0,17	0,35
2°	72,3	48,3	39,7	34,8	65,1	SI	4,27	0,36	Significativa	-0,24	Significativa	0,72	0,48
3°	36,8	77,1	43,5	74,3	25,7	SI	6,09	5,78	Significativa	0,4	Significativa	0,37	0,77
4°	80,6	79,5	19,9	48,7	51,2	NO	5	0,93	No Signific.	-0,01	No Significativa	0,8	0,79

- 1° Evento

El análisis refleja que el 16,8 % y 34,7% de las flores no fueron afectadas por la helada en Testigo ($n_{fna}=738$) y RSA ($n_{fna}=671$) respectivamente.

Las flores dañadas en ambos tratamientos representaron el 74,7% (1052 flores) del total analizado (T + RSA), siendo el 58,4% de ellas las que sufrieron los efectos de las heladas al no controlar (T), mientras que implementando RSA fueron afectadas el 41,6%.

El riesgo relativo (RR) mayor a 1, indicó que el riesgo de tener órganos dañados en el Testigo fue mayor que al implementar RSA.

Al comparar la chance (odds) del Testigo respecto al RSA, la estimación del cociente de chances es 2,63 con un intervalo de confianza del 95%, que no incluye al 1 (2,05; 3,38). Por lo tanto, existió asociación significativa entre las filas de control y las columnas de afectación de flores, lo que indicó que la chance de obtener flores afectadas con respecto a las no afectadas fue 2,63 veces superior con respecto al sector regado con aspersión debajo de los frutales.

Los resultados de la Prueba de Hipótesis mostraron la existencia de una diferencia de proporciones de flores no afectadas al utilizar RSA comparado con el Testigo, y ésta diferencia fue estadísticamente significativa ($p < 0,0001$). El estimador calculado fue positivo ($\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = 0,18$), indicando que la proporción de flores sanas al implementar RSA fue superior a la del T para el evento considerado.

- 2º Evento

El análisis de la Tabla de contingencia permitió determinar que, de un total de 300 órganos reproductivos observados en el Testigo, 217 no fueron afectados por las heladas (72,3%). En cambio, al aplicar RSA, 145 flores se observaron sanas de un total de 300 (48,3%). El 39,7% (238) del total analizado ($n = 600$) sufrió daño en ambos tratamientos, siendo el 34,8 % de estos órganos los que sufrieron los efectos de las heladas sin controlar (83), y, por el contrario, fueron afectadas el 65,12% al aplicar RSA.

Por otra parte, el RR obtenido indica que el riesgo de tener órganos afectados en T es menor (0,54 veces), que al implementar RSA.

La estimación del cociente de chances es 0,36 con un intervalo de confianza del 95% de que no incluye al 1 (0,25; 0,5), y por lo tanto hay asociación significativa entre las filas de control y las columnas de afectación de flores. De esta manera, la chance de obtener órganos afectados con respecto a los no afectados en el T, fue 0,36 veces con respecto a la implementación de RSA.

La Prueba de Hipótesis permite observar la existencia de una diferencia de proporciones, estadísticamente significativa ($p < 0,0001$), de órganos no afectadas al utilizar RSA comparado con T, y al ser el estimador negativo ($\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = -0,24$), se evidencia que la estimación de la proporción de órganos no afectadas con RSA es inferior.

- 3º Evento

De un total de 3968 flores observadas en el Testigo, 1462 (36,8%) no fueron afectadas por las heladas, mientras que al aplicar RSA, 2926 flores (77,1%) se observaron sanas de un total de 3793. El 43,5% (3373) del total de flores analizadas ($n = 7761$) sufrió daño

en ambos tratamientos, siendo el 74,3% de ellas las que sufrieron los efectos de las heladas en el Testigo y el 25,7% al implementar RSA.

El riesgo de tener flores afectadas (RR) en el Testigo fue 2,76 veces mayor que al implementar RSA.

La estimación del cociente de chances (odds) es 5,78 con un intervalo de confianza del 95% que no incluye al 1 y esto reflejó la existencia de asociación significativa entre las filas de control y las columnas de afectación de flores. Indicando, en este caso, que la chance de obtener flores afectadas con respecto a las no afectadas en el Testigo, es 5,78 veces superior con respecto al sector con RSA.

Los resultados obtenidos en la Prueba de Hipótesis mostraron que existe una diferencia de proporciones de flores no afectadas al utilizar RSA comparado con el Testigo, y está diferencia es estadísticamente significativa ($p < 0,0001$). El estimador positivo (0,4), indicó que la estimación de la proporción con RSA es superior.

- 4º Evento

El análisis de la Tabla de contingencia reflejó que el 80,6% (162) de las flores observadas en el Testigo (201) no fueron afectadas por helada, mientras que al aplicar RSA, 159 flores se observaron sanas de un total de 200 (79,5%).

Del total de flores analizadas (401) el 19,9% (80) sufrió daño en ambos tratamientos, siendo el 48,7% de ellas las que sufrieron los efectos de las heladas en el Testigo y el 51,2% al aplicar RSA.

Por otra parte, el valor del RR indicó que el riesgo de tener flores afectadas en el Testigo fue “levemente” menor (0,95) que en el tratamiento con RSA.

Al comparar la chance del Testigo con la del RSA, la estimación del cociente de chances (odds) es 0,93 con un intervalo de confianza de 95%, cuyo intervalo de confianza incluye al 1 (0,57; 1,52), lo que permitió inferir la existencia de asociación significativa entre las filas de control y las columnas de afectación de flores. Esto indicó que la chance de obtener flores afectadas con respecto a las no afectadas en el Testigo, es “levemente” menor con respecto a la implementación de RSA.

Los datos obtenidos mediante la Prueba de Hipótesis mostraron que no existe una diferencia de proporciones de flores no afectadas al implementar RSA comparado con el Testigo, y esta diferencia no es estadísticamente significativa ($p = 0,803729$). Al ser el estimador negativo (-0,0109070), indicó que la estimación de la proporción con RSA es inferior.

Al aplicar una prueba de Ji-cuadrado bajo la hipótesis de que no hay asociación entre en control de heladas y las flores afectadas, resultó significativa para el 1º, 2º y 3º evento, para los cuales también fue estadísticamente significativo el estimador Máximo Verosímil G2 (Anexo 1). Por lo tanto, se evidenció la asociación entre la aplicación de RSA y las flores afectadas para todos los eventos a excepción del 4º.

Tabla 15: Valores de Odds obtenidos en el Testigo y RSA, para los diferentes eventos

Evento	Odds	
	Testigo	RSA
1º	$e^{(-1,6)} = 0.2$	$e^{(-1,6+0,97)} = 0.53$
2º	$e^{0,96} = 2.61$	$e^{(0,96-1,03)} = 0.93$
3º	$e^{(-0,54)} = 0,58$	$e^{(-0,54+1,76)} = 3,38$
4º	$e^{1,42} = 4,13$	$e^{(1,42-0,07)} = 3,8$

El incremento observado en los valores de Odds, al pasar del Testigo al RSA, para el 1º y 3º evento (Tabla) reflejó un aumento en la chance de obtener flores no afectadas al aplicar RSA. Por el contrario, la reducción observada en el 2º y 4º evento evidenció una reducción en la chance de obtener flores no afectadas al aplicar RSA.

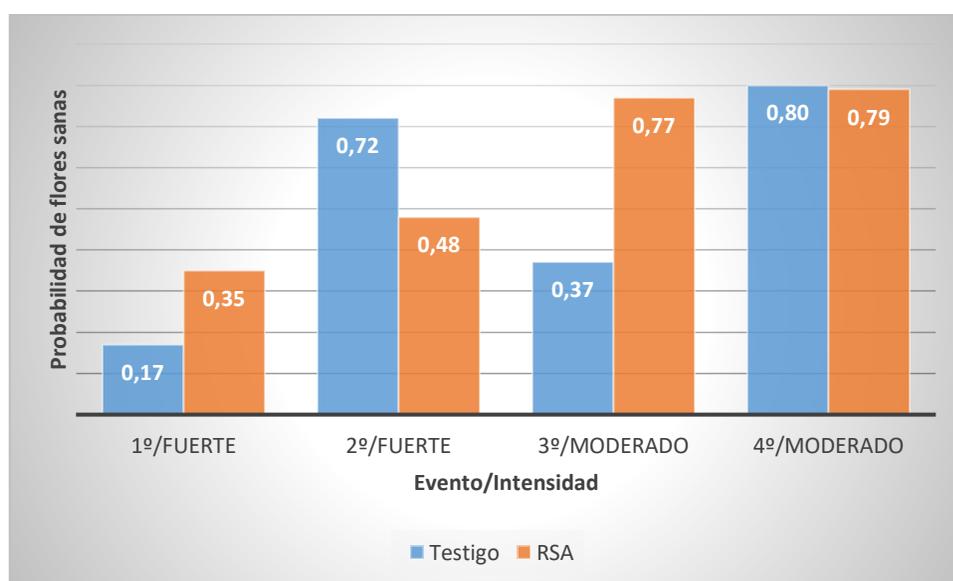


Figura 24: Probabilidad de obtener flores sanas, en Testigo y RSA, calculada mediante Regresión Logística para los diferentes eventos y magnitudes analizados

El análisis de Regresión Logística mostró una relación significativa ($p < 0,0001$) del RSA con el daño de los órganos reproductivos por efecto de las heladas (Tabla) para todos los eventos a excepción del 4º. La probabilidad de encontrar flores sanas (Figura 22) fue mayor al aplicar RSA en el evento de magnitud “moderada” (3º), y aunque con valores muy bajos, también en el 1º evento de magnitud “fuerte”. En el 2º evento, de magnitud “fuerte”, la mayor probabilidad de encontrar órganos reproductivos sanos se registró en el Testigo, y finalmente el 4º evento, de magnitud moderada no mostró diferencia significativa entre ambos tratamientos, existiendo casi la misma probabilidad de encontrar flores sanas en el Testigo o al aplicar RSA.

Sitio 2: Riego por Microaspersión de Bajo Caudal (RMBC) sobre la canopia Temperatura, humedad relativa ambiental e intensidad de las heladas

A continuación, se describen los eventos de helada ocurridos durante las dos temporadas de estudio (2020 y 2021).

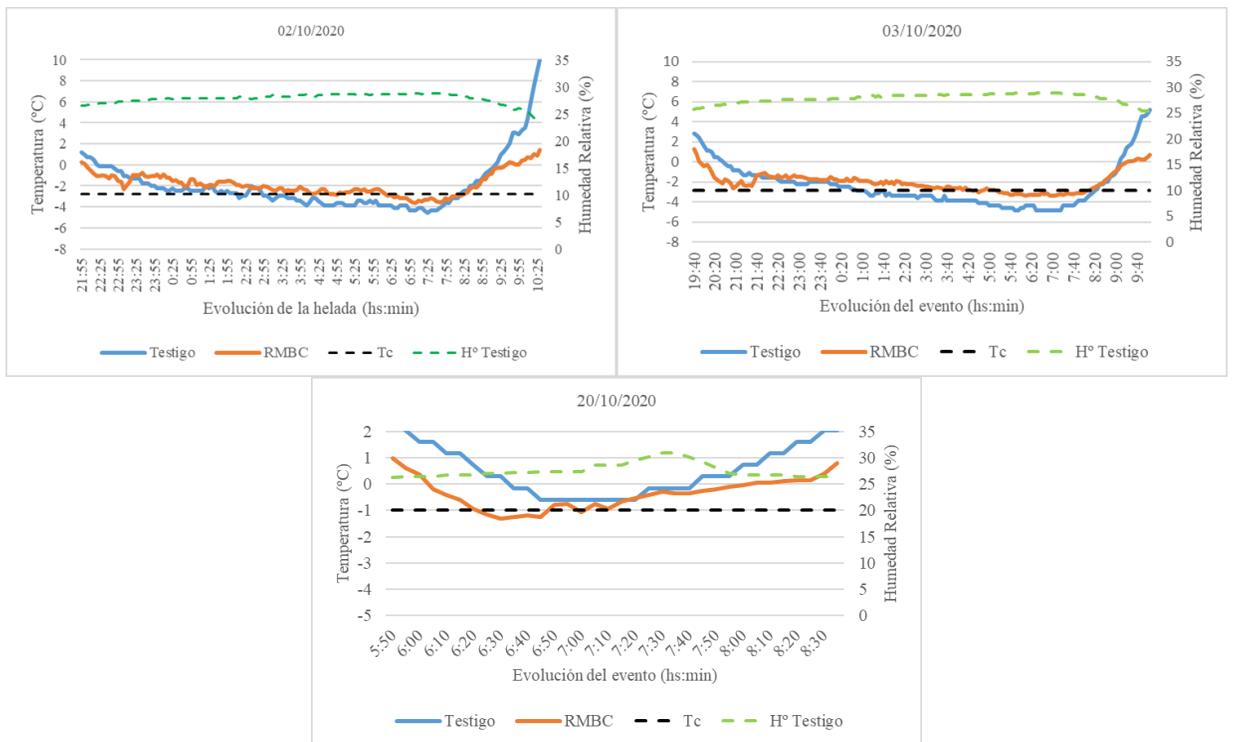


Figura 25: Temperatura promedio en °C (Testigo y RMBC), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (T10%) y Humedad Relativa (H°) en Testigo, para el Sitio 2 durante la temporada 2020

