



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

TESIS DE MAGÍSTER EN CIENCIAS AGRARIAS

ALTERNATIVAS PARA LA DESINFECCIÓN DEL SUELO EN EL CULTIVO DE  
FRUTILLA (*Fragaria x Ananassa* Duch.) EN EL VALLE BONAERENSE DEL RIO  
COLORADO

Ing. Agr. Camila Muscolino

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2021

## Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magíster en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Sur (UNS) y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía de la UNS y la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Hilario Ascasubi, durante el período comprendido entre octubre de 2017 y mayo de 2021, bajo la dirección del Dr. Roberto A. Rodríguez.

Ing. Agr. Camila Muscolino



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el ..../..../..... , mereciendo la calificación de .....(.....)

## Agradecimientos

A mis padres, Mariel y Hugo, y a mis hermanos Blas, Lucio y Mateo, por el amor y apoyo incondicional durante el transcurso de esta tesis, y siempre.

A mi director, el Dr. Roberto A. Rodríguez, por los consejos, correcciones y aportes durante este proceso de aprendizaje.

A la Ing. Agr. Andrea Mairosser, por su generosidad, guía, ayuda y enseñanza en el transcurso de estos años de trabajo con frutilla.

A mis amigas Mary y Aili, por estar siempre atentas a mi progreso con este trabajo y por el ánimo a seguir adelante. A Sofi y Mica, por la ayuda, compañía y palabra justa cuando fue necesario.

A Fer, por ser compañero y ayudarme a crecer. Por la escucha, la paciencia, los debates, la enseñanza y sobre todo los valiosos aportes en el proceso de escritura de esta tesis.

A Malvina Zazzetta, Carolina Bellacomo, Verónica Caracotche, Roque Vitale, Luciano Orden y demás personas de la EEA INTA Hilario Ascasubi, quienes siempre me brindaron su ayuda cuando lo necesité.

A mis compañeros de trabajo en la UNS: Micaela, Josefina, Damián, Roberto, Edurne, Luis y Pablo, quienes me recibieron cálidamente y acompañaron durante este proceso.

A la Mg. Mirta Kiehr por su enseñanza y ayuda desinteresada con los análisis de las plantas en el Laboratorio de Fitopatología de la UNS.

Al Dr. Antonio Garayalde, por su gran ayuda con el análisis estadístico de los datos de esta tesis.

A la EEA INTA Hilario Ascasubi, por brindarme los medios para poder ser parte de los ensayos que dieron lugar a esta tesis, a la Universidad Nacional del Sur, por aportar la beca de estudios de posgrado y al Departamento de Agronomía por el espacio de trabajo para poder desarrollar mi formación.

## Resumen

Actualmente existe un creciente número de productores hortícolas del Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) interesados en incorporar el cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) a sus sistemas productivos. Sin embargo, hongos patógenos del suelo que afectan a este cultivo han sido detectados en la región, provocando reducciones en la producción de fruta y la muerte de plantas. El Bromuro de Metilo (BM) ha sido muy utilizado a nivel mundial para la desinfección del suelo en la producción de frutilla, a pesar de sus efectos adversos en el ambiente y su peligrosidad en la aplicación. En la actualidad se está realizando un esfuerzo global para eliminar su uso, por lo que resulta importante el estudio de métodos alternativos de desinfección del suelo. El objetivo de esta tesis fue evaluar métodos alternativos al BM para la desinfección del suelo en el cultivo de frutilla y determinar su efecto sobre la producción de fruta y sobrevivencia de plantas en el VBRC. Se realizaron dos ensayos: por un lado, se evaluaron tres métodos químicos: la mezcla 1,3-Dicloropropeno+Cloropicrina (1,3-D:Pic), Metam Sodio y la mezcla 1,3-D:Pic con la posterior aplicación al suelo de *Trichoderma harzianum*. Este ensayo contó con los cultivares San Andreas y Sweet Ann y tuvo una duración de dos años. Por otro lado, se evaluó el efecto de la biosolarización del suelo con restos de un cultivo de brócoli de ciclo largo (*Brassica oleracea* var. *italica*) sobre un suelo que contaba con tres años de producción de frutilla (BS), en contraste con el cultivo de frutilla sobre el mismo tipo de suelo sin cultivo previo de esta especie y sin desinfección. En este ensayo, se utilizaron los cultivares San Andreas y Cabrillo. Para las evaluaciones, en ambos ensayos, se clasificó la fruta en: fruta comercial (mayor a 10 g) y fruta no comercial (menor a 10 g, enferma, deforme, etc.). Por otro lado, se registró el número de plantas muertas según tratamientos y se realizó un monitoreo semanal de plagas y enfermedades. En todos los tratamientos con desinfección química la sobrevivencia de plantas en el segundo año fue superior al suelo sin desinfección. Sin embargo, no se observaron diferencias en el rendimiento entre tratamientos en ninguno de los dos años. La inoculación con *T. harzianum* no demostró efectos benéficos sobre la sobrevivencia y el rendimiento de fruta. La BS permitió obtener el mismo rendimiento que un suelo sin historia previa de cultivo de esta especie. Además, en el suelo biosolarizado se obtuvo una significativa disminución en el descarte de fruta. En lo que respecta a los cultivares, en el año evaluado, San Andreas obtuvo una mayor producción de fruta comercial y menor descarte respecto al cultivar Cabrillo. Los métodos químicos evaluados, que podrían suplantar al BM, serían apropiados para el control de hongos fitopatógenos en el cultivo de frutilla de dos años en el VBRC. Sin embargo, debido a las bajas posibilidades de sustentarse en el largo plazo que presentan los productos químicos,

sería importante estudiar otras técnicas para la disminución de la incidencia de hongos patógenos del suelo, incluidas en sistemas de manejo integrado.

## Abstract

Currently, there is a growing number of horticultural growers from the Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) interested in incorporating strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) to their production systems. However, pathogenic soil fungi that affect this crop have been detected in the region, causing reductions in fruit production and plant death. Methyl Bromide (MB) has been widely used worldwide for soil disinfection in strawberry production, despite its adverse effects on the environment and its dangerous application. At present, a global effort is being made to eliminate its use, which is why it is important to study alternative methods of soil disinfection. The objective of this thesis was to evaluate alternative methods to MB for the disinfection of the soil in strawberry crops and to determine its effect on fruit production and plant survival in the VBRC. Two tests were carried out: on the one hand, three chemical methods were evaluated: the mixture 1,3-Dichloropropene+Chloropicrin (1,3-D:Pic), Metam Sodium and the mixture 1,3-D:Pic with the subsequent application to the soil of *Trichoderma harzianum*. This trial included the cultivars San Andreas and Sweet Ann and lasted two years. On the other hand, biosolarization with long-cycle broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) on a soil that had three years of prior strawberry cultivation (BS) was compared to the cultivation of strawberry on the same type of soil without previous cultivation of this crop and without disinfection. In this trial, cultivars San Andreas and Cabrillo were used. For the evaluations, in both trials, the fruit was classified into: commercial fruit (greater than 10 g) and non-commercial fruit (less than 10 g, diseased, deformed, etc.). On the other hand, the number of dead plants according to treatments was recorded and weekly monitoring of pests and diseases was carried out. In all the treatments with chemical disinfection, the survival of plants in the second year was higher than that of the soil without disinfection. However, no differences in yield were observed between treatments in either year. Inoculation with *T. harzianum* did not show beneficial effects on survival and fruit yield. BS allowed obtaining the same yield as a soil without a history of this crop. In addition, in the biosolarized soil a significant decrease in the discard of fruit was obtained. With regard to cultivars, in the evaluated year, San Andreas showed better performance in terms of production and fruit discarding compared to cultivar Cabrillo. The evaluated chemical methods, which could supplant MB, would be appropriate for the control of phytopathogenic fungi in the two-year-old strawberry crop at the VBRC. However, due to the low possibilities of long-term sustainability presented by chemical products, it would be important to study other techniques to reduce the incidence of pathogenic soil fungi, included in integrated management systems.

# Índice

INTRODUCCION GENERAL .....	1
La Planta.....	1
Origen del cultivo de frutilla.....	1
Descripción de la planta.....	1
Ciclo de vida .....	3
Cultivo y manejo .....	4
Producción .....	5
Producción de frutilla en el área de estudio: Valle Bonaerense del Rio Colorado ..	6
Hongos del suelo que afectan al cultivo de frutilla .....	8
Desinfección del suelo .....	9
Problemática planteada.....	11
Hipótesis .....	11
Objetivo general .....	11
Objetivos de cada capítulo .....	11
Objetivo Capítulo I .....	11
Objetivo Capítulo II .....	11
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>12</b>
ALTERNATIVAS QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO PARA LA DESINFECCIÓN DEL SUELO .....	12
Introducción.....	13
Caracterización de los principios activos evaluados .....	13
Aplicación al suelo .....	14
Utilización de <i>Trichoderma</i> sp. como complemento de la desinfección química...	15
Plantaciones de frutilla de dos años de duración .....	16
Objetivos.....	17
Materiales y métodos .....	17
Características edáficas y climáticas .....	18
Material vegetal y acondicionamiento de plantines .....	19

Disposición del ensayo .....	20
Riego y fertilización.....	21
Prácticas de mantenimiento del cultivo .....	22
Cosecha de fruta y evaluaciones en el laboratorio.....	23
Muestreo y análisis de plantas.....	25
Diseño experimental y análisis estadístico.....	26
Resultados y discusión.....	26
Estado sanitario de las plantas .....	26
Mortandad de plantas .....	29
Producción comercial.....	30
Producción de fruta chica y de descarte .....	35
Conclusiones.....	38
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>39</b>
<b>ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS, FÍSICAS Y AGRONÓMICAS AL BROMURO DE METILO PARA LA DESINFECCIÓN DEL SUELO.....</b>	<b>39</b>
Introducción.....	40
Métodos alternativos de desinfección evaluados .....	41
Biosolarización con brasicáceas .....	42
Objetivos.....	43
Materiales y métodos .....	44
Disposición del ensayo .....	45
Análisis estadístico .....	47
Resultados y discusión.....	47
Estado sanitario de las plantas .....	47
Mortandad de plantas y producción de fruta .....	48
Conclusiones.....	51
<b>CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>53</b>

## Lista de abreviaturas

Abreviatura	Significado
1,3-D:Pic	1,3-Dicloropropeno+Cloropicrina
A1	Primer año de cultivo
A2	Segundo año de cultivo
ANAVA	Análisis de la Varianza
BM	Bromuro de Metilo
BS	Tratamiento de biosolarización
Ca	Cultivar Cabrillo
Ch	Producción de fruta chica
D	Producción de fruta de descarte
DCP	Tratamiento con 1,3-D:Pic
DCP+T	Tratamiento con 1,3-D:Pic + <i>Trichoderma harzianum</i>
EEA	Estación Experimental Agropecuaria
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
M	Mortandad de plantas
MF	Materia fresca
MITC	Metil Isotiocianatos
MO	Materia Orgánica
MS	Metam Sodio
Nc	Producción de fruta no comercial
Pc	Producción de fruta comercial
PE	Polietileno
Pic	Cloropicrina
Sa	Cultivar San Andreas
Sw	Cultivar Sweet Ann
T	Tratamiento testigo
UNS	Universidad Nacional del Sur
VBRC	Valle Bonaerense del Río Colorado

# INTRODUCCION GENERAL

## La Planta

### *Origen del cultivo de frutilla*

La frutilla (*Fragaria* spp.) pertenece a la familia de las Rosáceas, subfamilia Rosoideas, género *Fragaria* (del latín: fragancia) (Daorden, 2007). En este género existen numerosos centros de origen y especies: Europa (*F. vesca*, *F. moschata*, *F. viridis*), Asia (*F. nipponica*, *F. orientalis*) y América (Maroto, 2002, Hancock *et al.*, 2008). *Fragaria x ananassa*, la especie más cultivada en todo el mundo, es el resultado de la hibridación interespecífica entre dos genotipos octoploides salvajes: *Fragaria virginiana* y *Fragaria chiloensis*, originarias del este norteamericano y del sur de Chile, respectivamente (Daorden, 2007, Edger *et al.*, 2019). El genoma de estas especies surge de la fusión e interacciones entre cuatro especies progenitoras diploides, aproximadamente un millón de años atrás. Dos de ellas han sido identificadas, mientras que las restantes permanecen desconocidas. Numerosos trabajos de investigación están enfocados en esta temática, para poder identificar y estudiar genes de importancia agronómica que puedan ser utilizados en el mejoramiento genético de la especie (Edger *et al.*, 2019).