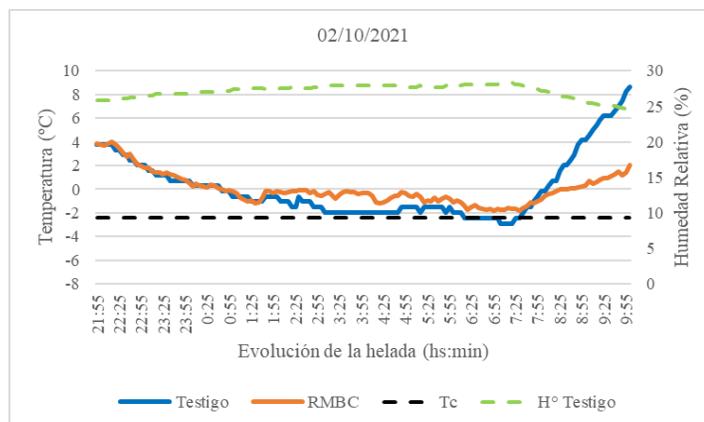


Figura 26: Temperatura promedio en °C (Testigo y RMBC), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (T10%) y Humedad Relativa (H°) en Testigo, para el Sitio 2 durante la temporada 2021

Los eventos monitoreados se desarrollaron durante noches despejadas (sin viento) y con excepción de la mañana del 03/10/2021 entre las 6:30 y 7:30hs, donde se registraron ráfagas intermitentes de 1,8 Km/h (brisa suave). El estado fenológico de las plantas durante los eventos monitoreados se describe en la Tabla:

Tabla 16: Estado fenológico para los eventos relevados

Evento	Fecha	Estado fenológico
1°	2/10/20	Inicio de Floración
1°	3/10/20	Inicio de Floración
2°	20/10/20	Fruto cuajado
3°	2/10/21	Plena Floración

El 1° evento fue el de mayor intensidad (Tabla), con temperaturas que estuvieron incluso por debajo de la Temperatura crítica para generar daño en el 90% ($T_{c90\%}$) de los órganos reproductivos (-4,1 °C). Durante la helada del 03/10/2020, se detectó el agua completamente congelada sobre la superficie de las plantas (Figura 27).

Tabla 17. Temperatura mínima (T_{\min}) y tiempo por debajo de la $T_{C10\%}$ (Tpo bajo $T_{C10\%}$) en Testigo y RMBC; intensidad del evento, para el Sitio 2 durante las dos temporadas de monitoreo

Evento de helada		T_{\min} (°C)		Tpo bajo $T_{C10\%}$ (h:min)		Intensidad del evento
		Testigo	RMBC	Testigo	RMBC	
1°	2/10/20	-4,6	-3,6	05:30	02:15	Fuerte
1°	3/10/20	-4,8	-3,4	07:30	03:30	Fuerte
2°	20/10/20	-0,6	-1,3	0	00:30	Leve
3°	2/10/21	-2,9	-1,8	01:15	0	Leve

Durante el 2° evento (20/10/2020), se registraron temperaturas más bajas en el lote con RMBC que en el respectivo Testigo. Si bien la temperatura del Testigo no alcanzó la $T_{C10\%}$ determinada para ese estado fenológico, se consideró un evento de intensidad Leve por estar próxima a la misma y porque si se registraron temperaturas inferiores en el lote con sistema activo de control de heladas.

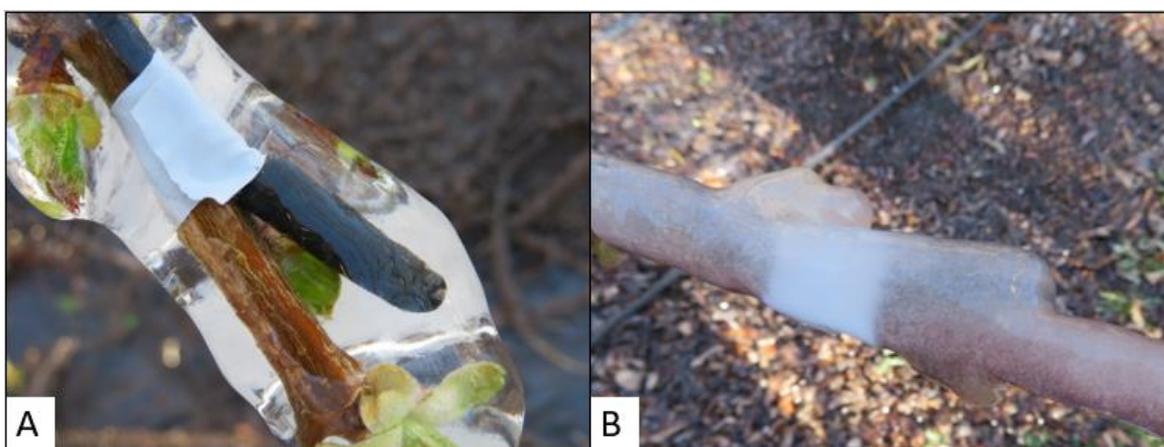


Figura 27: A: Sensor de temperatura cubierto por hielo y agua en estado líquido; B: Sensor cubierto por hielo sin agua líquida

En todos los eventos se observó un recorrido similar de las curvas de temperatura por debajo de la temperatura crítica ($T_{C10\%}$). En las tres heladas registradas durante la primera temporada se pudo observar que esta tendencia se mantuvo incluso antes de alcanzar la $T_{C10\%}$.

Daño en órganos reproductivos

A continuación (Tabla) se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los tres eventos considerados:

Tabla 18: Resumen de resultados del análisis de daño, obtenidos para los 3 eventos considerados.

Evento	Tablas de contingencia						Prueba de H			Regresión Logística			
	Flores SANAS		Daño			Asoc. RMBC-FA	R	Chance	Diferencia de proporciones	Estimador	Relación Tratamiento/Daño	Prob. F. SANAS	
	T	RMBC	Total	T	RMBC							T	RMBC
1°	60,0	33,0	53,7	35,7	64,3	Si	0,6	0,3	Significativa	-0,260	Significativa	0,60	0,34
2°	99,6	99,3	0,5	40,0	60,0	No	0,5	0,5	No Significat.	-0,003	No Signific.	1,00	0,99
3°	74,8	85,2	19,4	57,3	42,6	Si	1,7	2,0	Significativa	0,100	Significativa	0,75	0,85

- 1° Evento

Los resultados obtenidos indicaron que, el 60% de las flores del Testigo ($n_{fna}=858$) y el 33% de las flores del lote con control de heladas ($n_{fna}=929$), no fueron afectadas por el evento de heladas. Del total de flores monitoreadas, 956 (53,5%) sufrieron daño en ambos tratamientos, siendo el 35,7 % de ellas (341) las que sufrieron los efectos de las heladas sin controlar. Por el contrario, al aplicar el riego por microaspersión de bajo caudal (RMBC) las flores afectadas fueron el 64,3% (615). En concordancia con estos datos, el valor de riesgo relativo ($RR<1$) indicó que el riesgo de tener flores dañadas en el Testigo es menor que al implementar RMBC.

Al comparar la chance (odds) del testigo con el odds del riego por aspersión, la estimación del cociente de chances fue de 0,3 con un intervalo de confianza del 95% (0,28; 0,41), lo que permitió inferir la existencia de asociación significativa entre las filas de control y las columnas de afectación de flores, indicando que la chance de obtener flores afectadas con respecto a las sanas en el Testigo fue inferior al sector con RMBC.

Los datos obtenidos mediante la Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones evidenciaron una diferencia en la proporción de flores no afectadas al utilizar riego por microaspersión comparado con el Testigo, siendo la misma estadísticamente significativa ($p<0,0001$). Al ser el estimador negativo (-0,26), la estimación de la proporción con riego por aspersión fue inferior.

- 2º Evento

De un total de 580 flores observadas en el testigo, 578 (99,6%) no fueron afectadas por las heladas, mientras que al implementar RMBC, 470 flores (99,3%) se observaron sanas de un total de 473.

Si bien el porcentaje de daño fue similar en ambos tratamientos, el Riesgo Relativo obtenido fue inferior a 1, lo que indica que el riesgo de tener flores dañadas en el Testigo fue menor que al implementar RMBC.

Al comparar la chance (odds) del Testigo con la del del riego por microaspersión, la estimación del cociente de chances es 0,54 con un intervalo de confianza del 95% de [0,11; 2,76], indicando que no hay asociación significativa entre las filas de control y las columnas de afectación de flores.

Por otra parte, si bien el estimador calculado en la Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones fue negativo (-0.003), indicando que la proporción de flores sanas al implementar el sistema de control de heladas era inferior, la diferencia de proporciones de flores no afectadas implementando RMBC, comparado con el Testigo, no fue estadísticamente significativa ($p=0,662071$).

- 3º Evento

Durante el monitoreo de daño de este evento, el 74,8% de las flores observadas en el Testigo ($n=2721$) no fueron afectadas por la helada. En cambio, al aplicar RMBC, se observaron sanas el 85,2% ($n= 3455$). El 19.4 % (1196) del total de flores analizadas sufrió daño en ambos tratamientos, siendo el 57.3 % de ellas (686) las que sufrieron los efectos de las heladas en el Testigo, y, por el contrario, fueron afectadas el 42.6% (510)

al aplicar riego por microaspersión. Por otra parte, el riesgo de tener flores afectadas (RR) en el Testigo fue mayor (1,71) que al realizar control activo de heladas.

Al comparar la chance (odds) del testigo con el odds del riego por microaspersión, la estimación del cociente de chances resultó de 1,95 con un intervalo de confianza del 95% (1,71; 2,21), reflejando la existencia de asociación significativa entre las filas de control y las columnas de afectación de flores, indicando en este caso que, la chance de obtener flores afectadas con respecto a las no afectadas en el Testigo, fue 1,95 veces superior que al implementar RMBC.

Se observó una diferencia de proporciones de flores no afectadas al utilizar riego por microaspersión comparado con el Testigo, y esta diferencia fue estadísticamente significativa ($p < 0,0001$). Al ser el estimador positivo, la estimación de la proporción implementando RMBC, fue superior.

Al aplicar una prueba de Ji-cuadrado (Tabla) bajo la hipótesis de que no había asociación entre el control de heladas y las flores afectadas, resultó significativa para el 1º y 3º evento, siendo también estadísticamente significativo el estimador Máximo Verosímil G2, lo que resultó evidencia de asociación entre la implementación de RMBC y las flores afectadas.

Tabla 19: Datos de Chi cuadrado de Pearson (X^2_m), grados de libertad (gl) y p-valor, extraídos del Anexo II, para los tres eventos considerados.

Evento	X^2_m	gl	p
1º	125,5	1	<0.0001
2º	0,46	1	=0,4968
3º	106,45	1	<0.0001

Por otra parte, para el 2º evento, dicha asociación no resultó significativa y tampoco lo fue el estimador Máximo Verosímil G2. Por lo tanto, no se evidenció la asociación entre la implementación de RMBC y las flores afectadas.

De acuerdo con los resultados del análisis de Regresión Logística, en el 1º evento la implementación de RMBC mostró una relación significativa ($p < 0,0001$) con el daño de las flores por efecto de las heladas (Tabla). Por otra parte, el valor de odds obtenido (

Tabla), se redujo al comparar el Testigo con la implementación del sistema de microaspersión, lo que manifiesta una disminución en la chance de obtener flores sanas al aplicar RMBC.

Tabla 20: Valores de Odds obtenidos en el Testigo y con la aplicación de Riego por Microaspersión de Bajo Caudal (RMBC), para los 3 eventos.