### *Descripción de la planta*

La frutilla es una planta perenne, herbácea, de porte bajo, estolonífera y comercialmente cultivada como anual o bianual (Daorden, 2007). Posee un sistema radical superficial, fasciculado, constituido por un gran número de raíces y raicillas (Maroto, 2002). El 75% del mismo se encuentra en los primeros veinte centímetros del suelo (Castagnino, 2009). El tallo es acaule y tiene capacidad de ramificación, y a este conjunto de tallo y ramificaciones se lo denomina "corona". Esta posee distintos tipos de yemas que pueden dar lugar a nuevos tallos, estolones, hojas o flores. Los estolones tienen dos entrenudos largos, el segundo nudo emite hojas y raíces que constituyen una nueva planta (Figura 1). Las hojas son alternas, pubescentes, trifolioladas, de borde aserrado, largamente pecioladas y con dos estípulas membranosas. Las flores son hermafroditas, se encuentran solitarias o en inflorescencias cimosas, poseen cinco pétalos ovales de color blanco y un cáliz formado por cinco sépalos persistentes. El fruto es un conocarpo o eterio, cuya parte comestible se corresponde con el receptáculo floral desarrollado junto a los aquenios (verdaderos frutos) (Figura 2). Su forma puede ser esférica, cónica

o irregular, de color blanco, rosado, rojo o violáceo, con o sin cuello, y con una gran variabilidad en lo que respecta al sabor y aroma (Daorden, 2007). Su peso puede oscilar entre 2 y 60 g (Maroto, 2002). Es un alimento rico en vitamina C, con un gran aporte de sustancias con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Adlercreutz, 2007; Castagnino, 2009).



**Figura 1.** Planta de frutilla en plena producción de estolones y plantas hijas (círculo).

La polinización del cultivo de frutilla es predominantemente cruzada y entomófila (Daorden, 2007), por lo que disponer de colmenas en el área de cultivo, así como promover la presencia de polinizadores silvestres, puede favorecer significativamente este proceso (Castagnino, 2009). Ha sido demostrado que la presencia de polinizadores silvestres incrementa el tamaño de la fruta, al igual que la polinización cruzada entre distintas variedades de frutilla dentro de una misma línea de plantas (MacInnis y Forrest, 2020). La fecundación de todos los óvulos es indispensable para el desarrollo adecuado del fruto. Si la polinización es parcial, parte del fruto puede quedar deprimida y presentar deformaciones, dando lugar a fruta sin valor comercial para el mercado en fresco (Rodríguez y Hompanera, 1992; Adlercreutz, 2005).



**Figura 2.** Planta de frutilla con flores y frutos en distinto estado de desarrollo.

### *Ciclo de vida*

La planta de frutilla presenta dos fases en su ciclo anual, fuertemente influenciadas por la duración del día y la temperatura: fases vegetativa y reproductiva. A su vez, posee un período de relativa latencia durante el cual acumula un determinado número de “horas frío” (horas con temperaturas por debajo de los 7 °C). El requerimiento de horas frío es variable según los cultivares y al término de este proceso, siempre y cuando los componentes del clima sean favorables, la planta será capaz de dar una formación abundante de hojas y flores (Maroto, 2002; Daorden, 2007).

La transición desde la fase vegetativa a la reproductiva involucra una serie de etapas que incluyen la inducción, iniciación, diferenciación y el desarrollo floral. En general, la inducción floral en esta especie está controlada por el cultivar o la variedad, el fotoperíodo y la temperatura. Las diferencias en la respuesta al fotoperíodo forman la base de la clasificación de los cultivares en tres tipos. Por un lado, existen los cultivares “de día corto” (“june-bearing”), para los que el control ambiental de la floración está bien establecido y documentado. Por otro lado, la situación continúa siendo confusa para los cultivares con floración recurrente, los que se conocen de forma variable como “everbearers”, “perpetuos”, “reflorecientes” y “remontantes”, y son los que florecen con fotoperíodos largos. Por último, los “everbearers” de octoploides estadounidenses modernos, en su mayoría derivados de cruces entre selecciones de *Fragaria virginiana* ssp. *glauca* Staudt silvestre y cultivares de día corto de *Fragaria* × *ananassa*, se denominan frecuentemente frutillas “de día neutro” (son indiferentes al fotoperíodo para florecer) (Sønsteby y Heide, 2009). En lo que respecta a la temperatura, en general, para todos los tipos de frutilla e independientemente del fotoperíodo, temperaturas mayores a 28 °C inhiben la floración (Darnell *et al.*, 2003).

En el caso de los cultivares “de día corto”, la inducción ocurrirá cuando los mismos estén expuestos a una duración del día entre 8 y 12 horas, y las temperaturas se encuentren entre los 8 y 25 °C. Por otro lado, la inducción en los cultivares “de día neutro” ocurre con temperaturas entre 8 y 25 °C, independientemente de la longitud del día (Adlercreutz, 2007), por lo tanto, estos tienen la capacidad de producir fruta durante el período en el cual las temperaturas sean adecuadas (todo el año en regiones subtropicales y desde fines de la primavera hasta mediados del otoño en el sur de nuestro país).

## *Cultivo y manejo*

El cultivo de frutilla se inicia a través de plantines, y para esto la propagación por estolones es el método más sencillo y utilizado (Lavín y Maureira, 2002; Adlercreutz, 2007). La reproducción por semilla para *Fragaria x ananassa* solo se efectúa en trabajos fitotécnicos, tales como programas de mejoramiento genético (Rodríguez y Hompanera, 1992).

Los plantines se clasifican en dos tipos: “frescos” y “frigo”. Los primeros son extraídos desde fines de marzo a mediados de mayo (en el caso de Argentina) y trasplantados inmediatamente, o pueden permanecer en cámaras por un período de hasta 7 días, a temperaturas entre 0 y 2°C y alta humedad relativa. Por otro lado, los plantines “frigo” se cosechan en julio y permanecen en cámaras a -2°C hasta su venta, que tiene lugar desde la primavera (Patagonia) hasta fines del verano (costa atlántica) (Rodríguez y Hompanera, 1992; Corti y Ramoa, 2014; SINAVIMO, 2019).

La frutilla es una planta que puede desarrollarse en suelos de distintas texturas, siendo ideales los suelos francos, profundos, bien drenados y con reacción levemente ácida. Una limitante crítica para la producción es la salinidad del suelo o del agua de riego (Correa *et al.*, 2008), así como la exposición de las plantas a cualquier tipo de estrés hídrico (Hancock *et al.*, 2008). La extracción de nutrientes que realiza el cultivo es relativamente baja, pero crece mejor en aquellos suelos con buen nivel de fertilidad. El aporte de nutrientes necesario dependerá de los resultados de un análisis de suelo, así como estará sujeto a las demandas de la variedad de frutilla con la que se trabaje (Correa *et al.*, 2008).

El cultivo generalmente comienza con las labranzas, subsolador y rastra, para favorecer la oxigenación, permitir un buen arraigue de las plantas y un correcto drenaje del agua de riego (Adlercreutz, 2005). En el cultivo a campo, es recomendable y habitual que el trasplante se realice sobre camellones elevados y cubiertos con mulch plástico, generalmente en dos hileras de plantas. Los camellones comúnmente son de 50-60 cm de ancho y 40 cm de alto y el espaciamiento entre plantas sobre una misma línea es de 20-30 cm y de 30-40 cm entre hileras (Maroto, 2002; Adlercreutz, 2005; Kirschbaum *et al.*; 2010) (Figura 3). La mayoría de las producciones de frutilla en nuestro país utilizan un sistema de riego localizado por goteo (Kirschbaum y Hancock, 2000) y cultivares con genética proveniente de la Universidad de California, Estados Unidos (Kirschbaum *et al.*, 2017b).



**Figura 3.** Disposición habitual de un cultivo de frutilla a campo.

## Producción

La superficie destinada al cultivo de frutilla a nivel mundial es de alrededor de 370.000 ha, con una producción total de aproximadamente 8 millones de toneladas. Entre los principales países productores se encuentran China, Estados Unidos, España, México y Turquía (FAOSTAT, 2018). Brasil y Chile son los más importantes en Sudamérica, y a pesar que Argentina, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela poseen un área cultivada similar a Chile, su producción es menor debido a cuestiones vinculadas con las tecnologías de cultivo (Kirschbaum *et al.*, 2017b). Argentina destina alrededor de 1400 ha al cultivo de frutilla, con una producción aproximada de 45-50 mil toneladas anuales, y tiene la particularidad de disponer de este fruto durante todo el año. Esto es posible gracias a la diversidad de climas que caracteriza al país (Kirschbaum *et al.*, 2019) y a la extraordinaria plasticidad del cultivo (Castagnino, 2009). La oferta es relativamente constante durante todo el año, a excepción de los meses otoño-invernales (mayo y junio, principalmente) (Adlercreutz, 2005).

Históricamente, la producción de frutilla en nuestro país se divide en tres regiones, según el clima y época de cosecha (Kirschbaum y Hancock, 2000). La región Norte (Tucumán, Santa Fe y Corrientes), de producción invierno-primaveral, la región Central (La Plata y Gran Buenos Aires), de producción primavera-estivo-otoñal y la región Sur (Mar del Plata, Mendoza, Neuquén, La Pampa y provincias patagónicas) de producción estivo-otoñal (Adlercreutz, 2007) (Figura 4). Las zonas frutilleras más importantes se localizan en el área de Coronda (Santa Fe), Lules (Tucumán), Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) y Mar del Plata (Buenos Aires); concentrando estas tres provincias el 70% de la producción nacional (Kirschbaum *et al.*, 2017b). Existen producciones de menor dimensión en los valles templados de Jujuy y Salta (especialmente en Perico, Jujuy), el litoral (con preponderancia de la provincia de

Corrientes), la Patagonia (principalmente Neuquén), Cuyo (Mendoza) y producciones aisladas en el resto del país (Kirschbaum *et al.*, 2019).



**Figura 4.** Regiones productoras de frutilla en Argentina y principales sitios de producción. Elaboración propia en base a Kirschbaum *et al.* (2019).

En términos generales, la mayor parte de la frutilla producida en Sudamérica es comercializada en fresco, en mercados regionales. Una porción variable tiene como destino su procesamiento, ya sea localmente o luego de la exportación (Kirschbaum *et al.*, 2017b). La producción se concentra a fines de invierno-principios de primavera (desde mediados de agosto a fines de octubre), período en el que se realiza la cosecha en las principales zonas productoras. En respuesta a la concentración de la oferta, se registran en ese período los precios más bajos (Adlercreutz, 2008; Kirschbaum *et al.*, 2019). En los meses de diciembre a marzo ingresa al Mercado Central de Buenos Aires la fruta proveniente de la provincia de Buenos Aires y del sur del país (Castagnino, 2009).

#### *Producción de frutilla en el área de estudio: Valle Bonaerense del Río Colorado*

El Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) está ubicado en el extremo sur de la provincia de Buenos Aires, República Argentina. Comprende parte de los partidos de Villarino y Patagones, sobre las márgenes izquierda y derecha, respectivamente, del Río Colorado. Se trata de una zona de clima semiárido templado, con mayor

precipitación en los meses de primavera-verano. Se encuentra atravesada por 3 isohietas: de 560 mm al norte, 490 mm situada cerca de la localidad de Pedro Luro (centro del área irrigada) y 420 mm al sur, en el partido de Patagones. Presenta valores promedio anuales de temperatura comprendidos entre los 14 y los 20 °C. El período libre de heladas oscila entre 240 y 260 días y los riesgos de posible ocurrencia de las mismas se extienden hasta noviembre. Las estaciones térmicas son bien marcadas: veranos e inviernos rigurosos y primaveras y otoños intermedios. Se trata en general de una zona ventosa, con un fuerte predominio de los vientos provenientes del cuadrante noroeste (Sánchez *et al.*, 1998).