Evento	Odds	
	Testigo	RMBC
1º	$e^{0,42} = 1,5$	$e^{0,42-1,09} = 0,5$
2º	$e^{5,67} = 290,03$	$e^{5,67-0,61} = 157,59$
3º	$e^{1,09} = 2,97$	$e^{1,09+0,67} = 5,81$

Durante el 2º evento, al igual que en el caso anterior, se manifestó también una disminución en el valor de Odds, pero en este caso la aplicación de RMBC no mostró una relación significativa ($p=0,5034$) con el daño de las flores por efecto de las heladas (Tabla).

Durante el 3º evento la implementación de RMBC manifestó una relación significativa ($p<0,0001$) con el daño de las flores por efecto de las heladas y el odds se incrementó de 2,97 en el Testigo, a 5,81 al implementar el sistema de control activo de heladas, evidenciando un incremento en la chance de obtener flores sanas al implementar este sistema.

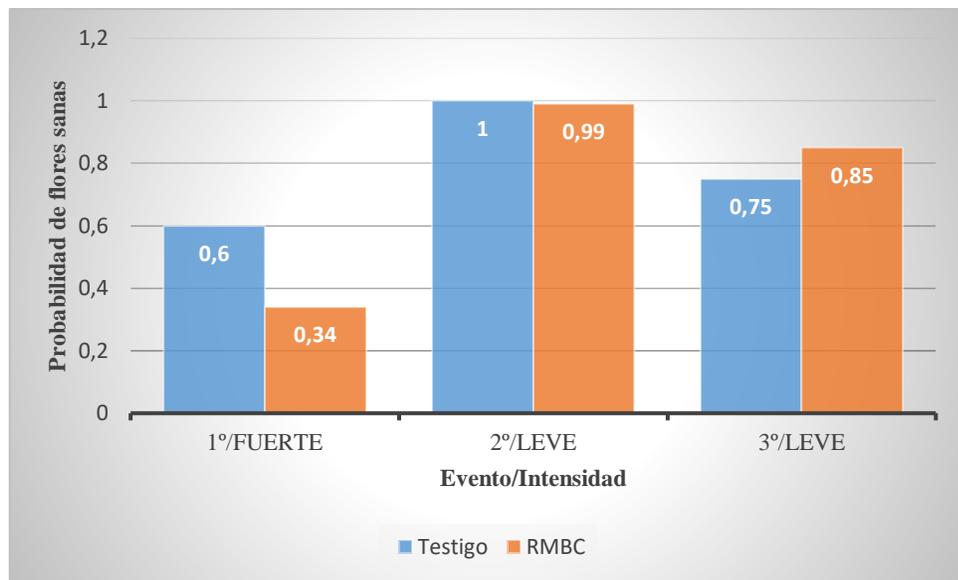


Figura 28: Probabilidad de obtener flores sanas en Testigo y RMBC, estimada mediante Regresión Logística.

Finalmente, la probabilidad estimada (Figura 28) de obtener flores no afectadas al implementar RMBC fue menor en el evento de intensidad “Fuerte”, mientras que los eventos leves permitieron ver una probabilidad de encontrar flores sanas igual en ambos tratamientos o mayor al implementar el sistema de control activo de heladas.

Sitio 3: Riego por aspersión convencional (RAC) sobre la canopia Temperatura, humedad relativa ambiental e intensidad de las heladas

A continuación, se describen los eventos de helada ocurridos en el Sitio 3 durante las dos temporadas de estudio (2020 y 2021).

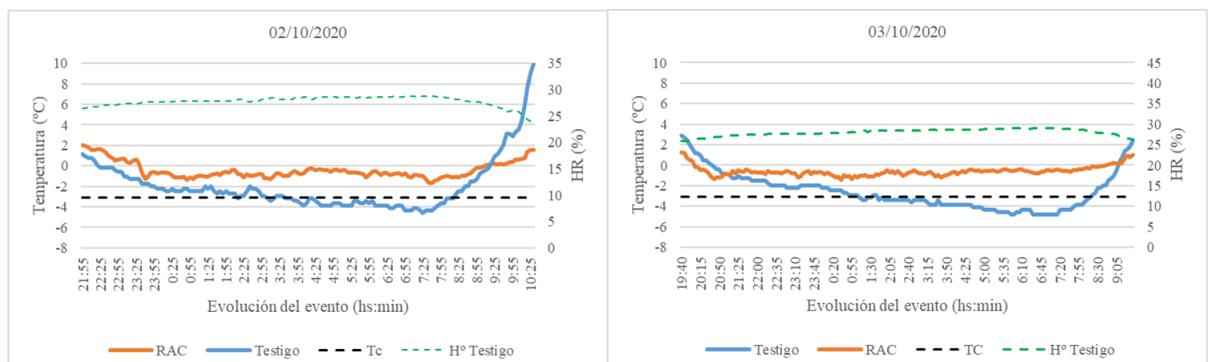


Figura 29: Temperatura promedio en °C (Testigo y RAC), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (T10%) y Humedad Relativa (H°) en Testigo, para el Sitio 3 durante la temporada 2020

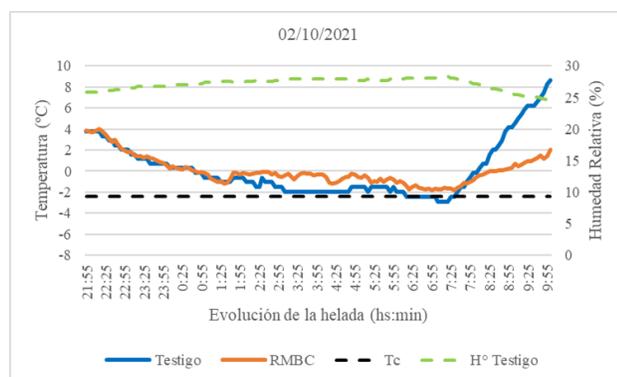


Figura 30: Temperatura promedio en °C (Testigo y RAC), Temperatura crítica que afecta el 10% de los órganos (T10%) y Humedad Relativa (H°) en Testigo, para el Sitio 3 durante la temporada 2021

Los eventos monitoreados se desarrollaron durante noches despejadas, registrándose únicamente brisas intermitentes durante la mañana del 02/10/21. El estado fenológico de las plantas durante los eventos monitoreados se describe en la Tabla :

Tabla 21: Estados fenológicos para los eventos relevados en el Sitio 3 durante 2020 y 2021

Evento	Fecha	Estado fenológico
1°	2/10/2020	Punta Blanca
1°	3/10/2020	unta Blanca
2°	2/10/2021	Plena Floración

Se registraron eventos de magnitud Fuerte y Moderada, y en ninguno de ellos la temperatura monitoreada en el sistema de control activo de heladas estuvo por debajo de la $T_{C10\%}$ (Tabla).

Tabla 22: Temperatura mínima (T_{\min}) y tiempo por debajo de la $T_{C10\%}$ (T_{po} bajo $T_{C10\%}$) en Testigo y RAC; intensidad del evento, para el Sitio 3 durante las dos temporadas de monitoreo

Evento de helada	T_{\min} (°C)		Tpo bajo $T_{C10\%}$ (h:min)		Intensidad del evento
	Testigo	RAC	Testigo	RAC	
1° 02/10/2020	-4,6	-1,7	4:55	0:00	Fuerte
1° 03/10/2020	-4,8	-1,4	7:05	0:00	Fuerte
2° 02/10/2021	-2,9	-1,8	1:15	0:00	Moderada

En el evento de magnitud moderada, la temperatura se mantuvo entre los 0 y -1°C , y se registró una disminución en la misma, de forma coincidente con el momento en el cual se detectaron brisas intermitentes (a partir de las 5:50hs) de 1.8 km/h.

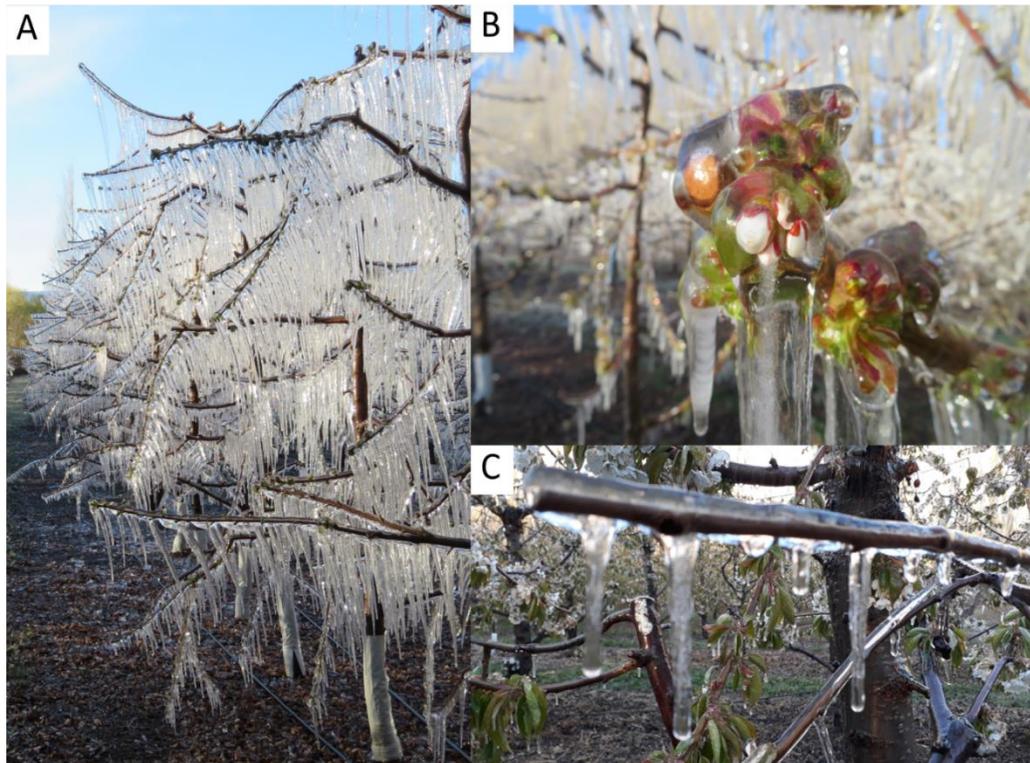


Figura 31. A: Plantas de cerezo en el Sitio 3 con carámbanos de más de 30 cm; B: Órganos reproductivos en estado de Corola Visible cubiertos por hielo transparente; C: Rama de cerezo cubierta de hielo, con carámbanos goteando agua líquida.

En todas las heladas se observó una diferencia en el recorrido de las curvas de temperatura, siendo que los descensos menos bruscos y las temperaturas más altas se observan en el sistema RAC. Por otra parte, en los eventos monitoreados, se observó de forma permanente, hielo traslucido sobre los órganos reproductivos y las plantas (Figura 31), y agua en estado líquido goteando de ellos.

Daño en órganos reproductivos

A continuación (Tabla) se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los 3 eventos considerados:

Tabla 23: Resumen de resultados del análisis de daño, obtenidos para los 2 eventos considerados.

Evento	Tablas de contingencia							Prueba de H		Regresión Logística			
	Flores SANAS		Daño			Asoc. RAC-FA	Chance RR	Diferencia de proporciones	Estimador	Relación		Prob. F. SANAS	
	T	RAC	Total	T	RAC					Tratamiento/Daño	T	RAC	
1º	51,10	70,20	40,40	67,10	32,90	Si	1,6 4	2,25	Significativa	0,19	Significativa	0,50	0,7
2º	63,10	90,80	25,30	84,80	15,20	Si	2 5,78		Significativa	0,28	Significativa	0,63	0,91

- 1º Evento

Del total de las flores analizadas en ambos tratamientos (n=1535) 620 sufrieron daño, siendo el 67,1% las afectadas en el Testigo y el 32,9% las afectadas en RAC.

El 51,1% de las flores observadas en el Testigo ($n_{fna}= 851$) no fueron afectadas por las heladas. En cambio, al aplicar el Riego por Aspersión Convencional (RAC), se observaron sanas el 70,2 % de las flores ($n_{fna}=684$).

El riesgo de tener flores afectadas en el Testigo (RR) fue mayor (1,64) que al realizar el control de heladas con Riego Convencional.

Al comparar la chance (odds) del testigo con el odds del riego por aspersión, la estimación del cociente de chances (odds) es 2,25 con un intervalo de confianza del 95% de [1,82; 2,78], lo que evidenció la existencia de asociación significativa entre las filas de control y las columnas de afectación de flores, indicando en este caso que la chance de obtener flores afectadas con respecto a las no afectadas en el Testigo, es 2,25 veces superior con respecto al sector donde se implementa RAC.