Esta zona comprende una superficie de 550.000 ha, de las cuales se riegan aproximadamente 140.000. El cultivo de cebolla (*Allium cepa*) es el de mayor importancia económica en la región, aunque en los últimos años se ha incrementado la superficie de producción bajo cubierta de otras especies. De acuerdo a la escala de producción, pueden encontrarse pequeños, medianos y grandes productores hortícolas. Algunas de estas personas son dueñas de la tierra y otras trabajan bajo contratos de arrendamiento o aparcería con diferentes modalidades. Otras actividades de importancia en la zona son la ganadería, la producción de semillas de alfalfa y girasol (*Medicago sativa* y *Helianthus annuus*, respectivamente), el cultivo de cereales y oleaginosas, la lechería y la apicultura (Iurman, 2018).

El VBRC ha demostrado ser agroclimáticamente apto para la producción de frutilla (Zazzetta *et al.*, 2016 y 2018). Durante los años 70 esta zona se caracterizó por ser productora de plantines de frutilla, actividad que luego se vio desplazada hacia las provincias de Neuquén, Mendoza y mayormente Chubut a partir del año 2000. Actualmente existe un creciente número de productores hortícolas de la zona atraídos por la posibilidad de incorporar este cultivo a sus sistemas productivos, en esta ocasión para la producción de fruta (Mairosser *et al.*, 2018). Iurman *et al.* (2009) documentaron la existencia de 6 ha destinadas al cultivo de frutilla en el VBRC. La existencia de mercados concentradores cercanos, así como la posible llegada a consumidores directos, la presencia de asistencia técnica calificada, los picos de producción en momentos del año distintos a las principales zonas productoras del país y el buen precio de esta fruta en relación a otras hortalizas, posicionan a este cultivo como una alternativa de producción viable en la región (Mairosser *et al.*, 2018).

## Hongos del suelo que afectan al cultivo de frutilla

Un problema sanitario muy común a nivel mundial en la producción de frutilla son las pudriciones de raíz y corona (Hancock *et al.*, 2008). Los síntomas asociados a infecciones en la corona incluyen decoloración en los tejidos internos de la misma, hojas de coloración amarilla y finalmente el colapso de la planta (Maas, 2014). A su vez, estas enfermedades constituyen una de las problemáticas de mayor importancia que presenta el cultivo de esta especie en el VBRC (Mairosser *et al.*, 2016; Zazzetta *et al.*, 2016). Dentro del grupo de enfermedades de raíz y corona, en el VBRC se ha determinado la presencia de *Verticillium dahliae*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp. y *Colletotrichum* spp. En ocasiones, incluso, se han identificado dos patógenos afectando la misma planta. Las enfermedades que provocan estos hongos son: marchitamiento, pudrición carbonosa, podredumbre negra de la raíz, fusariosis y antracnosis, respectivamente. Estos patógenos, en general, forman estructuras de resistencia que permanecen en el suelo durante mucho tiempo y se multiplican a través de los años si se cultiva frutilla u otras especies hospederas durante campañas consecutivas (Zazzetta *et al.*, 2018).

En el caso de los marchitamientos vasculares, causados por *Verticillium* spp. y *Fusarium* spp., una vez que ocurre la infección de la planta, el patógeno se desarrolla y propaga internamente, haciendo que su tratamiento posterior con fungicidas de contacto sea prácticamente imposible (Agrios, 1995). El control de estos hongos debe ser preventivo, y para esto son importantes las medidas que puedan tomarse para evitar la presencia del inóculo en el suelo y la infección de las plantas en primer lugar. Es recomendable partir de la utilización de plantines sanos e implementar ciertas técnicas como la desinfección del suelo, rotaciones de cultivos de larga duración, incorporación de abonos verdes y eliminación de plantas enfermas (Sepúlveda *et al.*, 2015, Zazzetta *et al.*, 2018). La ausencia de desinfección del suelo podría redundar en una alta mortandad de plantas y mermas en el rendimiento (Adlercreutz, 2005) que pueden llegar hasta el 50% (Hancock *et al.*, 2008; Sepúlveda *et al.*, 2015).

Un método efectivo para controlar los marchitamientos por *Verticillium* spp. y *Fusarium* spp. es el uso de cultivares resistentes (Agrios, 1995; Maas, 2004). Sin embargo, no existe resistencia para estos hongos, solo mayor o menor tolerancia (Martin y Bull, 2002; Zazzetta *et al.*, 2018). La búsqueda de individuos resistentes ha tenido sus complicaciones debido a la correlación negativa que existe entre la resistencia y las características de importancia para la horticultura, vinculadas principalmente al rendimiento. A esto se suma la dificultad que implica la presencia de distintos biotipos

de los respectivos patógenos en diferentes regiones de producción (Hancock *et al.*, 2008).

### *Desinfección del suelo*

El compuesto halogenado bromuro de metilo (BM) fue muy utilizado en la agricultura para la desinfección del suelo y el control de nemátodos, hongos, insectos, ácaros y semillas de malezas presentes en el suelo. Además, ha sido muy utilizado en la desinfección de edificios, barcos, museos, mercancías almacenadas y en el tratamiento de productos de exportación como medida preventiva ante la introducción de organismos patógenos (Bello, 1997). Su uso en suelo fue mucho mayor que en poscosecha y estructuras: 90% y 10% del consumo total, respectivamente. Se trata de un gas o líquido inodoro, incoloro, volátil, con olor dulce a elevadas concentraciones, altamente tóxico para los seres humanos y muy posiblemente un agente carcinógeno (Pizano, 2014).

Durante los años 70 se comprobó científicamente que el BM, además de otros halocarbonos, es capaz de alcanzar la estratósfera y destruir la capa de Ozono (Sabogal, 1998). El agotamiento de la misma genera una menor protección ante los rayos solares y una mayor exposición a la radiación ultravioleta, con numerosos efectos perjudiciales: cáncer de piel, deficiencias en el sistema inmunológico, cataratas en los ojos, problemas en la fisiología, crecimiento y desarrollo de las plantas, daño a los ecosistemas marinos, alteraciones en los ciclos biogeoquímicos, deterioro de diversos tipos de materiales, etc. (EPA, 2018). Esta situación dio lugar a reuniones entre expertos de diferentes países para la protección de la capa de ozono y culminó en la firma del Protocolo de Montreal para Sustancias que Dañan la Capa de Ozono, incluido dentro del Convenio de Viena. Este acuerdo internacional fue firmado el 16 de septiembre de 1987 y ratificado por 165 países. Inicialmente solo controlaba ocho sustancias químicas y el BM fue incluido posteriormente, a partir del año 1992 (Sabogal, 1998). López-Aranda (2014) estimó que en nuestro país el 100% de los viveros y el 97% de los sistemas agropecuarios destinados a la producción de frutilla utilizaban la combinación de BM con cloropicrina para desinfectar el suelo. La República Argentina se comprometió a la reducción gradual del uso de BM hasta la eliminación total, no solo para evitar sus efectos deletéreos sobre la capa de ozono, sino también para evitar los importantes riesgos para la salud que conlleva su empleo. Actualmente se encuentra en vigencia un proyecto de asistencia técnica regional denominado "Tierra Sana", conducido por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial y financiado

por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal, cuyo objetivo es encontrar alternativas sustentables al uso de BM (López-Aranda, 2014).

La aplicación al suelo de este biocida ha sido una práctica tradicional en el manejo del cultivo de frutilla (Gliessman *et al.*, 1996; Kirschbaum y Hancock, 2000; Maas, 2004; Hancock *et al.*, 2008; Undurraga y Vargas, 2013). Ante la elevada dispersión de uso del BM, el mejoramiento genético de la especie se vio orientado hacia incrementos en la productividad de las plantas, a expensas de su resistencia a enfermedades. Esto resultó en cultivares extremadamente rendidores, aunque muy susceptibles a enfermedades del suelo, y en consecuencia, altamente dependientes de su desinfección (Duniway, 2002; Martin y Bull, 2002; Maas, 2004; Porter *et al.*, 2004). Además del contexto climático, que es la principal condición para la anualidad o bianualidad del cultivo, esta necesidad de desinfección periódica incentivó a que los agricultores se volcaran a llevar adelante un manejo anual del cultivo, desinfectando y replantando año tras año sobre la misma superficie de suelo, dejando así de lado su carácter perenne (Duniway, 2002; Ajwa *et al.*, 2003; Gliessman y Cochran, 2016). De esta forma, el empleo de BM desembocó en importantes problemas en el cultivo de frutilla: genotipos muy susceptibles a enfermedades, alta dependencia de insumos químicos, cambios en la forma de cultivo y numerosos efectos perjudiciales sobre el medio ambiente, animales y seres humanos.

La prohibición del BM en 2005 en países desarrollados y 2015 en países en vías de desarrollo, incluida la Argentina, representó un importante desafío para la industria vinculada a la frutilla y la llevó a examinar críticamente la sustentabilidad de sus sistemas de producción (Porter *et al.*, 2004). En este contexto, el proceso de prohibición puede ser considerado como una oportunidad para promover y adoptar opciones no químicas en este tipo de producción, dentro del concepto del manejo integrado de plagas (Ajwa *et al.*, 2003). Para esto, es necesario adoptar un enfoque amplio e integrado (Martin y Bull, 2002), que contemple todos los factores que influyen en lograr un buen nivel de aceptación ante las alternativas propuestas. Trabajar con los productores e involucrar a los demás actores clave de esta producción, contemplar factores asociados al consumidor, tener en cuenta la eficiencia económica de las alternativas, las directrices de mercado y los factores regulatorios del momento, brindar capacitación y, sobre todo, estudiar y promover tecnologías capaces de ser adaptadas a las condiciones locales, demostraron ser determinantes para la adopción de las alternativas propuestas (Pizano, 2014).

## Problemática planteada

Debido a los importantes problemas resultantes de la utilización de BM, es necesario realizar estudios y generar información local respecto a la desinfección de suelo con diferentes alternativas y su efecto sobre la producción de frutilla (*Fragaria x ananassa*) en el VBRC.

## Hipótesis

1. La desinfección de suelos infestados con hongos patógenos, mediante la utilización de métodos químicos, biológicos y físicos afectará positivamente la producción del cultivo de frutilla de día neutro en el VBRC.
2. Diferentes cultivares de frutilla presentarán diferente comportamiento frente a la desinfección del suelo en el VBRC.

## Objetivo general

Evaluar métodos alternativos al BM para la desinfección del suelo y conocer su efecto sobre la producción de frutilla en el VBRC.

## Objetivos de cada capítulo

### Objetivo Capítulo I

Evaluar el efecto sobre el rendimiento de fruta y sanidad de las plantas de dos tratamientos químicos y un método combinado de desinfección del suelo en dos cultivares de frutilla de día neutro en el VBRC.

### Objetivo Capítulo II

Evaluar el efecto de la biosolarización del suelo sobre el rendimiento de fruta y sanidad de las plantas en dos cultivares de frutilla de día neutro en el VBRC.

## **CAPITULO I**

# **ALTERNATIVAS QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO PARA LA DESINFECCIÓN DEL SUELO**

## Introducción

Las alternativas químicas para la desinfección del suelo son consideradas métodos de reemplazo directo o sustitución del BM (Pizano, 2014). A pesar de no ser destructores de la capa de Ozono, estos productos presentan elevados niveles de peligrosidad, tanto para el medio ambiente como para los seres humanos (Ajwa *et al.*, 2002; Lizazo *et al.*, 2011; Sepúlveda *et al.*, 2015). Se diferencian del BM por presentar un mayor período de acción en el suelo y poseer residualidad, con el consecuente riesgo de contaminar cursos de agua, así como dificultades para su correcta aplicación y mayores períodos de espera previos al establecimiento del cultivo (Carrasco *et al.*, 2005).