La información aportada por la prueba de hipótesis indicó que existe una diferencia de proporciones de flores no afectadas al implementar RAC comparado con el Testigo, y está diferencia fue estadísticamente significativa ($p < 0.0001$). El valor positivo del estimador (0,19) indicó que la estimación de la proporción con riego por aspersión convencional es superior.

- 2º Evento

Del total de flores analizadas en ambos tratamientos ($n=5261$), 1329 se registraron dañadas, de las cuales el 84,8% fueron detectadas en el Testigo y el 15,2% al implementar Riego por Aspersión Convencional. De las flores observadas en el Testigo ($n=3059$), el 63,1% no fueron afectadas por la helada, mientras que al aplicar RAC, se observó el 90,8% de flores sanas ($n_{fna}=2202$).

El riesgo de tener flores afectadas (RR) en el Testigo fue 4,02 veces mayor que al implementar el sistema de control de heladas convencional.

La estimación del cociente de chances (odds) fue de 5.78, con un intervalo de confianza del 95% de [4,91; 6,79] que, al no incluir al 1, indicó la existencia de asociación significativa entre las filas de control y las columnas de afectación de flores, indicando que la chance de obtener flores afectadas con respecto a las no afectadas en el Testigo, fue 5,78 veces superior con respecto al sector con control activo de heladas.

La información aportada por la prueba de hipótesis evidenció que existe una diferencia de proporciones de flores no afectadas al implementar RAC comparado con el Testigo, y está diferencia fue estadísticamente significativa ($p < 0.0001$). El valor positivo del estimador (0.28) indicó que la estimación de la proporción con RAC era superior.

Al aplicar una prueba de Ji-cuadrado (Tabla) bajo la hipótesis de que no había asociación entre la implementación de RAC y las flores afectadas, resultó significativa para ambos eventos, siendo también estadísticamente significativo el estimador máximo Verosímil G2, indicando en ambos casos la evidencia de asociación entre la aplicación de riego por aspersión convencional y las flores afectadas.

Tabla 24: Datos de Chi cuadrado de Pearson (X^2_m), grados de libertad (gl) y p-valor, extraídos del Anexo II, para los eventos considerados.

Evento	X^2_m	gl	p
1º	57,21	1	<0.0001
2º	519,16	1	<0.0001

De acuerdo con el análisis de Regresión Logística, la implementación de RAC mostró una relación significativa ($p < 0.0001$) con el daño de las flores por efecto de las heladas en ambos eventos. Por su parte el odds (Tabla) se incrementó al comparar el Testigo con la implementación del sistema de control activo de heladas, evidenciando un aumento en la chance de obtener flores sanas al utilizar RAC.

Tabla 25: Valores de Odds obtenidos en el Testigo y con la aplicación de Riego por Aspersión Convencional (RAC), para ambos eventos

Evento	Odds	
	Testigo	RAC
1º	$e^{0,04} = 1,04$	$e^{0,04+0,81} = 2,34$
2º	$e^{0,86} = 1,72$	$e^{0,86+0,84} = 9,87$

Finalmente, el análisis de regresión logística evidenció la mayor probabilidad de encontrar órganos reproductivos sanos al implementar RAC (Figura 32), en ambos eventos.

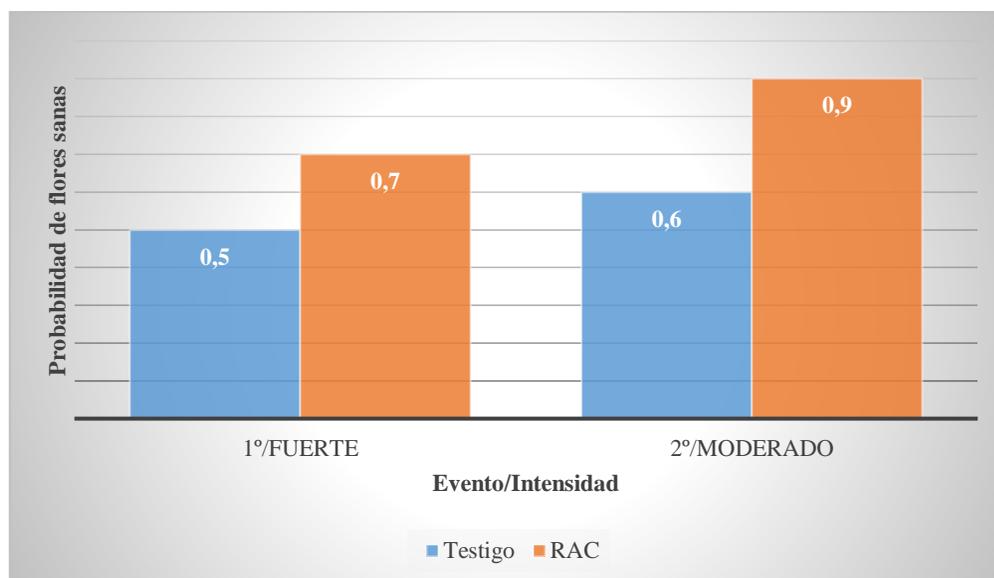


Figura 32: Probabilidad de obtener flores sanas en Testigo y RAC, estimada mediante Regresión Logística

Desempeño de los equipos de control de heladas

La presión de trabajo del primer aspersor del lote y el más alejado, se puede apreciar para cada sistema de control de heladas en la Tabla.

Tabla 26: Presión (Kg/cm²) registrados en el aspersor más cercano al cabezal (primer aspersor) y en el más alejado de lote.

Sistema	P (Kg/cm ²)	
	1º aspersor	Aspersor más alejado
RSA	1,6	1,4
RMBC	1,7	1,0
RAC	1,6	1,4

Datos de volumen medido por hora (cm³/h) y pluviometría (mm/h) relevados se muestran en la Tabla:

Tabla 27: Datos de Volumen medido por hora (cm³/h) obtenidos a campo, expresados en lámina (mm/h) en relación con el diámetro del pluviómetro utilizado, y diferencia entre lámina y lámina media (Δh).

Nº	RSA		RMBC		RAC	
	cm ³ /h	mm/h Δh	cm ³ /h	mm/h Δh	cm ³ /h	mm/h Δh
1	36,5	6,4 0,6	7,9	1,1 0,4	25,2	3,6 0,9
2	23,5	4,1 1,7	4,8	0,7 0,1	40,1	5,7 1,2
3	13	2,3 3,6	4,8	0,7 0,1	22,4	3,2 1,3
4	7,8	1,4 4,5	6,3	0,9 0,1	39	5,5 1
5	2	0,3 5,5	7,9	1,1 0,4	43,1	6,1 1,6
6	3,9	0,7 5,2	6,3	0,9 0,1	40,6	5,7 1,2
7	9,1	1,6 4,3	3,2	0,4 0,3	30,3	4,3 0,2
8	17	3 2,9	4,8	0,7 0,1	22,1	3,1 1,4
9	26,1	4,6 1,3	3,2	0,4 0,3	28,5	4 0,5
10	42,4	7,5 1,6	3,2	0,4 0,3	18	2,5 2
11	26,1	4,6 1,3	4,8	0,7 0,1	41,3	5,8 1,3
12	50,9	9 3,1	9,5	1,3 0,6	16	2,3 2,2
13	25,4	4,5 1,4	4,8	0,7 0,1	38,6	5,4 1
14	26,7	4,7 1,2	6,3	0,9 0,1	31,4	4,4 0,1
15	24,1	4,3 1,6	12,7	1,8 1	45,2	6,4 1,9
16	24,1	4,3 1,6			42,1	5,9 1,4
17	37,8	6,7 0,8			46,3	6,5 2
18	42,4	7,5 1,6			25,4	3,6 0,9
19					30	4,2 0,3
20					22,1	3,1 1,4
21					23,3	3,3 1,2
22					29,4	4,1 0,3
Promedio (mm/h)	4,3		0,8		4,5	
$\Sigma \Delta h$	43,8		4,1		25,3	

Los valores de Coeficiente de Uniformidad (CU) se pueden observar en la Tabla:

Tabla 28: Valores de Coeficiente de Uniformidad (CU) para los tres sistemas de control de heladas evaluados.

Sistema	CU (%)
Riego por microaspersión Sub-Arbóreo (RSA)	43,5
Riego por microaspersión de Bajo Caudal (RMBC)	67,7
Riego por Aspersión Convencional (RAC)	74,4

Durante el funcionamiento de los equipos se registraron las siguientes observaciones:

- Se detectó en RSA que el distanciamiento de las plantas en la fila, utilizado en el sistema de conducción de este lote (Tatura) y la implementación de sistema de riego localizado elevado del suelo (para facilitar tareas de limpieza), afectan la forma en la que se distribuye el agua sobre el lugar, debido a la interceptación del agua asperjada, por parte los troncos (Figura 33), estructuras de soporte y sistema de riego (Figura 34).



Figura 33: Izquierda: agua asperjada chocando con tronco en la línea de plantación. Derecha: Proyección de la sombra provocada por dicha interceptación

El efecto de interceptación por parte de los troncos o “sombra”, se pudo apreciar de forma repetida en todo el lote y en todos los interfilares. A su vez, debido a la densidad de plantación y a que las líneas con aspersores se ubican fila por medio, se dificulta también la superposición del radio de mojado.



Figura 34: Izquierda: Estructura de soporte cubierta de hielo. Derecha: Mangueras de riego localizado cubiertas de hielo durante el control de heladas.

A su vez, las mangueras de goteo suspendidas sobre alambres forman estructuras de hielo (Figura 34) continuas a ambos lados de la línea de plantación, y a mayor duración del evento producen una interceptación cada vez mayor, debido a la acumulación de hielo, que aumenta el ancho de dicha estructura.

- Durante el funcionamiento del equipo de RMBC se observó la acumulación de hielo en las estructuras de soporte de los microaspersores (Figura 35), pero no se apreció interferencia en el funcionamiento habitual, como por ejemplo el descenso en altura de los microaspersores debido al peso.



Figura 35: Estructura de soporte cubierta de hielo luego de un evento de helada

En los tres sistemas de control activo de heladas se pudo apreciar que los momentos de encendido y apagado de los equipos de control activo de heladas no coincidían con lo recomendado, generando esto, en algunos casos, situaciones de exceso de agua como el apreciado en la Figura 11. Es posible atribuir parte de esta situación a la falta de elementos de medición adecuados, tales como sensores, psicrómetros o termómetros homologados para esta función.

DISCUSIÓN

Riego por microaspersión Sub-Arbórea (RSA)

Considerando que para evaluar el daño por helada deben transcurrir al menos 48hs desde la ocurrencia del evento (Coletto et. al., 2003; Castro et. al., 2020), los eventos desarrollados en días consecutivos del día 2, 3 y 4 de octubre del 2020 contemplaron una sola evaluación de daño. El sistema de conducción empleado afectó negativamente el Coeficiente de Uniformidad obtenido (= 43,5%) al interceptar los troncos parte del agua asperjada. Keller y Bliesner (1990; citado en Dechmi et al., 2001) señalan que cuando el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen es menor al 84 % en sistemas de cobertura fija, la uniformidad del riego es afectada e impacta en el desempeño del equipo.

En el 1º evento (de magnitud fuerte) la cantidad de órganos sanos fue significativamente mayor al implementar control activo de heladas, pero con un nivel de flores dañadas elevado en ambos tratamientos. En el 2º evento, se determinó un nivel de daño mayor al implementar RSA y la ausencia de agua líquida goteando del hielo blanquecino formado sobre la superficie del suelo. Tal como señalan Snyder et al. (2010), el principal objetivo es mantener la temperatura del suelo húmedo cerca de 0 °C a fin de aumentar la radiación de la superficie cubierta por una mezcla de hielo y líquido. A su vez, la inexistencia de agua, en estado líquido, sobre el hielo que se va formando en la superficie del suelo, se relaciona con una baja intensidad de precipitación del equipo de riego para las condiciones analizadas. El calor de fusión que se libera, al pasar del estado líquido al sólido en la superficie del suelo, se transmite a éste por conducción manteniéndolo en temperaturas próximas al 0 °C (Tassara, 2007). Es decir, que, en este caso es difícil considerar un flujo de calor sensible que permita calentar el aire y las plantas.

Para los eventos de intensidad “moderada”, los resultados indican que la implementación del sistema de protección activa evidencio un efecto positivo (3º evento), mientras que, en el 4º evento, el daño en el tratamiento y en el testigo fue similar. En ambos

acontecimientos, con un porcentaje de flores dañadas inferior al 23%. Por otra parte, en algunos eventos se detectó un mayor daño al implementar Riego Sub-Arbóreo, relacionado a gráficas donde se observa que la temperatura promedio fue mayor que en el Testigo. Cuando se observan los valores obtenidos en cada sensor, es posible detectar diferencias entre dos sensores ubicados en el mismo lote, lo que puede tener diferentes causas. Según Martínez y Garbi (2020), las pequeñas irregularidades del terreno generan el movimiento del aire frío a zonas más bajas debido a que es más denso y pesado. En este caso, un sensor puede ubicarse en un área sensiblemente más baja y detectar temperaturas inferiores, lo que no representa la temperatura de toda la superficie bajo estudio.

La precisión de los sensores es otro factor que puede influir en la posibilidad de discriminar entre valores de temperaturas cercanos entre sí (Bermudez Roca et al., 2013). Es importante considerar que la trayectoria de las líneas de temperaturas promedio de las gráficas presenta un recorrido similar, lo que evidencia la dificultad del sistema para mantener los órganos reproductivos cercanos a 0°C. Los datalogger Decagon Em50 tienen una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ entre -40°C y 60°C . Por ejemplo, durante la helada del 02/10/2020, la diferencia entre las temperaturas promedio estuvo dentro del rango mencionado durante el 84% del total del evento considerado. Los datalogger HOBO Familia H8 tienen una precisión de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ a 20°C , pero no se especifica el error esperado a temperaturas por debajo de 0°C .

En base a lo expuesto, se rechaza la hipótesis que indica que la implementación del sistema de control por microaspersión sub-arbórea (RSA) influye en una proporción de órganos afectados mayor o igual que en el testigo para heladas de mediana a alta intensidad. Debido a que, si bien se registraron niveles de daño mayor en heladas fuertes y eventos moderados con igual nivel de daño en el testigo y el sistema de control activo de heladas, existe evidencia de un evento de intensidad moderada en el cual se registró un menor nivel de daño al implementar RSA.

Riego por Microaspersión de Bajo Caudal

La evaluación de desempeño de este sistema de control de heladas manifiesta bajos valores de CU (= 67,7%) y baja pluviometría. Tassara (2007) y Dechmi et al. (2001) mencionan valores mínimos de CU de 84 %, el cual es afectado entre otros factores por la intensidad de precipitación. Considerando el modelo para determinar el caudal de aspersión para la protección de una hoja de árbol de 0,02 m de diámetro propuesto por Gerber y Martsof (1979), y la aproximación descripta por Campbell y Norman (1998, citados por Vargas y Chipana, 2015), podemos estimar que para las peores condiciones registradas en el evento del 03/10/2021 (intensidad fuerte) se requeriría una pluviometría de 4,9 mm/h; muy alejado de la pluviometría promedio calculada (0,8mm/h).

Estos parámetros destacan la necesidad de aumentar la cantidad de aspersores presentes u optar por aspersores de mayor pluviometría, cambiando además la distribución actual (rectangular) de los mismos. Snyder et al. (2010) señalan que los mejores valores de uniformidad se obtienen con un espaciamiento triangular de los aspersores, logrando una mayor cobertura y protección ante eventos de helada. El

aumento de la pluviometría conlleva además la necesidad de replantear el diseño hidráulico del sistema.

Otro factor por considerar para evaluar el desempeño efectivo del control de heladas fue determinar la presencia o no de gotas de agua líquida en el extremo más bajo de los carámbanos translucidos. Este fenómeno es un indicador del correcto funcionamiento del equipo debido a que, durante el cambio de estado de líquido a sólido, se libera el calor para mantener la temperatura de los órganos reproductivos próxima al 0 °C (De Rossi et al. 2018). El agua completamente congelada de color blanquecino detectada y el elevado nivel de daño registrado durante una helada fuerte (03/10/2020) se asocian con la pluviometría insuficiente del equipo (Snyder et al., 2010). Esto es evidencia de que el sistema evaluado no brinda protección ante las heladas de esta intensidad, frecuentes en la zona de estudio.

Ante eventos leves, se observaron resultados similares a los evidenciados en el testigo y hasta menores niveles de daño, lo que permitiría suponer una respuesta positiva ante heladas de esta intensidad. Es importante destacar que, en estos eventos el daño observado sin implementar control activo de heladas no fue elevado. Por otra parte, la zona se caracteriza por presentar heladas tardías intensas (San Martino y Manavella, 2022) lo que limita la implementación de este sistema de control activo de heladas.

Las curvas de temperatura, registradas en el Testigo y al implementar RMBC, siguen una trayectoria similar lo que refleja la dificultad del sistema para brindar la protección deseada. Colavita et al. (2010) mencionan que la implementación de los sistemas de control de heladas mediante la aplicación de agua sobre las plantas debe garantizar que la temperatura en el vegetal sea cercana a 0°C, y tal como se ve en las Figuras 26 y 27, a medida que la temperatura desciende en el testigo, también lo hace dentro del sistema de control activo.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis que indica que la implementación del sistema de control con microaspersión sobre la copa con bajo caudal (RMBC) registra una proporción mayor de daño en los órganos reproductivos que en su respectivo testigo. Si bien se registró un nivel de daño igual o inferior al testigo ante eventos leves, en la zona de estudio son muy frecuentes las heladas de intensidad moderada o fuerte, ante las cuales la implementación de este sistema resultó ser contraproducente.

Riego por Aspersión Convencional (RAC)

Los bajos niveles de daño obtenidos ante heladas moderadas y fuertes en el lote con aspersión convencional y las diferencias significativas con el testigo, son coincidentes con la apreciación visual del hielo traslúcido y agua líquida goteando de los carámbanos detectado durante los eventos monitoreados. Tal como señalan Bravo et al. (2020), contar con la cantidad suficiente de agua permite ceder 80 cal/g por conducción a los órganos reproductivos para protegerlos del efecto de la helada.

Los valores de probabilidad de obtener flores sanas en heladas de magnitud fuerte (=0,70) difieren de aquellos obtenidos en la de magnitud moderada (=0,91). Si se considera además el valor de CU obtenido (=74,4%) es posible inferir que el efecto de protección puede ser mejorado trabajando en optimizar la pluviometría del sistema, para

alcanzar el valor de referencia (CU= 84%) propuesto por Keller y Bliesner, 1990 (en Dechmi et al., 2001).

En relación con este punto, se destaca que un aspecto a mejorar es la presión del funcionamiento de los aspersores considerando que, como mencionan Peralta y Simpfendörfer (2001), el caudal de un aspersor va a estar afectado por la presión de funcionamiento entre otros factores.

Si bien el sistema brinda protección ante la magnitud de heladas presentes en la zona, el momento de apagado del sistema de control activo de heladas es posterior al límite establecido por Rossi et al. (2018), quienes señalan que cuando la temperatura del bulbo húmedo es de 1°C a 3°C sobre la temperatura crítica, sin viento, con sol y aumento térmico sostenido, se pueden apagar los equipos. Si bien esta decisión no influye inmediatamente sobre el efecto de control de heladas, Snyder et al. (2010) mencionan que el uso excesivo de los sistemas de aspersión puede generar encharcamiento del suelo generando problemas a nivel radicular, así como el lavado de nutrientes. Por su parte, Adonis (2016) menciona que, la implementación de este sistema, considerando la duración de muchos eventos de helada (Tabla 21) se asocia a elevada humedad y posible proliferación de enfermedades. Es decir que contar con el conocimiento y las herramientas adecuadas (termómetros, sensores, anemómetros, etc.) que permitan decidir el momento de apagado del sistema, es fundamental no solo para evitar el excesivo uso de agua, sino para mantener el efecto positivo del sistema.

La implementación de este sistema permitió que la temperatura registrada fuese cercana a 0°C a nivel de los órganos. Únicamente, durante el evento de magnitud moderada, la temperatura se mantuvo entre los 0°C y -1°C sin pasar el umbral de la temperatura crítica de daño, siendo atribuible este descenso a la presencia de brisas intermitentes. Tal como mencionan Parsons y Boman (2003), cuando la temperatura para alcanzar el punto de rocío es baja y hay viento, la evaporación puede ser alta, enfriando las áreas mojadas por la aspersión por debajo de la temperatura del aire.

Es importante recordar que, el único daño atribuible a la disminución de la temperatura por debajo de 0°C y más aún por debajo de la temperatura crítica, no es el detectado en la evaluación de órganos reproductivos. Como menciona Char (2013), las temperaturas bajo cero que no causen daños visibles en los órganos reproductivos pueden disminuir el cuaje de frutos e influir sobre el potencial de apertura de flores y la receptividad al polen. Mantener la temperatura de los órganos cerca de 0°C, y no solo por encima de la temperatura crítica, puede afectar los rendimientos obtenidos.

El contraste entre las temperaturas mínimas cercanas a cero observadas al implementar el RAC y aquellas inferiores registradas en el testigo, refleja una diferencia significativa en el nivel de daño, a favor de la implementación de este sistema de protección activa de heladas.

Por lo tanto, en base a los resultados se acepta la hipótesis que menciona que la implementación del sistema de control convencional sobre el dosel (RAC) influye en una menor proporción de órganos reproductivos afectados para heladas de mediana a alta

intensidad, en relación con su correspondiente testigo y se justifica la implementación en la zona de estudio.

CONCLUSIONES

Considerando las temperaturas de los eventos registrados históricamente en el valle de Los Antiguos, para el período de mayor sensibilidad a heladas para el cultivo de cerezo (septiembre a noviembre), se concluye que:

- La implementación de los sistemas de riego por microaspersión sub-arbóreo y microaspersión de bajo caudal, descritos en este trabajo, no garantizan su efectividad ante muchos de los eventos que habitualmente se desarrollan en la zona.
- Ante heladas de magnitud fuerte, la utilización del sistema de bajo caudal puede resultar desfavorable, por registrarse más daño al implementarlo que ante la ausencia de protección activa de heladas.
- Las diferencias de temperatura y daño en órganos reproductivos entre el sistema de control activo de heladas y el testigo, observadas al implementar riego por aspersión convencional, permiten concluir que este sistema presenta gran potencial para hacer frente a las heladas de diferente magnitud presentes en la zona.
- En el sistema de conducción Tatura con microaspersión sub-arbórea se recomienda duplicar la cantidad de microaspersores. Se deben incorporar en todas las calles (entre hileras de plantación del lote) para evitar la interferencia de los troncos y contribuir a mejorar el coeficiente de uniformidad, aumentar la pluviometría y mejorar el límite de protección del sistema. Estas son alternativas potenciales que requieren ser evaluadas para determinar su factibilidad junto con su respuesta en otros sistemas de conducción.
- Las modificaciones necesarias para aumentar la pluviometría del sistema de aspersión de bajo caudal repercuten en la pérdida de una de sus principales virtudes, que es el abastecimiento a partir de la red de distribución de agua para riego localizado.
- En relación con los sistemas de protección evaluados, que utilizan riego por microaspersión, sería enriquecedor plantear un trabajo de monitoreo que contemple la implementación de sensores de mayor precisión y densidad de estos en cada finca.
- A partir de los resultados obtenidos deberá profundizarse el análisis implementando modificaciones tales como: a) aumento en la densidad de microaspersores a fin de evaluar el impacto en las redes de distribución y cabezales y en el volumen de agua aplicado; y b) la incorporación de elementos de medición fiables que permitan decidir el momento de apagado de los equipos, evaluando el impacto de esta modificación sobre el nivel de consumo de agua y energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Adonis, R. (Ed.). (2016). Heladas. Tipos, medidas de prevención y manejos posteriores al daño. Guía de uso del sitio. Instituto de Investigaciones Agropecuarias; Fundación para la Innovación Agraria; Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/33655>
- Arevalo Contreras, M. A. (2020). Fenología y fisiología de un huerto de cerezo (*Prunus avium L*) cv. santina, producido bajo macrotúnel y techo antilluvia. Talca, Chile. Disertación Doctoral, Universidad de Talca (Chile). Escuela de agronomía.
- Arribillaga García, D. (2020) Efecto de las bajas temperaturas en el desarrollo del cultivo del cerezo en la región de Aysén [en línea]. Osorno: *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. no. 417. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6847>
- Bermudez Roca, A. I., & Bogotá Durán, A. R. (2013). Banco de pruebas para la caracterización de los diferentes tipos de sensores de temperatura (Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana). Repositorio institucional, Universidad Pontificia Bolivariana. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/397>
- Bravo, R., Muñoz, M. y Quintana, J (2020). Heladas. Factores atmosféricos, tendencias y efectos en frutales y vides. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín N° 417. 102 pp
- Chaar, J. E. (2013). Resistencia a heladas en plantas frutales. Colima, México. Avances en Investigación Agropecuaria, vol. 17, núm. 3, 2013, pp. 109-121
- Claps, L. L. (2006). Análisis económico de la producción de cerezas en Patagonia Sur. En: Cittadini, E. D.; San Martino, L. (ex aequo). (2006). El cultivo de cerezos en Patagonia Sur. Tecnología de manejo, empaque y comercialización. Argentina. Centro Regional Patagonia Sur. Ediciones INTA.
- Coletto, J. M.; Bartolomé, T.; Velázquez, R.; Paniagua, L. L.; Rozas, M. A. (2003). Daños por heladas primaverales en cerezo (*Prunus avium L.*). Vida rural, N° 167, 2003, págs. 24-27
- Colavita, G., Forquera, J. C., Rodriguez, A. B., Tassara, M. A., & Thomas, E. R. (2010). Capítulo 11: Adversidades climáticas. En J., Alvarez et al (Eds.), Pera William's: Manual para el productor y empacador (pp:112-125). Editorial ProRioNegro. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12123/15931>.
- Damario, E. A.; Pascale, A. J.; Torterolo, M. Karina. (2006). Evaluación agroclimática del riesgo de daño por helada en las regiones de cultivo de cerezo en la Argentina. Cátedra de climatología y fenología agrícolas. Facultad de Agronomía. UBA. Rev. Facultad de Agronomía UBA 26(3): 233-249.
- Dechmi, F.; Playán Jubillar, E.; Caverro Campo, J.; Martínez-Cob, A.; Faci González, J. M. (2001). Evaluación del riego por aspersión en cobertura total en una parcela de maíz. XIX Congreso Nacional de Riegos, Zaragoza.
- De Rossi, R.; Fernández, D.; Rodríguez, A. (2018). Los veinte puntos clave de los riegos por aspersión y subarbóreo contra las heladas. EEA Alto Valle, INTA. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12123/2509>
- Demirsoy, H.; Demirsoy, L.; Lang, G.A. (2022): Research on spring frost damage in cherries. Horticultural Science (Prague), 49, 2022 (2): 89–94
- Ellena Dellinger, M. (2012). Formación y sistemas de conducción del cerezo dulce. Chile. Publicación editada en el contexto del proyecto INNOVA CORFO : "Difusión y transferencia de tecnologías para la conducción y formación de cerezos en la zona sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional Carillanca.
- FAOSTAT (2023). Production / Crops and livestock products – Metadata. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. (Fecha de consulta: 17/02/2023)
- Flore, J. A. y Layne, D. R. (1999). Photoassimilate Production and Distribution in Cherry. HortScience, 34 (6), 1015-1019.
- García Montiel, F. (2010). Análisis de diversos factores biológicos que influyen en el proceso de floración, producción y calidad del fruto en variedades de cerezo (*Prunus*

avium L.) cultivadas en la Región de Murcia (Tesis de Doctorado, Universidad Miguel Hernández). Repositorio universitario-Universidad Miguel Hernández. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11000/1729>

Hedhly, A.; Hormaza, J. I.; Herrero, M. (2003). The effect of temperature on stigmatic receptivity in sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Plant, Cell* 2003, 26, 1673–1680. Disponible en: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01085.x>

Hernández, M. L. (1995). Daños por helada en plantaciones frutales en floración. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 21(3), 377-394.

Hochmaier, V. E.; San Martino, L. (2007). Cereza (*Prunus avium* L.): caracterización fenológica y calidad de fruta de cinco variedades utilizadas en el valle de Los Antiguos. En Ponencia presentada en el XXX Congreso Argentino de Horticultura y I Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos. La Plata. Horticultura Argentina 26 (61), 74. Disponible en: <https://www.horticulturaar.com.ar/es/publicacion/61/>

Kodad, O.; Morales, F.; Socias, R. (2010). Evaluación de la tolerancia de las flores de almendro a las heladas por la fluorescencia de clorofila. España. ITEA (2010) Vol. 106 (2), 142-150.

Lemus, G. (2005). El cultivo del cerezo. *Boletín INIA N°133*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación INIA La Platina. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/32062>

Longstroth, M. y Perry, R. L. (1996). Selecting the orchard site, orchard planning and establishment. En: Webster A.D.; N.E. Looney (Eds.). *Cherries. Crop physiology, production and uses*. CABI.

Manavella, F.; Guerendiaín, F. (2003) Sistemas de control de heladas. EEA Santa Cruz, INTA. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12123/11825>

Manavella, F.; San Martino, L. (2006). Análisis económico de la producción de cerezas en Patagonia Sur. En: Cittadini, E. D.; San Martino, L. (ex aequo). (2006). *El cultivo de cerezos en Patagonia Sur. Tecnología de manejo, empaque y comercialización*. Argentina. Centro Regional Patagonia Sur. Ediciones INTA.

Manavella, F.; San Martín, L.; Guerendiaín, F. (2020). La cereza dulce más austral del mundo. *Agropost*, Oct Nov (170), 5-9. Disponible en: <http://cpia.org.ar/agropost/nota/73>

MAGyP (2019). Cadena de cerezas. Argentina. Secretaría de Alimentos y Bioeconomía. Dirección Nacional de Alimentos y Bebidas. Dirección de Cadenas Alimentarias (DCA).

Matías Ramírez, L.G.; Fuentes Mariles, O. A.; García Jiménez, F. (2001). Heladas. Serie Fascículos. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación. México DF.

Martínez, S.; Garbi, M. (2020). Actualización del Apunte de Climatología y Fenología Agrícolas del CEA 1979, basado en las clases teóricas del Ing. Agr. Edmundo Damario. PRINCIPALES ADVERSIDADES AGRÍCOLAS DEL TIEMPO Y EL CLIMA. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Montenegro, I. O.; Cabezas, M. A.; Browne Lopez, V. B.; Córdoba Añasco, J.; Santibáñez, F. (2016). Estudio de Vigilancia Tecnológica. Sistemas de Control y Manejo de Heladas para el Sector Agrícola Nacional. Parte 1: Análisis del Panorama Científico y Tecnológico. Chile. Fundación para la Innovación Agraria.

Muñoz Garmendia, F.; Navarro, C. (1998). Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. VOL. 6. ROSACEAE. REAL JARDÍN BOTÁNICO, CSIC. Disponible en: <https://bibdigital.rjb.csic.es/idurl/1/9902>

Parsons, L. R. y Boman, B. J. (2003). Riego por microaspersores para protección contra el frío de cítricos de Florida. Servicio de Extensión Cooperativa de la Universidad de Florida, Instituto de Ciencias Agrícolas y Alimentarias, EDIS.

Peralta, J. M.; Simpfendörfer, C. (2001). Riego por aspersión. Chile. INIA. Centro Regional de Investigación Carillanca.

Quiroz, I., Miranda, C., Chieyssel, T., Terán, M., Urrutia, I., & Mühlenbrock, N. (Abril de 2022). Recuperado el 06 de noviembre de 2023 de

http://www.iqonsulting.com/files/220422_Anuario_2022_CEREZAS.pdf

Quiroz I., Salinas, G., Urrutia, I., Hernández, J., Mühlenbrock, N., Prat, P. (Marzo de 2021). Recuperado el 06 de noviembre de 2023 de

https://iqonsulting.com/files/iQonsulting_Anuario_Cereza_2020_2021_89f66f60f80409447857933d5a24fe41.pdf

Raffo Benegas, M. D., Curetti, M., Mañueco, M. L., Candan, A. P., y Villarreal, P. (2022). Producción de cerezas: alternativas para mejorar la calidad. EEA Alto Valle, INTA.

Righi, E.; Cittadini, E. D.; Mundet, C.; San Martino, L.; Sanz, C.; Baltuska, N. (2011). Tipología predial del sector productor de cerezas del sur de la Patagonia argentina. *Agriscientia* vol.28 no.1

San Martino, L.; Manavella, F. (2022). Síntesis agrometeorológica de la localidad de Los Antiguos (Santa Cruz). Período 2000-2021. INTA AER Los Antiguos.

Sánchez, E. E. (2020). Programa Nacional de Frutales. Superficie ocupada por plantaciones de frutales en el país y cambios en su estructura productiva. EEA Balcarce. INTA Ediciones.

Scarpati, O. E.; Puga, Y. E. (2011). Transformación territorial y producción de cereza (*Prunus cerasus* L.) en el Valle de Los Antiguos, Santa Cruz, República Argentina. *Revista Geográfica*, 89-110.

Snyder, R. L.; De Melo-Abreu, J. P. (2010). Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Sozzi, G. O. (2007). Árboles Frutales. Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Tassara, M. A. (2007). Las heladas primaverales. Protección en frutales de clima templado-frío. Argentina. Centro Regional Patagonia Norte. EEA Alto Valle. INTA.

Tersoglio, E.; Naranjo, G.; Rivero, L.; Quiroga, M. (2006). Requerimiento de frío invernal y de calor en variedades de cerezos. *ITEA*. Vol. 102 (3), 251-259

Urbina Vallejo, V. (2007). Daños por heladas en frutales. Sintomatología y evaluación. España. Departamento de Hortofruticultura, B. J. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Universidad de Lleida. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10459.1/47655>

Urbina Vallejo, V. (2015). El medio ecológico en plantaciones frutales. España. Departamento de Hortofruticultura, B. J. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Universidad de Lleida. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10459.1/48278>

Valenzuela Villar, M. I. (2019). Efectividad de la aplicación de un agente crioprotector en el control del daño por heladas en cerezo (*Prunus avium* L.). (Tesis de Maestría, Universidad de Concepción). <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/824>

Valenzuela Villar, M.; Bastías, R. M.; Rodríguez, S.; Sabando, C. (2020). Polímero de pva como herramienta para prevenir el daño por heladas en yemas florales del cerezo *Prunus avium* L. Chile. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., Ex Agro-Ciencia*. 36(2): 97-109.

Vargas, M. R.; Chipana, R. (2015). Control de bajas temperaturas mediante el riego por aspersión fijo en el Altiplano Central de Bolivia. *RIARn* vol.2 no.1 La Paz, Bolivia.

Villarreal, P.; Raffo Benegas, M. D. (2020). Cerezas patagónicas con presencia internacional. *Fruticultura & Diversificación* 26 (84) : 19-22. (2020). EEA Alto Valle INTA. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/cerezas-patagonicas-con-presencia-internacional>

Wertheim, S. 1976. Bloei, bestuiving, bevruchting en vruchtzetting. p.184-221. En: Hochmaier, V. 2014 Chilling Unit Accumulation and Degree-Day Requirements of Four Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) Cultivars. *ISHS Acta Horticulturae* 1020, 203-207: VI Simposio Internacional de Cerezas. Dispoble en: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1020.29>

Webster, A. D.; Looney, N. E. (1996). *Cherries: Crop Physiology, Production and Uses*. CAB International.