Existen numerosos ensayos de evaluación de alternativas químicas al uso de BM en suelo, tanto en sistemas de producción de fruta, como en viveros de frutilla (López Aranda *et al.*, 2001; Duniway, 2002; Ajwa *et al.*, 2003; Maas, 2004; Porter *et al.*, 2004; De Cal *et al.*, 2005). Sin embargo, son necesarios estudios en cada caso y región en particular, dado que la efectividad del tratamiento varía en función del tipo de suelo y condiciones meteorológicas, entre otras. Los principios activos Cloropicrina (Pic), 1,3-dicloropropeno (1,3-D) y generadores de Metil Isotiocianatos (MITC), como Metam Sodio (MS) o Dazomet, han demostrado eficacia, disponibilidad y un amplio espectro de acción. Estos productos pueden ser utilizados individualmente, aunque generalmente son aplicados al suelo de manera combinada o secuencial. Son comunes las mezclas de 1,3-D + Pic (1,3-D:Pic) o la mezcla antes mencionada seguida de la aplicación de MS (Duniway, 2002; Ajwa *et al.*, 2003; Porter *et al.*, 2004; Undurraga y Vargas, 2013; López-Aranda, 2014).

### *Caracterización de los principios activos evaluados*

*Cloropicrina:* Posee un fuerte efecto fungicida y controla nematodos, bacterias, insectos y malezas. Es muy irritante y presenta olor fuerte, perceptible a concentraciones muy bajas, que sirve como alarma cuando se utiliza en combinación con productos inodoros como el BM. Es de lenta dispersión en el suelo y evaporación desde el mismo, lo que extiende el período de espera necesario hasta el momento del trasplante para evitar problemas de fitotoxicidad. Ha sido muy utilizada de manera individual para la desinfección de suelo en producciones de frutilla, así como en combinación con el BM (Duniway, 2002; Ajwa *et al.*, 2003).

*1,3-Dicloropropeno*: Nematicida con propiedades fungicidas y herbicidas (Diez Rojo *et al.*, 2010). Su utilización de manera individual para la desinfección del suelo en producciones de frutilla no es común (Duniway, 2002), sin embargo, es habitual su combinación con Pic. Esta mezcla potencia el control de enfermedades como la marchitez provocada por *Verticillium* spp. o la podredumbre de raíz por *Phytophthora* spp. (Ajwa *et al.*, 2003; Porter *et al.*, 2004). Una vez que ingresa al suelo, gracias al efecto de la temperatura, pasa del estado líquido al gaseoso y se distribuye en todo el perfil (Carrasco *et al.*, 2005).

*Metam Sodio* (N-metilditiocarbamato sódico): Concentrado soluble en agua, que una vez diluido y en contacto con el suelo se degrada rápidamente a MITC (Carrasco *et al.*, 2005). Es muy eficaz en el control de malezas y en menor medida de hongos patógenos, nematodos e insectos (Ajwa *et al.*, 2003). El pH del suelo y del agua de riego afecta considerablemente el proceso de liberación de MITC. En la gran mayoría de los suelos con pH neutro o ligeramente alcalino se obtiene mayor cantidad de estos gases que en suelos de pH ácido, en los cuales la eficacia del producto es de hasta un 50% menor (Diez Rojo *et al.*, 2010). La acción del producto también está condicionada por el contenido de materia orgánica del suelo (MO), ya que con contenidos de MO superiores o iguales a 4% el gas difunde con dificultad producto de la adsorción del MITC (Sepúlveda *et al.*, 2015).

### *Aplicación al suelo*

Los tres principios activos antes mencionados presentan menor presión de vapor y mayor punto de ebullición que el BM, lo que explica su menor volatilidad y movilidad en el suelo. Esto hace que su eficacia en el control de patógenos y vegetación espontánea sea más dependiente que el BM ante el método de aplicación utilizado, el tipo y condición del suelo y las condiciones ambientales (Ajwa *et al.*, 2002). La aplicación mediante el sistema de riego por goteo, en lugar de la tradicional inyección al suelo, ha demostrado tener buenos resultados ante esta situación, dando lugar a disminuciones en la exposición de los aplicadores ante los productos químicos, menores cantidades de producto a aplicar y reducción de las emisiones al ambiente. En el caso de la mezcla 1,3-D:Pic, el desarrollo de concentrados emulsionables ha permitido su aplicación por este método (Duniway, 2002; Ajwa *et al.*, 2003). Porter *et al.* (2004) afirman que determinar las mejores condiciones de aplicación para estos productos, y promover así su correcta dispersión en el suelo, es esencial para su éxito y rápida adopción por parte de los productores. La distancia que recorren los vapores en el suelo está influenciada por la temperatura, humedad, textura y preparación del mismo. El suelo debe ser

humedecido, por lo menos, una semana antes de la aplicación para lograr la germinación de las semillas de malezas y activar la multiplicación de los microorganismos. Al momento de la aplicación, la humedad del suelo debe ser del 70-80% de su capacidad de campo y debe presentar una temperatura entre 12 y 25 °C (Agrios, 1998; Carrasco, 2005) durante todo el período de acción (2 semanas para 1,3-D:Pic, y 2-3 semanas para MS) (Porter *et al.*, 2004).

En suelos arenosos y friables, la difusión del ingrediente activo es más fácil y efectiva. En el caso de suelos arcillosos o pesados, puede existir deficiencia de espacio poroso adecuado e impedir o limitar los movimientos de gases. Para lograr una buena desinfección es importante que el suelo esté mullido hasta una profundidad de 25-35 cm, de modo que aumente la superficie de contacto entre el principio activo y los organismos a controlar (Carrasco *et al.*, 2005). Luego de la aplicación es recomendable cubrir el suelo y retener los gases desinfectantes. Esto puede realizarse mediante el sellado del suelo con agua o utilizando una cobertura de polietileno (PE) (Duniway, 2002). Antes de iniciar el cultivo, el suelo debe ventilarse por determinado tiempo para evitar daños de fitotoxicidad sobre las plantas. Para corroborar que esto ocurrió exitosamente, pueden realizarse pruebas de germinación con especies sensibles, como la lechuga (*Lactuca sativa* L.) (Carrasco *et al.*, 2005).

#### *Utilización de Trichoderma sp. como complemento de la desinfección química*

La desinfección del suelo con productos de síntesis química puede lograr una importante reducción de patógenos, sin embargo, no da lugar a una esterilización total del mismo. Significativas poblaciones de bacterias (por ejemplo, diversas especies del género *Pseudomonas*) y hongos sobreviven a este proceso y colonizan nuevamente los suelos y las raíces de las plantas (Duniway, 2002; Martin y Bull, 2002). Numerosas especies, incluyendo bacterias y hongos, han sido testeadas como potenciales agentes de control biológico en frutilla (Martin y Bull, 2002; Ajwa *et al.*, 2003; Khalil y Svensson, 2017). Cepas seleccionadas han sido estudiadas para utilizarse como aditivos al suelo, e incluso están siendo evaluadas para ser usadas en combinación con distintos métodos de desinfección del mismo. Esto permitiría incrementar la eficacia y rango de control de organismos patógenos (Ajwa *et al.*, 2003; López Aranda, 2014). Para la inoculación, las plantas de frutilla pueden ser sumergidas en una solución que contenga a los microorganismos, o estos pueden ser aplicados directamente al suelo (Martin y Bull, 2002). Una vez en el suelo, estos agentes benéficos deben sobrevivir y establecerse en la rizósfera de las plantas (Khalil y Svensson, 2017), interactuar con el cultivo,

potenciales patógenos, las condiciones ambientales, el sistema de manejo implementado en el cultivo y el comportamiento de microorganismos nativos bajo las condiciones microclimáticas predominantes. Además, no deben presentar patogenicidad para el cultivo por sí mismos. En el caso del cultivo de frutilla, se aislaron de plantas y suelos potenciales controladores biológicos. *Trichoderma harzianum* ha demostrado ser efectiva en la reducción de la incidencia de la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*, así como en el control de *Botrytis cinerea*. Se trata de un hongo antagonista que comúnmente habita en la rizosfera de las plantas de frutilla (Maas, 2004). Se ha demostrado que parasita el micelio de *Rhizoctonia* sp. y *Sclerotium* sp., inhibe el crecimiento de muchos otros hongos, como *Pythium* sp. y *Fusarium* sp., y reduce la magnitud de las enfermedades causadas por la mayoría de estos patógenos (Agrios, 1998). Además de esta habilidad para atacar o inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos para las plantas, numerosos estudios indican que son capaces de generar mecanismos de resistencia localizada o sistémica en las plantas (Harman *et al.*, 2004). Es necesario ampliar y profundizar el estudio sobre la ecología microbiana, tanto del suelo como de la rizosfera de las plantas luego de la desinfección. Esto permitiría detectar y desarrollar agentes biológicos efectivos contra microorganismos patógenos que afectan a las raíces de las plantas de frutilla (Martin y Bull, 2002).

### *Plantaciones de frutilla de dos años de duración*

Todas las regiones altamente productivas en frutilla a nivel mundial utilizan sistemas de plantación anual. Estos sistemas presentan elevados costos de inversión, debido principalmente a la preparación del sitio y la renovación periódica del stand de plantas (Dale y Pritts, 1989; Kirschbaum *et al.*, 2010). Sin embargo, existe un creciente interés por prolongar este cultivo durante un segundo año y evitar los costos de implantación del cultivo y preparación del suelo durante el segundo año (Adlercreutz, 2008; Orde y Sideman, 2021). La dificultad ante esto radica en que los cultivares más utilizados en la producción de frutilla se tornan improductivos durante el segundo año de producción (Maas, 2004). Esto se debe principalmente a condiciones climáticas adversas y muy estresantes para las plantas, que generan condiciones de estrés al cultivo y lo predisponen para ser atacado por plagas y enfermedades. Sumado a esto, existe una mayor susceptibilidad ante el ataque de patógenos por parte de los cultivares de frutilla utilizados en la actualidad. En regiones con veranos más frescos o más secos (valles de altura, Mar del Plata, VBRC, Patagonia, etc.), el cultivo no sufre por inclemencias climáticas importantes (excepto altas temperaturas en días puntuales), lo que le permite

a la planta desarrollarse en condiciones relativamente adecuadas, estresarse menos y enfrentar mejor las adversidades fitosanitarias, subsistiendo aceptablemente de un año al otro.

### *Objetivos*

General: Evaluar la desinfección de un suelo con presencia de hongos patógenos que afectan al cultivo de frutilla mediante el rendimiento y sanidad de las plantas en un cultivo de dos años de duración en el VBRC.

Particulares:

- 1) Evaluar el efecto de la desinfección del suelo con dos métodos químicos y uno químico complementado con la inoculación del suelo con *Trichoderma harzianum*.
- 2) Comparar dos cultivares de frutilla en el VBRC.
- 3) Comparar la productividad y sanidad de plantas de frutilla de una plantación de dos años.

### **Materiales y métodos**

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del INTA Hilario Ascasubi, ubicada en la Ruta Nacional 3 km 794, Buenos Aires, Argentina. Este ensayo se desarrolló en el marco de dos proyectos del INTA: PNHFA-1106073 “Aumento de la competitividad con sustentabilidad y equidad social de sistemas productivos de hortalizas frescas diferenciadas” y BASUR-1272307 “Proyecto de gestión de la acción institucional en el territorio Valle Bonaerense del Río Colorado (Buenos Aires)”. El experimento se realizó dentro de una parcela de 800 m<sup>2</sup>, delimitada por un cerco de malla monofilamento a modo de cortina rompe viento y barrera al ingreso de animales (Figura 5). Un sector de esta parcela provenía del cultivo reiterado de frutilla desde el año 2012, sitio en el cual se observó mortandad de plantas debido a enfermedades producidas por hongos de suelo (Zazzetta *et al.*, 2016). Los patógenos identificados previamente en la parcela son causantes de podredumbre de raíz y corona y constituyen la primera problemática para este cultivo en la zona del VBRC, especialmente en algunos cultivares y en suelo sin tratamiento de desinfección previo (Mairoser *et al.*, 2016).