ANEXOS

ANEXO I: Salida de procesamiento análisis estadístico de daño en órganos reproductivos (Software: InfoStat 2020)

Riego por microaspersión Sub-Arbórea (RSA)

- 1º Evento

Análisis de datos categóricos

Salida del Procesamiento

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	614	124	738
1	438	233	671
Total	1052	357	1409

Frecuencias relativas por filas

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	0,83	0,17	1,00
1	0,65	0,35	1,00
Total	0,75	0,25	1,00

Frecuencias relativas por columnas

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	0,58	0,35	0,52
1	0,42	0,65	0,48
Total	1,00	1,00	1,00

Frecuencias relativas al total

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	0,44	0,09	0,52
1	0,31	0,17	0,48
Total	0,75	0,25	1,00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	59,67	1	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	60,21	1	<0,0001
Irwin-Fisher bilateral	0,18		<0,0001
Coef.Conting.Cramer	0,15		
Kappa (Cohen)	0,18		
Coef.Conting.Pearson	0,20		
Coeficiente Phi	0,21		

Cocientes de chance (odds ratio) y riesgos relativos

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	2,63	2,05	3,38
Odds Ratio 2/1	0,38	0,30	0,49
R. Relat. (Col 1 1/2)	1,27	1,20	1,36
R. Relat. (Col 1 2/1)	0,78	0,74	0,84

Diferencia de dos proporciones

Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones

H_c : "La proporción de flores no afectadas en los frutales en que se utiliza un riego por aspersión debajo de los frutales no es la misma que a los referidos como testigos"

$$H_0: \pi_1 - \pi_2 = 0$$

$$H_1: \pi_1 - \pi_2 \neq 0$$

Prueba de Z

Salida del Procesamiento

$$\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = 0.179221 \quad p < 0.0001$$

Regresión logística

Salida del Procesamiento

Regresión logística

Distribución: Binomial
Función de enlace: Logit

Variable dependiente: Daño
Codificar como éxito a valores mayores que la media
Número de observaciones: 1409
Observaciones faltantes: 0
Iteraciones: 6 (max=20)
Tolerancia: 1E-9 (0,000000000)

Parámetros	Est.	E.E.	O.R.	Wald	LI (95%)	Wald	LS (95%)	Wald	Chi ²	p-valor
Constante	-1,60	0,10	0,20		0,17		0,24	264,01	<0,0001	
Tratam	0,97	0,13	2,63		2,05		3,38	57,66	<0,0001	

	Valor	gl
Log Likelihood	-767,40	1407
Deviance	1534,80	1407
Escala (fijada)	1,00	

Pruebas de hipótesis marginales

F.V.	gl	-2[L0-L1]	p-valor
Tratam	1	60,21	<0,0001

$$p(Yf = 1/x_1) = \frac{e^{-1.6+0.97x_1}}{1 + e^{-1.6+0.97x_1}}$$

P(Y=1)= 0.53/1.53=0.35 para riego con aspersion

P(Y=1)= 0.2/1.2=0.17 con el testigo

2º Evento

Análisis de datos categóricos

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	83	217	300
1	155	145	300
Total	238	362	600

Frecuencias relativas por filas

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	0,28	0,72	1,00
1	0,52	0,48	1,00
Total	0,40	0,60	1,00

Frecuencias relativas por columnas

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	0,35	0,60	0,50
1	0,65	0,40	0,50
Total	1,00	1,00	1,00

Frecuencias relativas al total

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	0,14	0,36	0,50
1	0,26	0,24	0,50
Total	0,40	0,60	1,00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	36,10	1	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	36,54	1	<0,0001
Irwin-Fisher bilateral	-0,24		<0,0001
Coef.Conting.Cramer	0,17		
Kappa (Cohen)	-0,24		
Coef.Conting.Pearson	0,24		
Coeficiente Phi	-0,25		

Cocientes de chance (odds ratio) y riesgos relativos

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	0,36	0,25	0,50
Odds Ratio 2/1	2,79	1,99	3,92
R. Relat. (Col 1 1/2)	0,54	0,43	0,66
R. Relat. (Col 1 2/1)	1,87	1,50	2,30

Diferencia de dos proporciones

Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones

H_c : "La proporción de flores no afectadas en los frutales en que se utiliza un riego por aspersion debajo de los frutales no es la misma que a los referidos como testigos"

$$H_0: \pi_1 - \pi_2 = 0$$

$$H_1: \pi_1 - \pi_2 \neq 0$$

Prueba de Z

Salida del Procesamiento

$$\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = -0.24 \quad p < 0.0001$$

Regresión logística

Regresión logística

Distribución: Binomial
Función de enlace: Logit

Variable dependiente: Daño
Codificar como éxito a valores mayores que la media
Número de observaciones: 600
Observaciones faltantes: 0
Iteraciones: 5 (max=20)
Tolerancia: 1E-9 (0,000000000)

Parámetros	Est.	E.E.	O.R.	Wald	LI(95%)	Wald	LS(95%)	Wald	Chi ²	p-valor
Constante	0,96	0,13	2,61		2,03		3,37		55,45	<0,0001
Tratam	-1,03	0,17	0,36		0,25		0,50		35,20	<0,0001

	Valor	gl
Log Likelihood	-384,71	598
Deviance	769,42	598
Escala (fijada)	1,00	

Pruebas de hipótesis marginales

F.V.	gl	-2[L0-L1]	p-valor
Tratam	1	36,54	<0,0001

$$p(Yf = 1/x_1) = \frac{e^{0.96-1.03x_1}}{1 + e^{0.96-1.03x_1}}$$

P(Y=1)= 0.93/1.93=0.48 para riego con aspersión

P(Y=1)= 2.61/3.61=0.72 con el testigo

3º Evento

Análisis de datos categóricos

Salida del Procesamiento

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas
En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	2506	1462	3968
1	867	2926	3793
Total	3373	4388	7761

Frecuencias relativas por filas
En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	0,63	0,37	1,00
1	0,23	0,77	1,00
Total	0,43	0,57	1,00

Frecuencias relativas por columnas
En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	0,74	0,33	0,51
1	0,26	0,67	0,49
Total	1,00	1,00	1,00

Frecuencias relativas al total
En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	0,32	0,19	0,51
1	0,11	0,38	0,49
Total	0,43	0,57	1,00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	1281,57	1	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	1325,15	1	<0,0001
Irwin-Fisher bilateral	0,40		<0,0001
Coef.Conting.Cramer	0,29		
Kappa (Cohen)	0,40		
Coef.Conting.Pearson	0,38		
Coefficiente Phi	0,41		

Cocientes de chance (odds ratio) y riesgos relativos

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	5,78	5,24	6,39
Odds Ratio 2/1	0,17	0,16	0,19
R. Relat. (Col 1 1/2)	2,76	2,59	2,94
R. Relat. (Col 1 2/1)	0,36	0,34	0,39

Diferencia de dos proporciones

Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones

H_c : "La proporción de flores no afectadas en los frutales en que se utiliza un riego por aspersión debajo de los frutales no es la misma que a los referidos como testigos"

$$H_0: \pi_1 - \pi_2 = 0$$

$$H_1: \pi_1 - \pi_2 \neq 0$$

Prueba de Z

Salida del Procesamiento

$$\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = 0.402973 \quad p < 0.0001$$

Diferencia de proporciones

Diferencia de proporciones: 0,402973

Tamaños muestrales: 3793, 3968

P(diferencia=0): 0,000000

Éxitos observados: 2926, 1462

Calcular Cancelar Ayuda

Regresión logística

Regresión logística

Distribución: Binomial
Función de enlace: Logit

Variable dependiente: Daño
Codificar como éxito a valores mayores que la media
Número de observaciones: 7761
Observaciones faltantes: 0
Iteraciones: 5 (max=20)
Tolerancia: 1E-9 (0,000000000)

Parámetros	Est.	E.E.	O.R.	Wald	LI(95%)	Wald	LS(95%)	Wald Chi ²	p-valor
Constante	-0,54	0,03	0,58	0,55	0,55	0,62	268,13	<0,0001	
Trat	1,76	0,05	5,78	5,24	5,24	6,39	1194,96	<0,0001	

	Valor	gl
Log Likelihood	-4650,38	7759
Deviance	9300,76	7759
Escala (fijada)	1,00	

Pruebas de hipótesis marginales

F.V.	gl	-2[L0-L1]	p-valor
Trat	1	1325,15	<0,0001

$$p(Yf = 1/x_1) = \frac{e^{-0.54+1.76x_1}}{1 + e^{-0.54+1.76x_1}}$$

P(Y=1)= 3.38/4.38=0.77 para riego con aspersión

P(Y=1)= 0.58/1.58=0.37 con el testigo

4º Evento

Análisis de datos categóricos

Salida del Procesamiento

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas: Daño

Trat	0	1	Total
0	39	162	201
1	41	159	200
Total	80	321	401

Frecuencias relativas por filas

En columnas: Daño

Trat	0	1	Total
0	0,19	0,81	1,00
1	0,21	0,80	1,00
Total	0,20	0,80	1,00

Frecuencias relativas por columnas

En columnas: Daño

Trat	0	1	Total
0	0,49	0,50	0,50
1	0,51	0,50	0,50
Total	1,00	1,00	1,00

Frecuencias relativas al total

En columnas: Daño

Trat	0	1	Total
0	0,10	0,40	0,50
1	0,10	0,40	0,50
Total	0,20	0,80	1,00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	0,08	1	0,7834
Chi Cuadrado MV-G2	0,08	1	0,7834
Irwin-Fisher bilateral	-0,01		0,8037
Coef. Conting. Cramer	0,01		
Kappa (Cohen)	-0,01		
Coef. Conting. Pearson	0,01		
Coeficiente Phi	-0,01		

Cocientes de chance (odds ratio) y riesgos relativos

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	0,93	0,57	1,52
Odds Ratio 2/1	1,07	0,66	1,74
R. Relat. (Col 1 1/2)	0,95	0,64	1,40
R. Relat. (Col 1 2/1)	1,06	0,71	1,56

Diferencia de dos proporciones

Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones

H_c : "La proporción de flores no afectadas en los frutales en que se utiliza un riego por aspersión debajo de los frutales no es la misma que a los referidos como testigos"

$$H_0: \pi_1 - \pi_2 = 0$$

$$H_1: \pi_1 - \pi_2 \neq 0$$

Prueba de Z

Salida del Procesamiento

$$\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = -0.010970 \quad p=0.803729$$

Regresión logística

Salida del Procesamiento

Regresión logística

Distribución: Binomial
Función de enlace: Logit

Variable dependiente: Daño
Codificar como éxito a valores mayores que la media
Número de observaciones: 401
Observaciones faltantes: 0
Iteraciones: 6 (max=20)
Tolerancia: 1E-9 (0,000000000)

Parámetros	Est.	E.E.	O.R.	Wald	LI (95%)	Wald	LS (95%)	Wald	Chi ²	p-valor
Constante	1,42	0,18	4,15		2,93		5,89		63,74	<0,0001
Trat	-0,07	0,25	0,93		0,57		1,52		0,08	0,7835

	Valor	gl
Log Likelihood	-200,35	399
Deviance	400,69	399
Escala (fijada)	1,00	

Pruebas de hipótesis marginales

F.V.	gl	-2[L0-L1]	p-valor
Trat	1	0,08	0,7834

$$p(Yf = 1/x_1) = \frac{e^{1.42-0.07x_1}}{1 + e^{1.42-0.07x_1}}$$

P(Y=1)= 3.8/4.8=0.79 para riego con aspersión

P(Y=1)= 4.13/5.13=0.8 con el testigo

Riego por microaspersión de bajo caudal (RMBC) sobre la canopia

- 1º Evento

Análisis de datos categóricos

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas
En columnas:Daño

Var. Regresora	0	1	Total
0	341	517	858
1	615	314	929
Total	956	831	1787

Frecuencias relativas al total
En columnas:Daño

Var. Regresora	0	1	Total
0	0,19	0,29	0,48
1	0,34	0,18	0,52
Total	0,53	0,47	1,00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	125,50	1	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	126,92	1	<0,0001
Irwin-Fisher bilateral	-0,26		<0,0001
Coef.Conting.Cramer	0,19		
Kappa (Cohen)	-0,26		
Coef.Conting.Pearson	0,26		
Coeficiente Phi	-0,27		

Cocientes de chance (odds ratio) y riesgos relativos

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	0,34	0,28	0,41
Odds Ratio 2/1	2,97	2,45	3,60
R. Relat. (Col 1 1/2)	0,60	0,55	0,66
R. Relat. (Col 1 2/1)	1,67	1,51	1,83

Diferencia de dos proporciones

Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones

Salida del procesamiento

$$\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = -0,264566 \quad p < 0.0001$$

Regresión Logística

Regresión logística

Distribución: Binomial
Función de enlace: Logit

Variable dependiente: Daño
Codificar como éxito a valores mayores que la media
Número de observaciones: 1787
Observaciones faltantes: 0
Iteraciones: 5 (max=20)
Tolerancia: 1E-9 (0,000000000)

Parámetros	Est.	E.E.	O.R.	Wald	LI(95%)	Wald	LS(95%)	Wald	Chi²	p-valor
Constante	0,42	0,07	1,52		1,32		1,74		35,59	<0,0001
Var. Regresora	-1,09	0,10	0,34		0,28		0,41		122,41	<0,0001

	Valor	gl
Log Likelihood	-1170,82	1785
Deviance	2341,64	1785
Escala (fijada)	1,00	

Pruebas de hipótesis marginales

F.V.	gl	-2[L0-L1]	p-valor
Var. Regresora	1	126,92	<0,0001

$$p(Yf = 1/x_1) = \frac{e^{0.42+(-1.09)x_1}}{1 + e^{0.42+(-1.09)x_1}}$$

P(Y=1)= 0.338 para riego con aspersión

P(Y=1)= 0.60 con el testigo

2º evento

Análisis de datos categóricos

Salida del Procesamiento

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	2	578	580
1	3	470	473
Total	5	1048	1053