**Figura 5.** Imagen del ensayo en diciembre de 2015.

### *Características edáficas y climáticas*

Se trabajó sobre suelo de clase textural Franco arenoso. Previo al inicio del ensayo se realizó un análisis del suelo (Tabla 1).

**Tabla 1.** Propiedades del suelo de la parcela de experimentación.

Referencias	CE <sup>(1)</sup> (dS m <sup>-1</sup> )	pH <sup>(2)</sup>	Ca+Mg <sup>(3)</sup> (meq/L)	Na <sup>(4)</sup>	RAS <sup>(5)</sup>	PSI <sup>(6)</sup>	MO <sup>(7)</sup> (%)	P <sup>(8)</sup> (ppm)	Nt <sup>(9)</sup> (mg g <sup>-1</sup> )
0-5 cm	1,05	7,6	6,91	3,09	1,7	1,2			
5-20 cm	0,76	7,5	4,94	2,67	1,7	1,2	2	75,8	1,25

(1) Conductividad eléctrica, conductimetría. (2) Contenido de iones hidrógeno (acidez/alcalinidad), potenciometría. (3) Cation Calcio y Magnesio, complejometría. (4) Cation Sodio, fotometría de llama. (5) Relación adsorción de sodio, calculado a partir de los cationes. (6) Porcentaje de Sodio Intercambiable, calculado a partir del valor de RAS. (7) Materia orgánica, Walkley-Black: < 0,7 deficiente, 0,7 a 1,5 normal, 1,5 a 2,5 medianamente provisto, > 2,5 bien provisto. (8) Fósforo, Bray Kurtz I: < 15 deficiente, 15 a 20 medianamente provisto, > 20 bien provisto. (9) Nitrogeno total, Kjeldahl: < 0,5 muy bajo; 0,5 a 0,8 bajo; 0,8 a 1,0 ligeramente bajo; 1,0 a 1,5 normal; 1,5 a 1,8 ligeramente alto; > 1,8 muy alto.

Las precipitaciones y temperaturas medias históricas y en los años de estudio se presentan en las Tablas 2 y 3, estos datos fueron registrados por la estación meteorológica automática ubicada en la EEA INTA Hilario Ascasubi.

**Tabla 2.** Temperaturas máximas medias, medias históricas, mínimas medias y en los años de estudio para el sitio de ensayo (°C). En negrita los meses de ensayo.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2015	21,1	21,1	18,3	16,3	13,3	9,1	8,5	10,8	10,4	11,9	<b>18,7</b>	<b>20,6</b>
2016	<b>23,5</b>	<b>21,9</b>	<b>18,8</b>	<b>13</b>	9,5	7,9	7,6	11,1	11	<b>14,4</b>	<b>18,7</b>	<b>22,8</b>
2017	<b>22,8</b>	<b>23,8</b>	<b>18,8</b>	s/d	s/d	s/d	8,9	10,3	12,4	14,6	16,7	20,6
Máxima media	29,8	28,9	25,8	21,3	17,4	13,9	13,7	16,0	18,6	21,9	25,3	28,3
Media histórica	22,4	21,2	18,7	15	11,2	8,1	7,5	9,3	11,7	14,7	18	20,8
Mínima media	14,4	13,7	11,8	8,1	5,2	2,5	1,6	2,5	4,6	7,5	10,4	13,0

**Tabla 3.** Precipitaciones históricas y en los años de estudio para el sitio de ensayo (mm). En negrita los meses de ensayo.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2015	68,5	113,0	19,8	72,9	7,0	0,5	45,0	33,8	15,2	58,4	<b>64,0</b>	<b>116,5</b>
2016	<b>132,5</b>	<b>74,3</b>	<b>29,5</b>	<b>25,7</b>	66,5	15,3	11,3	22,5	9,9	<b>55,0</b>	<b>37,0</b>	<b>15,0</b>
2017	<b>8,7</b>	<b>110,7</b>	<b>101,0</b>	70,0	53,6	19,5	18,5	34,0	42,3	32,0	71,5	4,5
Históricas	50,6	56,9	61,5	45,4	28,8	21,9	23,1	25,8	37,0	44,9	43,4	50,5

### *Material vegetal y acondicionamiento de plantines*

La experiencia se realizó durante los ciclos 2015-2016 y 2016-2017. Teniendo en cuenta que los plantines “frigo” y los cultivares de día neutro son los apropiados para el cultivo de frutilla en la zona del VBRC (Mairoser *et al.*, 2018), el material vegetal con el que se trabajó fueron dos cultivares de día neutro, San Andreas (Sa) y Sweet Ann (Sw), y plantines “frigo” provenientes de viveros situados en las provincias de Neuquén y Mendoza, respectivamente. Previo al trasplante, se realizó un acondicionamiento de los mismos. En primer lugar, se podaron las raíces que excedieran los 10 cm de longitud, para lograr uniformidad en las plantas y facilitar el trasplante. Luego, se los sumergió durante 10 minutos en una solución compuesta por: 15 cm<sup>3</sup> de fertilizante Inicium (40% MO, 5,5% N total, 5,5% orgánico, 5,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 20 cm<sup>3</sup> de *Azospirillum* sp. y 40 g de fungicida Armetil (Mancozeb 64% + Metalaxil 8%) en 12 L de agua (Figura 6).



**Figura 6.** Acondicionamiento de plantines previo al trasplante.

### *Disposición del ensayo*

En enero de 2015 se rastreó el suelo y se conformaron los camellones trapezoidales, con una alomadora simple Tecnomacro AG 6000 M (Figura 7). Cada camellón contó con una cinta de riego por goteo en su parte central y fue cubierto con polietileno de 50  $\mu\text{m}$  de espesor, negro en su cara interior y blanco en la exterior. Los camellones se distanciaron a 40 cm entre sí y sus medidas fueron: 80 cm de ancho en la base, 60 cm de ancho en la parte superior, 35 cm de altura y 30 m de largo. En febrero se realizó la desinfección química del suelo. Para esto, se realizó la inyección directa de los productos químicos al sistema de riego por goteo mediante la utilización de una bomba Flojet modelo 2100-884. Se evaluaron 4 tratamientos (Tabla 4).



**Figura 7.** Conformación de los camellones.

Los productos químicos se dejaron actuar durante 14 días, para luego realizar la perforación del polietileno en los sitios correspondientes a las futuras plantas y permitir la ventilación el suelo. El 4 de marzo de 2015 se realizó el trasplante en tresbolillo a 30 cm entre plantas. Se procuró que la superficie del suelo coincidiera con el punto medio de las coronas y que las raíces de las plantas alcanzaran una posición final totalmente vertical.

**Tabla 4.** Nomenclatura y descripción de los tratamientos evaluados en el ensayo.

	<b>Tratamiento</b>
<b>T</b>	Testigo sin desinfección del suelo
<b>MS</b>	Metam sodio (51%) (100 cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )
<b>DCP+T</b>	1,3 Dicloropropeno (60,8%)-Cloropicrina (33,3%) (40 cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) + 10 <sup>7</sup> UFC mL <sup>-1</sup> <i>Trichoderma harzianum</i> por planta
<b>DCP</b>	1,3 Dicloropropeno (60,8%)-Cloropicrina (33,3%) (40 cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )

Para DCP+T se utilizó la cepa Th2RI99, material proveniente del Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) del INTA y facilitado por la Dra. Viviana Barrera. La aplicación de *T. harzianum* se realizó de forma fraccionada en dos oportunidades, 231 y 294 días posteriores al trasplante. La inoculación se realizó de forma manual, aplicando 50 mL de una solución de 10<sup>7</sup> UFC mL<sup>-1</sup> por planta, procurando que el líquido se incorporara en el área cercana a la corona de la misma.

### *Riego y fertilización*

El riego y la fertilización se realizaron a través de un sistema localizado por goteo. Se dispuso una cinta de goteo Streamline 16080, de la marca Netafim, de 16 mm de sección y 200 µm de espesor en el centro de cada camellón, con emisores de caudal nominal de 1,1 L h<sup>-1</sup>, espaciados a 20 cm entre sí. El cultivo se regó con agua proveniente del Río Colorado, cuya conductividad eléctrica no superó los 1,3 dS m<sup>-1</sup> durante el período de ensayo (CORFO, 2020). Inicialmente se aplicaron tres riegos semanales de 40 minutos, cada uno fraccionado en 2 veces. En septiembre, cuando comenzó el programa de fertilización, los riegos pasaron a ser diarios y se mantuvieron los dos turnos por día. A mediados de noviembre, cuando las plantas estaban en su punto de máxima demanda hídrica, se incorporó un tercer turno a la operación de riego diario. Este régimen se mantuvo hasta febrero, luego los turnos se redujeron nuevamente a dos. Al calcular los requerimientos de agua para ser aportada con el riego, se tuvo en cuenta un 20% de requerimientos de lixiviación, definido en función de la conductividad

eléctrica del suelo y del agua de riego. La fertilización se realizó en base a la extracción del cultivo, con ajustes según análisis de suelo, análisis foliar y estado fenológico del cultivo.

### *Prácticas de mantenimiento del cultivo*

Durante las dos temporadas productivas, a fines de invierno-principios de primavera, se realizó la poda de flores para promover un mayor desarrollo vegetativo inicial, ya que las mismas constituyen un importante sitio de demanda de energía para las plantas (Kirschbaum *et al.*, 2010). Durante la etapa de cosecha, se realizó la poda de estolones de forma periódica y en julio de 2016, una vez que las plantas alcanzaron el estado de reposo invernal, se realizó una poda de invierno. Esto consistió en la eliminación total de hojas, pecíolos, estolones y racimos florales, con la posterior aplicación de un fungicida cúprico. Esta práctica es importante para evitar la persistencia de restos de plantas sin descomponer y reducir las potenciales fuentes de inóculo de organismos patógenos (Maas, 2004). Durante todo el período de cosecha se realizó un monitoreo y registro de la mortandad de plantas (M) y todos los individuos muertos fueron retirados del ensayo. Estas observaciones permitieron, además, controlar el estado del sistema de riego y la presencia de vegetación espontánea y animales perjudiciales para el cultivo. La vegetación espontánea, que eventualmente se observó en el área circundante a las plantas, fue retirada de forma manual (Figura 8). En situaciones específicas donde se observó la presencia de hojas afectadas por hongos, se realizaron aplicaciones de los fungicidas Boscalid 25,2% + Pyraclostrobin 12,8% (Bellis), a una dosis de 21 g 10 L<sup>-1</sup> de agua, y Azoxistrobina 20% + Difenconazol 12,5% (AMISTAR), a una dosis de 125 cm<sup>3</sup> 100 L<sup>-1</sup> de agua.



**Figura 8.** Vegetación espontánea junto a una planta de frutilla.

#### *Cosecha de fruta y evaluaciones en el laboratorio*

La recolección de fruta del primer año (A1) comenzó el 11 de noviembre de 2015 y finalizó el 29 de abril de 2016. Durante ese período se realizaron 9 cosechas en noviembre, 13 en diciembre, 11 en enero, 13 en febrero, 13 en marzo y 13 en abril. En cuanto al segundo año (A2), la cosecha comenzó el 24 de octubre de 2016 y finalizó el 31 de marzo de 2017. Durante A2 se realizaron 4 cosechas en octubre, 13 en noviembre, 10 en diciembre, 9 en enero, 7 en febrero y 9 en marzo. La metodología aplicada para la evaluación de la fruta recolectada fue la misma durante los dos años de ensayo.

La cosecha se realizó teniendo en cuenta el Protocolo de Calidad del Ministerio de Agroindustria (2012). La recolección se realizó tres veces por semana y durante las primeras horas del día, una vez evaporado el rocío de la superficie de la fruta y cuando la temperatura ambiente aún permanecía baja (Figura 9). La fruta seleccionada se encontraba madura y presentaba, como mínimo, el 75% de la superficie del fruto cubierta por el color rojo característico del cultivar, sin presencia de punta verde. Inicialmente, la fruta se trasladó al laboratorio en bolsas de polietileno, luego esto pasó a realizarse en cajones de plástico con orificios para promover una correcta aireación y favorecer un trato delicado de la cosecha al disminuir el contacto entre frutos.



**Figura 9.** Cosecha de las plantas de frutilla.

Las evaluaciones se realizaron en el laboratorio de fitopatología de la EEA INTA Hilario Ascasubi (Figura 10). Una vez en el laboratorio, se pesó cada muestra con una balanza electrónica Ohaus modelo Traveler TA1501 y luego se pesó y clasificó la fruta en: producción comercial (Pc) (frutos con peso superior a 10 g) y producción no comercial (Nc) (Adlercreutz, 2005; Kirschbaum *et al.*, 2014; Torrico *et al.*, 2018). Dentro de Nc se incluyó a la fruta chica (Ch) (frutos con peso inferior a 10 g) y al descarte (D). Los motivos de D fueron: frutos deformes, frutos con *Botrytis* sp., frutos con *Colletotrichum* sp., frutos con daños provocados por pájaros e insectos y “otros”, categoría donde se incluyó cualquier otro motivo de descarte.



**Figura 10.** Evaluaciones en laboratorio y fruta cosechada del ensayo.

### *Muestreo y análisis de plantas*

Se realizó un monitoreo semanal de las plantas del ensayo, a partir del cual se observó e identificó la presencia de insectos y de plantas con síntomas de enfermedades durante los dos años de experimento. Ante la presencia de plantas con enanismo, síntoma característico del ataque de virus en frutilla, en marzo de 2017 se enviaron 5 plantas afectadas al Instituto de Patología Vegetal (IPAVE) del INTA para ser analizadas mediante RT-PCR con primers específicos para Strawberry mild yellow edge virus (SMYEV), Strawberry crinkle virus, Strawberry mottle virus y Strawberry polerovirus 1 (SPV1). Las muestras pertenecieron al cultivar Sw y fueron extraídas de camellones correspondientes a distintos tratamientos.

Por otro lado, durante los dos años de ensayo se extrajeron plantas con síntomas de enfermedades fúngicas para la determinación del agente causal en laboratorio (Figura 11). La extracción se realizó con la ayuda de una pala, retirando la planta con parte del suelo circundante a las raíces. Los análisis fueron realizados por profesionales de fitopatología de la EEA INTA Hilario Ascasubi y de la Cátedra de Fitopatología de la UNS. Los diagnósticos se realizaron por la observación de síntomas y aislamiento en laboratorio del agente causal. Se cultivaron porciones de tejido afectado de raíz, corona y hoja. En primer lugar, los tejidos afectados se sumergieron en una solución 1:10 de hipoclorito durante 1 minuto, luego se secaron con papel esterilizado y se cortaron pequeños trozos que contuvieran la línea de avance del patógeno. Estos tejidos se sembraron cajas de Petri con agar papa glucosado y agar agua y se mantuvieron a temperatura ambiente, luego se repicaron a tubos de ensayo de vidrio con agar papa. Pasado el período de incubación, se realizó el reconocimiento de estructuras fúngicas características de las especies a través de la observación con microscopio.



**Figura 11.** Planta extraída del ensayo para su análisis fitopatológico en laboratorio.

### *Diseño experimental y análisis estadístico*

Se utilizó un diseño en bloques divididos con 4 réplicas por tratamiento. Cada réplica estuvo compuesta por 20 plantas de frutilla sujetas a evaluación y 10 plantas de bordura en cada extremo. La comparación de los distintos parámetros (tratamiento de suelo, variedad y año de cultivo) se efectuó mediante el Análisis de la Varianza (ANAVA), evaluando las interacciones. Al existir variables que no cumplieran con los supuestos para el análisis de la varianza, se procedió a efectuar su transformación. Tal es el caso de la variable M, que debió ser transformada con Logaritmo. En el caso en que el ANAVA no fuera significativo ( $p > 0,05$ ) no se realizó la comparación de medias. Para la comparación de medias se utilizó el test de Diferencias Mínimas Significativas de Fisher. El software utilizado para el análisis de los datos fue InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

## Resultados y discusión

### *Estado sanitario de las plantas*

A partir de diciembre de 2015 ciertas plantas del ensayo comenzaron a manifestar marchitamiento y desecación marginal e internerval en las hojas más antiguas (Figura 12A), situación que se intensificó en enero y febrero, los meses de mayor temperatura media del ciclo productivo (Tabla 2). Posteriormente, estos individuos afectados

sufrieron un colapso total seguido de muerte (Figura 12B), síntomas típicos del ataque de hongos vasculares que afectan al cultivo de frutilla (Maroto, 2002; Maas, 2004). De la totalidad de plantas afectadas, 18 fueron analizadas en el laboratorio para la identificación del agente causal. En las muestras de raíz y corona se identificó a la especie *Verticillium dahliae*, citado en la bibliografía como un problema muy común a nivel mundial para este cultivo (Hancock *et al.*, 2008) y encontrado previamente en la parcela de ensayo por Mairosser (2013). Adicionalmente, en estos tejidos se aislaron *Macrophomina* sp., mencionada por De los Santos *et al.* (2017) como un hongo emergente de la utilización de alternativas químicas al BM, *Rhizoctonia* sp, *Phomopsis* sp. y *Fusarium* sp., géneros que han sido reportados previamente en nuestro país afectando al cultivo de frutilla (Kirschbaum *et al.*, 2017b). Por último, en fruto se identificaron los hongos *Colletotrichum* sp. y *Botrytis* sp. y en hoja *Gnomonia comari* y *Phomopsis* sp.



**Figura 12.** A. Planta de frutilla con inicio de marchitez de hojas antiguas. B. Planta de frutilla muerta (centro) y planta con inicio de marchitez de hojas antiguas (derecha).

En lo que respecta a las 5 plantas que presentaban síntomas de ataque de virus (Figura 13), se identificó a SMYEV en tres plantas y una infección mixta de SMYEV y SPV1 en un cuarto individuo. Según Luciani *et al.* (2016), la presencia de una planta con síntomas que resultó negativa a los cuatro virus testeados podría estar indicando la presencia de otras especies de virus afectando las plantas de frutilla, factor no considerado en este estudio. Los dos virus detectados son transmitidos por áfidos y fueron identificados en frutilla previamente en Argentina por Dughetti *et al.* (2017) y Conci *et al.* (2017). A pesar de que estas plantas manifestaron síntomas de ataque de virus desde muy temprano, las muestras fueron extraídas para su análisis al final del segundo ciclo productivo, acorde a lo sugerido por Torrico *et al.* (2018). Esto se basa en que la concentración de los virus se incrementa en la planta conforme avanza el tiempo, y de esta manera se

evitarían resultados falso negativos para infección viral. Las plantas de frutilla son tolerantes a la presencia de virus simples, pero manifiestan gran sensibilidad ante la incidencia de complejos de virus (Maroto, 2002). Debe considerarse que, a pesar de que aquellas plantas que poseen infecciones simples de virus generalmente permanecen asintomáticas y no son detectadas, Torrico *et al.* (2018) advierten sobre significativas reducciones en el número y tamaño de fruta de plantas de frutilla asintomáticas con infecciones simples de SMYEV. Por esto, recomiendan la utilización de plantas libre de virus y resaltan la importancia de realizar análisis, independientemente de la manifestación de síntomas. El manejo de estas patologías se basa, además, en el monitoreo de áfidos vectores y el conocimiento de la ecología del sistema planta-pulgón-virus y de los enemigos naturales de los áfidos (Dughetti *et al.*, 2017). En este ensayo, al igual que lo encontrado por Dughetti *et al.* (2014) previamente en el VBRC y lo reportado por Kirschbaum y Hancock (2000) en Argentina, se determinó la presencia de colonias de *Aphis* spp. sobre las plantas de frutilla, concentradas en pedúnculos florales y en focos puntuales sobre el cultivo (Figura 14). Para el control de las mismas se realizaron aplicaciones localizadas de insecticida. En relación a los virus, estos insectos causarían menores pérdidas económicas en sistemas de producción anual de frutilla, donde hay menor oportunidad de adquirir infecciones múltiples (Dughetti *et al.*, 2017).



**Figura 13.** Planta del ensayo con enanismo.

Además de la presencia de colonias de pulgón, en la parcela de ensayo se identificó a *Achyra bifidalis*, *Otiorhynchus rugosostriatus* (“burrito de la frutilla”), *Dichelops* spp. y *Nezara* spp. (“chinches”) y *Dichroplus* spp. (“tucuras”). Exceptuando las medidas tomadas ante el ataque de pulgones antes mencionadas, no se realizaron controles sobre las demás especies debido a que no representaron una verdadera amenaza para el cultivo.



**Figura 14.** Colonias de *Aphis* spp. sobre planta de frutilla del ensayo.

#### *Mortandad de plantas*

El porcentaje de mortandad total de plantas obtenido en este ensayo fue del 5,8% y 26,6% para A1 y A2, respectivamente. En cuanto a la muerte de plantas según tratamientos, no hubo diferencias entre los tratamientos que contaron con desinfección del suelo para este parámetro, sin embargo, el tratamiento T fue significativamente superior en cuanto al porcentaje de plantas muertas al final del segundo año de ensayo ( $p < 0,05$ ). En cuanto a los cultivares, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la proporción de plantas muertas para ninguno de los años de ensayo (A1:  $p = 0,09$ ; A2:  $p = 0,111$ ) (Tabla 5), a diferencia de lo reportado por Mairosser (2013), quien registró previamente en el VBRC mayor mortandad del cultivar Sw durante los dos años de ensayo.

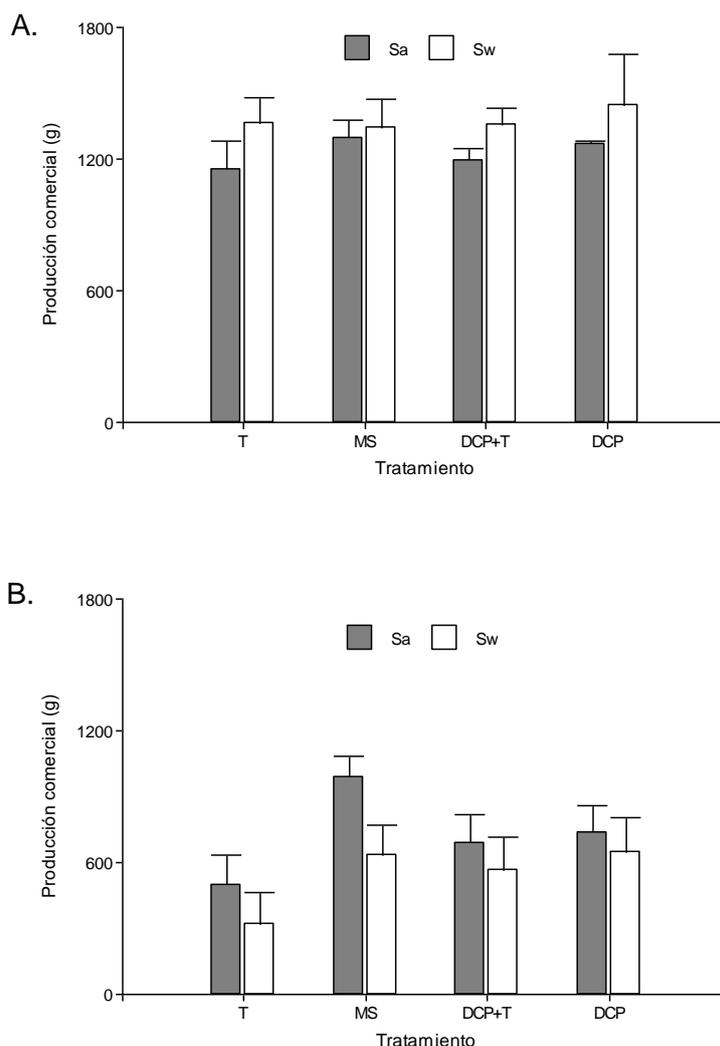
**Tabla 5.** Porcentaje de mortandad por parcela para el primer (A1) y segundo año de ensayo (A2), según tratamientos y cultivares.