Frecuencias relativas por filas

En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	3,4E-03	1,00	1,00
1	0,01	0,99	1,00
Total	4,7E-03	1,00	1,00

Frecuencias relativas por columnas

En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	0,40	0,55	0,55
1	0,60	0,45	0,45
Total	1,00	1,00	1,00

Frecuencias relativas al total

En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	1,9E-03	0,55	0,55
1	2,8E-03	0,45	0,45
Total	4,7E-03	1,00	1,00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	0,46	1	0,4968
Chi Cuadrado MV-G2	0,46	1	0,4979
Irwin-Fisher bilateral	-2,9E-03		0,6621
Coef.Conting.Cramer	0,01		
Kappa (Cohen)	-2,6E-03		
Coef.Conting.Pearson	0,02		
Coefficiente Phi	-0,02		

Cocientes de chance (odds ratio) y riesgos relativos

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	0,54	0,11	2,76
Odds Ratio 2/1	1,84	0,36	9,39
R. Relat. (Col 1 1/2)	0,54	0,10	3,47
R. Relat. (Col 1 2/1)	1,84	0,29	10,23

Diferencia de dos proporciones

Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones

H_c : "La proporción de flores no afectadas en los frutales en que se utiliza un riego por microaspersión de bajo caudal (RMBC), no es la misma que a los referidos como testigos"

$H_0: \pi_1 - \pi_2 = 0$

$H_1: \pi_1 - \pi_2 \neq 0$

Prueba de Z

Salida del Procesamiento

$$\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = -0.002894 \quad p=0.662071$$

X

Diferencia de proporciones

Diferencia de proporciones <input style="width: 100%;" type="text" value="-0,002894"/>	Tamaños muestrales <input style="width: 40%;" type="text" value="473"/> <input style="width: 40%;" type="text" value="580"/>
P(diferencia=0) <input style="width: 100%;" type="text" value="0,662071"/>	Éxitos observados <input style="width: 40%;" type="text" value="470"/> <input style="width: 40%;" type="text" value="578"/>

Regresión logística

Regresión logística

Distribución: Binomial
 Función de enlace: Logit

Variable dependiente: Daño
 Codificar como éxito a valores mayores que la media
 Número de observaciones: 1053
 Observaciones faltantes: 0
 Iteraciones: 10 (max=20)
 Tolerancia: 1E-9 (0,000000000)

Parámetros	Est.	E.E.	O.R.	Wald	LI(95%)	Wald	LS(95%)	Wald	Chi ²	p-valor
Constante	5,67	0,71	289,00	72,10		1158,35		64,00	<0,0001	
Trat	-0,61	0,91	0,54	0,09		3,26		0,45	0,5034	

	Valor	gl
Log Likelihood	-31,51	1051
Deviance	63,02	1051
Escala (fijada)	1,00	

Pruebas de hipótesis marginales

F.V.	gl	-2[L0-L1]	p-valor
Trat	1	0,46	0,4979

$$p(Yf = 1/x_1) = \frac{e^{5.67-0.61x_1}}{1 + e^{5.67-0.61x_1}}$$

P(Y=1)= 157.59/158.59=0.993 para riego con aspersión

P(Y=1)= 290.03/291.03=0.996 con el testigo

3º evento

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	686	2035	2721
1	510	2945	3455
Total	1196	4980	6176

Frecuencias relativas por filas

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	0,25	0,75	1,00
1	0,15	0,85	1,00
Total	0,19	0,81	1,00

Frecuencias relativas por columnas

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	0,57	0,41	0,44
1	0,43	0,59	0,56
Total	1,00	1,00	1,00

Frecuencias relativas al total

En columnas:Daño

Tratam	0	1	Total
0	0,11	0,33	0,44
1	0,08	0,48	0,56
Total	0,19	0,81	1,00

Análisis de datos categóricos

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	106,45	1	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	105,78	1	<0,0001
Irwin-Fisher bilateral	0,10		<0,0001
Coef.Conting.Cramer	0,09		
Kappa (Cohen)	0,11		
Coef.Conting.Pearson	0,13		
Coeficiente Phi	0,13		

Cocientes de chance (odds ratio) y riesgos relativos

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	1,95	1,71	2,21
Odds Ratio 2/1	0,51	0,45	0,58
R. Relat. (Col 1 1/2)	1,71	1,54	1,89
R. Relat. (Col 1 2/1)	0,59	0,53	0,65

Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones

H_c : "La proporción de flores no afectadas en los frutales en que se utiliza un riego por microaspersión sobre la canopia de los frutales, no es la misma que a los referidos como testigos"

$$H_0: \pi_1 - \pi_2 = 0$$

$$H_1: \pi_1 - \pi_2 \neq 0$$

Prueba de Z

Salida del Procesamiento

$$\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = 0.104501 \quad p < 0.0001$$

Diferencia de proporciones

Diferencia de proporciones: 0,104501

Tamaños muestrales: 3455, 2721

P(diferencia=0): 0,000000

Éxitos observados: 2945, 2035

Calcular Cancelar Ayuda

Regresión logística

Regresión logística

Distribución: Binomial
Función de enlace: Logit

Variable dependiente: Daño
Codificar como éxito a valores mayores que la media
Número de observaciones: 6176
Observaciones faltantes: 0
Iteraciones: 6 (max=20)
Tolerancia: 1E-9 (0,000000000)

Parámetros	Est.	E.E.	O.R.	Wald	LI(95%)	Wald	LS(95%)	Wald	Chi ²	p-valor
Constante	1,09	0,04	2,97		2,72		3,23		606,62	<0,0001
Tratam	0,67	0,07	1,95		1,71		2,21		104,40	<0,0001

	Valor	gl
Log Likelihood	-2982,47	6174
Deviance	5964,94	6174
Escala (fijada)	1,00	

Pruebas de hipótesis marginales

F.V.	gl	-2[L0-L1]	p-valor
Tratam	1	105,78	<0,0001

$$p(Yf = 1/x_1) = \frac{e^{1.09+0.67x_1}}{1 + e^{1.09+0.67x_1}}$$

P(Y=1)= 5.81/6.81=0.85 para riego con aspersión

P(Y=1)= 2.97/3.97=0.75 con el testigo

Riego por aspersión convencional (RAC)

- 1º Evento

Análisis de datos categóricos

Salida del Procesamiento

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas: Daño

Tratamiento	0	1	Total
0	416	435	851
1	204	480	684
Total	620	915	1535

Frecuencias relativas al total

En columnas: Daño

Tratamiento	0	1	Total
0	0,27	0,28	0,55
1	0,13	0,31	0,45
Total	0,40	0,60	1,00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	57,21	1	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	57,98	1	<0,0001
Irwin-Fisher bilateral	0,19		<0,0001
Coef. Conting. Cramer	0,14		
Kappa (Cohen)	0,18		
Coef. Conting. Pearson	0,19		
Coeficiente Phi	0,19		

Cocientes de chance (odds ratio) y riesgos relativos

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	2,25	1,82	2,78
Odds Ratio 2/1	0,44	0,36	0,55
R. Relat. (Col 1 1/2)	1,64	1,43	1,87
R. Relat. (Col 1 2/1)	0,61	0,53	0,70

Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones

H_c : "La proporción de flores no afectadas en los frutales en que se utiliza un riego por aspersión convencional no es la misma que a los referidos como testigos"

Diferencia de proporciones ✕

Diferencia de proporciones Tamaños muestrales

P(diferencia=0) Éxitos observados

Salida del Procesamiento

$$\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = 0.190591 \quad p < 0.0001$$

Regresión logística

Salida del Procesamiento

Regresión logística

Distribución: Binomial
Función de enlace: Logit

Variable dependiente: Daño
Codificar como éxito a valores mayores que la media
Número de observaciones: 1535
Observaciones faltantes: 0
Iteraciones: 5 (max=20)
Tolerancia: 1E-9 (0,000000000)

Parámetros	Est.	E.E.	O.R.	Wald	LI(95%)	Wald	LS(95%)	Wald	Chi²	p-valor
Constante	0,04	0,07	1,05		0,91		1,20		0,42	0,5149
Tratamiento	0,81	0,11	2,25		1,82		2,78		56,27	<0,0001

	Valor	gl
Log Likelihood	-1006,47	1533
Deviance	2012,93	1533
Escala (fijada)	1,00	

Pruebas de hipótesis marginales

F.V.	gl	-2[L0-L1]	p-valor
Tratamiento	1	57,98	<0,0001

$$p(Yf = 1/x_1) = \frac{e^{0.04+0.81x_1}}{1 + e^{0.04+0.81x_1}}$$

P(Y=1)= 2.34/3.34=0.7 para riego con aspersión

P(Y=1)= 1.04/2.03=0.5 con el testigo

2º Evento

Análisis de datos categóricos:

Salida del Procesamiento

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	1127	1932	3059
1	202	2000	2202
Total	1329	3932	5261

Frecuencias relativas por filas

En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	0,37	0,63	1,00
1	0,09	0,91	1,00
Total	0,25	0,75	1,00

Frecuencias relativas por columnas

En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	0,85	0,49	0,58
1	0,15	0,51	0,42
Total	1,00	1,00	1,00

Frecuencias relativas al total

En columnas:Daño

Trat	0	1	Total
0	0,21	0,37	0,58
1	0,04	0,38	0,42
Total	0,25	0,75	1,00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	519,16	1	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	570,62	1	<0,0001
Irwin-Fisher bilateral	0,28		<0,0001
Coef.Conting.Cramer	0,22		
Kappa (Cohen)	0,25		
Coef.Conting.Pearson	0,30		
Coeficiente Phi	0,31		

Cocientes de chance (odds ratio) y riesgos relativos

Estadístico	Estim	LI 95%	LS 95%
Odds Ratio 1/2	5,78	4,91	6,79
Odds Ratio 2/1	0,17	0,15	0,20
R. Relat. (Col 1 1/2)	4,02	3,49	4,61
R. Relat. (Col 1 2/1)	0,25	0,22	0,29

Diferencia de dos proporciones

Prueba de Hipótesis para la diferencia de proporciones

H_c : "La proporción de flores no afectadas en los frutales en que se utiliza un riego por aspersión convencional (RAC) sobre la copa de los frutales no es la misma que a los referidos como testigos"

$$H_0: \pi_1 - \pi_2 = 0$$

$$H_1: \pi_1 - \pi_2 \neq 0$$

Prueba de Z

Salida del Procesamiento

$$\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2 = 0.276686 \quad p < 0.0001$$

Diferencia de proporciones ✕

Diferencia de proporciones <input style="width: 90%;" type="text" value="0,276686"/>	Tamaños muestrales <input style="width: 45%;" type="text" value="2202"/> <input style="width: 45%;" type="text" value="3059"/>
P(diferencia=0) <input style="width: 90%;" type="text" value="0,000000"/>	Éxitos observados <input style="width: 45%;" type="text" value="2000"/> <input style="width: 45%;" type="text" value="1932"/>
<input type="button" value="Calcular"/>	<input type="button" value="Cancelar"/> <input type="button" value="Ayuda"/>

Regresión logística

Regresión logística

Distribución: Binomial
Función de enlace: Logit

Variable dependiente: Daño
Codificar como éxito a valores mayores que la media
Número de observaciones: 5261
Observaciones faltantes: 0
Iteraciones: 6 (max=20)
Tolerancia: 1E-9 (0,000000000)

Parámetros	Est.	E.E.	O.R.	Wald	LI(95%)	Wald	LS(95%)	Wald	Chi ²	p-valor
Constante	0,54	0,04	1,71	1,59		1,84		206,79	<0,0001	
Trat	1,75	0,08	5,78	4,91		6,79		448,59	<0,0001	

	Valor	gl
Log Likelihood	-2688,14	5259
Deviance	5376,29	5259
Escala (fijada)	1,00	

Pruebas de hipótesis marginales

F.V.	gl	-2[L0-L1]	p-valor
Trat	1	570,62	<0,0001

$$p(Yf = 1/x_1) = \frac{e^{0.54+1.75x_1}}{1 + e^{0.54+1.75x_1}}$$

P(Y=1)= 9.87/10.87=0.91 para riego con aspersión

P(Y=1)= 1.72/2.72=0.63 con el testigo