Mortandad de plantas	A1 (%)	A2 (%)
T	6,2	36,6 a
MS	1	10,8 b
DCP+T	4,3	16,9 b
DCP	5	17,4 b
San Andreas	1,6	10,1
Sweet Ann	6,9	32,9

T: Testigo, MS: Metam sodio, DCP+T: Dicloropropeno + Cloropicrina + *T. harzianum*, DCP: Dicloropropeno + Cloropicrina. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y cultivares para cada año ( $p < 0,05$ ).

### *Producción comercial*

Debido a que se observaron las interacciones año\*cultivar y año\*tratamiento para Pc, los análisis estadísticos se realizaron para cada año por separado. La Pc en A1 mostró promedios superiores respecto a A2, para todos los tratamientos y cultivares (Figura 15). Esto difiere de lo observado por Adlercreutz (2005), quien en un ensayo realizado con cultivares de frutilla de día neutro en la zona de Mar del Plata (Buenos Aires) reportó rendimientos superiores en plantas de dos años de edad ( $1072 \text{ g planta}^{-1}$ ), respecto a las de un año ( $697$  y  $826 \text{ g planta}^{-1}$ ). Los rendimientos del cultivo de frutilla están sujetos a variaciones según la ubicación geográfica, el clima, el cultivar y el manejo del cultivo (Maas, 2004; SINAVIMO, 2019). En el caso de Mar del Plata, y a diferencia del VBRC (Tabla 1), los suelos son muy ricos en materia orgánica, lo que explicaría la mayor productividad del segundo año de producción en esa zona. En el VBRC debería mejorarse sustancialmente el contenido de MO para comprobar si el cultivo de frutilla es capaz de lograr un alto rendimiento el segundo año de producción. En lo que respecta a la producción en A1, para la situación de este ensayo, los rendimientos promedio del primer año superaron a los obtenidos por Mairosser (2013) en el VBRC trabajando con plantas de día neutro, de un año de edad, con trasplante de primavera y sin previa desinfección del suelo ( $573,0$  y  $376,9 \text{ g planta}^{-1}$  para Sa y Sw, respectivamente). Por otro lado, trabajando con plantas trasplantadas en otoño, Mairosser (2013) obtuvo rendimientos de  $1286 \text{ g planta}^{-1}$  para Sw y  $1100 \text{ g planta}^{-1}$  para Sa. En ese caso, se pondría en evidencia el efecto favorable que presentaría el trasplante temprano en otoño sobre la producción de frutilla en el VBRC.



**Figura 15.** Producción comercial (g planta<sup>-1</sup>) en el primer (A) y segundo año de ensayo (B), según tratamientos y cultivar.

T: Testigo, MS: Metam sodio, DCP+T: Dicloropropeno + Cloropicrina + *T. harzianum*, DCP: Dicloropropeno + Cloropicrina, Sa: cultivar San Andreas, Sw: cultivar Sweet Ann. Las barras indican el error estándar para cada tratamiento.

El ANAVA correspondiente a A1 no detectó diferencias significativas entre tratamientos respecto a la Pc ( $p=0,621$ ), por lo tanto, no se observó un efecto de la desinfección del suelo sobre este parámetro. Esto difiere de lo reportado por López Aranda *et al.* (2001) y Duniway (2002), quienes evaluaron alternativas químicas al BM en sistemas productivos de monocultivo de frutilla y observaron una respuesta creciente del rendimiento ante la desinfección reiterada del suelo. De Cal *et al.* (2005) también observó un efecto positivo de la desinfección del suelo con productos químicos, obteniendo mejores resultados con DCP respecto a MS sobre la reducción del inóculo de *Verticillium* sp. presente en el suelo. De la misma manera, a partir de resultados de

seis años consecutivos de experimentos realizados en la zona de Mar del Plata, Adlercreutz y Szczesny (2008) reportaron rendimientos de frutilla similares a los obtenidos con BM trabajando con DCP y MS a dosis altas ( $150 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2}$  y  $200 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2}$  de la formulación 32,7%, equivalente a 100 y  $130 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2}$  de la formulación 51%). El ensayo que integra esta tesis se realizó en condiciones naturales, es decir, no se inoculó el suelo artificialmente con organismos patógenos, a la vez que no se partió de una historia prolongada de cultivo de frutilla. En este contexto, y considerando que la mayoría de los brotes de *Verticillium* sp. están relacionados a la historia de cultivo previa (Maroto, 2002; Maas, 2004; Zazzetta *et al.*, 2018) y que el efecto sobre la fruta comercial es más difícil de detectar cuando la presión de la enfermedad es reducida (Porrás *et al.*, 2007), una baja carga de inóculo inicial de hongos fitopatógenos y una desconocida distribución del mismo en el suelo podrían estar relacionadas a la ausencia del efecto de los tratamientos de desinfección durante A1, tanto para la Pc como para la mortandad de plantas. En coincidencia con lo mencionado anteriormente, el ANAVA tampoco detectó diferencias significativas entre tratamientos para la Pc en A2 ( $p=0,174$ ). Durante el segundo año de producción T obtuvo un rendimiento promedio del 50% respecto a MS, el tratamiento que mejor se comportó (Tabla 6). La falta de significancia estadística en A2 podría deberse a la elevada variabilidad de los datos obtenidos durante el segundo año de ensayo, probablemente relacionada a la distribución en sectores de los hongos patógenos del suelo estudiados en esta tesis. Esto podría resolverse mediante el aumento de réplicas en el diseño de futuros ensayos.

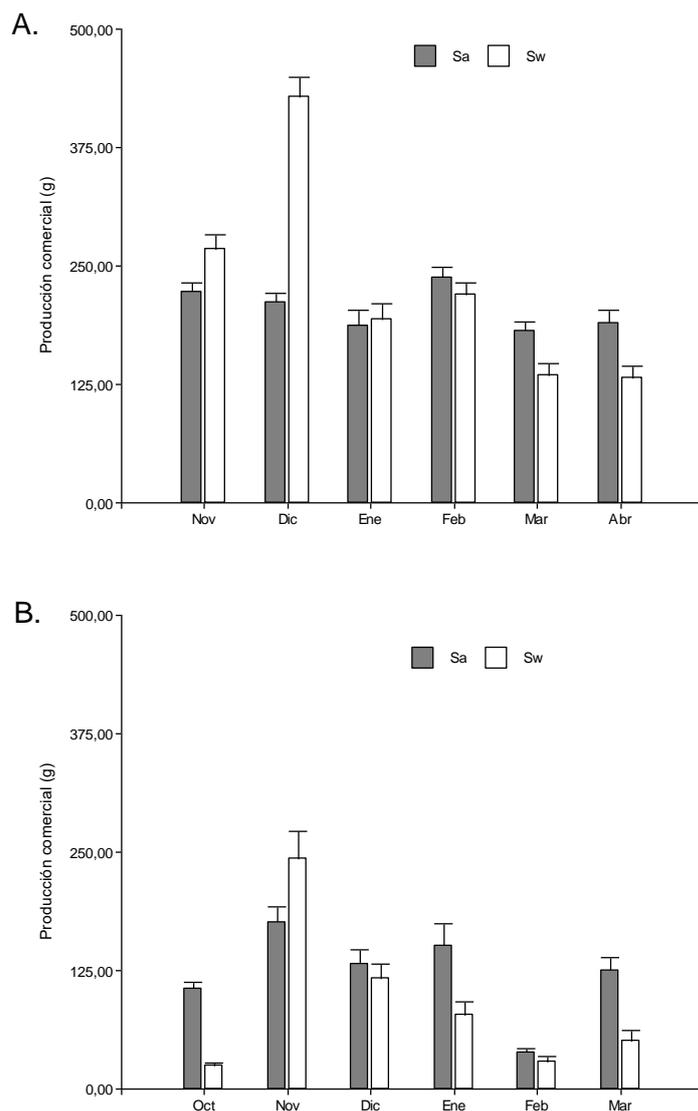
**Tabla 6.** Producción comercial (Pc) promedio de los tratamientos y cultivares, durante el primer (A1) y segundo año de ensayo (A2).

Pc (g planta <sup>-1</sup> )	A1	A2
T	1256,1	408,7
MS	1318,7	810,9
DCP+T	1277,3	628,4
DCP	1358,2	692,3
San Andreas	1228,4	728,0
Sweet Ann	1376,7	542,1

T: Testigo, MS: Metam sodio, DCP+T: Dicloropropeno + Cloropicrina + *T. harzianum*, DCP: Dicloropropeno + Cloropicrina.

En lo que respecta a la inoculación del suelo con *Trichoderma harzianum*, Martin y Bull (2002) observaron en un campo de Watsonville (California, EEUU) que las raíces de las plantas de frutilla establecidas en suelos desinfectados presentaron una colonización muy superior de *T. harzianum* respecto a suelos sin este tratamiento. La naturaleza altamente competitiva de este género y su habilidad para explorar cualquier nicho vacante (De Cal *et al.*, 2005) podrían favorecer el establecimiento de este hongo benéfico en el suelo y rizosfera de las plantas luego de una desinfección. En el presente ensayo no se observaron diferencias en la Pc de fruta como resultado de la aplicación de *T. harzianum* luego de la desinfección del suelo. Esta falta de efecto podría deberse a que la aplicación del agente biológico se realizó a los 8 y 10 meses posteriores a la desinfección química del suelo, y para entonces, un número significativo de especies de bacterias y hongos podrían haber colonizado nuevamente el suelo y las raíces de las plantas (Duniway, 2002; Martin y Bull, 2002). En adición a esto, las plantas de frutilla presentaban un tamaño y número de coronas importante, lo que podría haber afectado la correcta llegada del hongo y colonización de las raíces. Existen trabajos que reportan la aplicación de *Trichoderma* sp. mediante la inmersión de plantines (Khalil y Svensson, 2017) o su aplicación a través del riego por goteo (Martin y Bull, 2002), de manera fraccionada y en un momento más cercano al trasplante. Estos métodos alternativos podrían presentar ventajas para la incorporación de este y otros agentes biológicos benéficos en los sistemas productivos de frutilla.

En cuanto a los cultivares, no hubo diferencias significativas para la Pc acumulada entre Sa y Sw en ninguno de los dos años de ensayo (A1:  $p=0,39$ ; A2:  $p=0,4$ ). En este trabajo, los rendimientos promedio de los dos cultivares se encontraron por encima de 1 kg planta<sup>-1</sup> al final del primer año de cultivo. Esto difiere de lo reportado por Guan (2016), quien obtuvo un rendimiento promedio de 1,075 kg planta<sup>-1</sup> para Sa y 0,734 kg planta<sup>-1</sup> para Sw al final de la temporada. Por otro lado, en lo que respecta a la distribución de la producción durante los ciclos productivos, Sw superó significativamente a Sa en los dos primeros meses de cosecha de A1 (noviembre y diciembre) y Sa fue superior en el primer mes de cosecha del segundo año (octubre) ( $p<0,05$ ). A partir de la Figura 16 puede observarse que la producción durante A1 tuvo una tendencia más estable en el tiempo respecto a A2. Por otro lado, durante el segundo año de producción se aprecia una mayor variabilidad de la Pc en el tiempo, sobre todo para el cultivar Sw.



**Figura 16.** Distribución mensual de la producción comercial (g planta<sup>-1</sup>) para cada cultivar (Sa: cultivar San Andreas, Sw: cultivar Sweet Ann) durante el primer (A) y segundo año de ensayo (B). Las barras indican el error estándar para cada cultivar.

Tal como lo observado por Adlercreutz (2005), la cosecha de A2 fue más anticipada que A1 y alcanzó su punto máximo de rendimiento para ambos cultivares en noviembre. Orde y Sideman (2021) también reportaron precocidad en la producción durante el segundo año de cultivo, especialmente en plantas dispuestas bajo microtúneles. Por otro lado, la cosecha de A1 comenzó y finalizó un mes más tarde que A2 (Figura 16). En coincidencia con lo argumentado por este autor, la precocidad de A2 podría deberse al mayor desarrollo radical y vegetativo, mayor número de coronas y mayor acumulación de reservas en las raíces que habitualmente presentan las plantas de dos años al inicio del ciclo productivo. Esto sería equiparable a la ventaja que generalmente posee realizar una plantación temprana en verano (febrero-marzo), respecto a una plantación de otoño

(abril-mayo) (Chaitanya *et al.*, 2017; Kirschbaum *et al.*, 2010; Kirschbaum *et al.*, 2017). Al igual que lo observado en este ensayo, Maroto (2002) reportó que la producción obtenida durante el segundo año de cultivo es de menor importancia cuantitativa, así como las primeras cosechas son generalmente más precoces que en el caso de las plantaciones de un año. La mayor mortandad de plantas y la menor Pc promedio de A2 respecto a A1 obtenidas en este ensayo podrían deberse al bajo contenido de MO que presentan los suelos del VBRC, a una mayor proliferación de organismos patógenos en el suelo durante el segundo año de producción, el cual no contó con ningún tipo de desinfección, y a la gran susceptibilidad a enfermedades y dependencia de la desinfección del suelo que presentan los cultivares de frutilla utilizados en la actualidad a nivel mundial (Duniway, 2002; Martin y Bull, 2002; Maas, 2004; Porter *et al.*, 2004). En adición a esto, durante los meses de noviembre, diciembre y enero del segundo año las temperaturas fueron levemente superiores a la media histórica y las precipitaciones se encontraron muy por debajo de la media (Tablas 2 y 3), condiciones climáticas que podrían haber sido causa de estrés en las plantas y afectado negativamente a la producción comercial de fruta.

#### *Producción de fruta chica y de descarte*

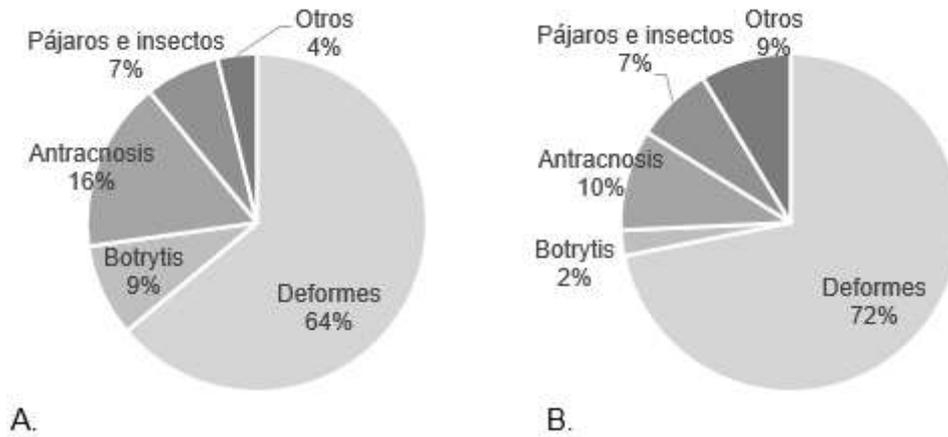
Se produjo fruta no comercial (Nc), es decir, fruta chica (Ch) y de descarte (D) durante todos los meses de cosecha del ensayo. En cuanto a la producción de Ch, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos y cultivares para ninguno de los dos años. Sin embargo, se observaron diferencias significativas entre tratamientos para D, tanto en A1 como en A2. El descarte de fruta fue significativamente menor para el tratamiento T en los dos años de ensayo, lo que difiere de lo reportado por Adlercreutz y Szczesny (2010), quienes obtuvieron la mayor proporción de descarte de frutos en el tratamiento sin desinfección del suelo. Por otro lado, y en coincidencia con estos autores, el principal motivo de fruta Nc en este ensayo fue la fruta Ch. Esta categoría de fruta, a pesar de no ser apta para comercializarse en el mercado en fresco debido a su tamaño reducido, podría ser una opción interesante para su procesamiento y agregado de valor en sistemas de producción familiares medianos o chicos.

**Tabla 7.** Producción de fruta chica (Ch) y de descarte (D) para cada cultivar y tratamiento en el primer (A1) y segundo año de ensayo (A2).

	Ch (g planta <sup>-1</sup> )		D (g planta <sup>-1</sup> )	
	A1	A2	A1	A2
T	267,7	225,1	158,9 b	79,7 b
MS	255,0	359,2	262,1 a	184,0 a
CDP+T	254,8	312,5	237,7 a	156,3 a
CDP	267,0	370,5	251,3 a	160,0 a
San Andreas	300,3	407,6	167,8	144,9
Sweet Ann	222,0	226,1	287,2	145,0

T: Testigo, MS: Metam sodio, DCP+T: Dicloropropeno + Cloropicrina + *T. harzianum*, DCP: Dicloropropeno + Cloropicrina. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y cultivares para cada año ( $p < 0,05$ ).

El principal motivo de descarte durante los dos años de ensayo fue debido a la obtención de fruta deforme (Figura 17). Las principales causas de deformidad en frutos de esta especie están relacionadas con fallas en la polinización (Rodríguez y Hompanera, 1992; Adlercreutz, 2005), y esto puede deberse a la ocurrencia de bajas temperaturas (Kirschbaum *et al.*, 2014), a deficiencias de Boro en las plantas o a la ausencia de polinizadores en el cultivo. Teniendo en cuenta que en el presente ensayo se realizó un análisis foliar y la cantidad de Boro se encontró dentro de los parámetros recomendados para la especie (90,8 mg kg<sup>-1</sup>) (Mc Leod y Aguila, 2019), disponer de colmenas en el área de cultivo, así como promover la presencia de polinizadores silvestres, podría favorecer el proceso de polinización (Castagnino, 2009) y contribuir en la reducción del número de frutos deformes en próximos ensayos.



**Figura 17.** Motivos de descarte de fruta en el primer y segundo año de ensayo (A y B, respectivamente).

El segundo motivo de descarte fue debido a enfermedades provocadas por *Botrytis* sp. y *Colletotrichum* sp., que afectan a la calidad de fruta y su vida poscosecha. Estas han sido reportadas por Maas (2004) como las enfermedades de fruta más importantes para el cultivo de frutilla a nivel mundial y como las responsables del uso de grandes cantidades de fungicidas para su control. Ante esto, debe tenerse en cuenta que durante los primeros cuatro meses de A1 y los últimos dos de A2 las precipitaciones fueron muy superiores a la media histórica (Tabla 3), factor que podría haber influido positivamente en el desarrollo de estas enfermedades fúngicas.

## Conclusiones

En parcelas con cultivo reiterado de frutilla en el VBRC persisten hongos de suelo que afectan a esta especie y que modifican el rendimiento de fruta. En esta región, la desinfección del suelo con productos de síntesis química tendría un efecto positivo en el control de estos hongos y la sobrevivencia de las plantas durante el segundo año de cultivo. La inoculación con *Trichoderma harzianum* no demostró efectos benéficos en el rendimiento de fruta ni en la supervivencia de las plantas, lo cual posiblemente estuvo asociado al método y momento de aplicación al suelo. Teniendo en cuenta la gran variabilidad en el rendimiento observada durante el segundo año, habría otros factores afectando la producción que no fueron determinados en este estudio.

Para las condiciones de este ensayo, la producción comercial de frutilla con cultivares de día neutro en el VBRC presentó mayor estabilidad en el tiempo durante el primer año de producción y, por otro lado, demostró mayor precocidad en la cosecha durante el segundo año. No obstante, durante el segundo año la producción total y sobrevivencia de plantas se vieron notablemente afectadas. En cuanto a los cultivares, San Andreas y Sweet Ann no manifestaron diferencias en su respuesta en el rendimiento y sanidad ante los tratamientos de desinfección del suelo evaluados.

## **CAPITULO II**

**ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS, FÍSICAS Y  
AGRONÓMICAS AL BROMURO DE METILO PARA  
LA DESINFECCIÓN DEL SUELO**

## Introducción

La experiencia mundial indica que el reemplazo del BM por otro producto químico tiene bajas posibilidades de sustentarse en el largo plazo. Por un lado, existe la dificultad de encontrar una sustancia que muestre un alto potencial biocida, bajo costo relativo, baja persistencia y fácil aplicación, y que además, no tenga riesgo de ser prohibido por las entidades regulatorias (Duniway, 2002; Chamorro *et al.*, 2015; Sepúlveda *et al.*, 2015). Adicionalmente, la preocupación por parte de la sociedad ante los efectos que puedan tener los alimentos producidos con pesticidas, tanto sobre la salud humana como sobre el medio ambiente, es creciente (Maas, 2004; Porter *et al.*, 2004) y fomenta la demanda de una agricultura de menor impacto ambiental y mayor calidad (Bello, 1997).

Considerar alternativas al BM que no sean de origen sintético implica un cambio mucho más allá que la simple transición de un sistema de desinfección a otro, ya que las alternativas no químicas frecuentemente son intensivas en capital y conocimiento (Pizano, 2014) e involucran una revalorización de las técnicas tradicionales de la agricultura (Bello, 1997). Estas alternativas incluyen técnicas para tratar el suelo sin el uso de pesticidas o aquellos métodos de cultivo de plantas en sustrato sin suelo (Vilaseca *et al.*, 2006). En referencia a las primeras, pueden mencionarse la rotación de cultivos, el uso de cultivares resistentes, el injerto, los cultivos trampa y de cobertura, el uso de enmiendas orgánicas, la desinfección del suelo anaeróbica, la utilización de agentes biológicos y algunos métodos físicos como la solarización del suelo y la desinfección mediante el uso de vapor de agua (Kirschbaum *et al.*, 2010; López Aranda, 2014; López Aranda *et al.*, 2016). La eficacia de estas alternativas se incrementa cuando forman parte de un sistema de producción integrada y basado en principios ecológicos, en lugar de ser aplicadas en forma aislada (Diez Rojo *et al.*, 2010; Torres Nieto *et al.*, 2011; Muramoto *et al.*, 2014). En general, las alternativas mencionadas tienen un menor costo económico y riesgo ambiental, así como para la salud de los agricultores y consumidores (Lizazo *et al.*, 2011). A pesar de no ser consideradas un reemplazo directo del BM, el conocimiento sobre como optimizar su uso en la producción de frutilla puede incrementar significativamente el control de plagas y enfermedades, así como la productividad del cultivo (Porter *et al.*, 2004).

### *Métodos alternativos de desinfección evaluados*

*Biofumigación:* Proceso que resulta de la aplicación de criterios ecológicos en la sanidad vegetal y se fundamenta en la utilización de los gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica para la regulación de los organismos patógenos que habitan en el suelo. Adicionalmente, mejora las características del suelo y de la planta. Entre los compuestos que se generan en la descomposición se encuentran: amoníaco, nitratos, sulfuro de hidrógeno, ácidos orgánicos, sustancias orgánicas volátiles, enzimas y fenoles. A diferencia de su uso como enmienda, el material orgánico utilizado para este proceso debe encontrarse en vías de descomposición. Adicionalmente, la forma de aplicación debe favorecer esa descomposición (por el ejemplo, mediante la trituración de los tejidos vegetales a incorporar) y la retención de los gases resultantes. La magnitud del efecto de las sustancias volátiles liberadas al suelo dependerá de la temperatura, los microorganismos implicados, las plantas empleadas y las características del suelo (Vilaseca *et al.*, 2006; Díez Rojo *et al.*, 2010).

*Solarización:* Captación de la radiación solar con el objetivo de aumentar la temperatura del suelo mullido, previamente humedecido y cubierto por una lámina de plástico transparente, y lograr la reducción de organismos patógenos. El plástico debe sellar el suelo para permitir el paso de la radiación e impedir que escape el calor durante períodos prolongados. Teniendo en cuenta que temperaturas de 45°C, alcanzables con esta técnica y consideradas subletales para la mayoría de los patógenos, deben ser mantenidas durante largos períodos de tiempo para ser eficaces, es recomendable realizar esta práctica en la época del año con mayor radiación solar y durante períodos superiores a cuatro semanas (Pérez de los Reyes, 2007; Undurraga y Vargas, 2013).

*Biosolarización:* Combinación de los métodos Biofumigación y Solarización. Como resultado de esta sinergia, los tiempos necesarios para la solarización se reducen, mejora la disponibilidad de nutrientes del suelo, aumentan los contenidos de materia orgánica, se incrementa la actividad microbiana y se favorece la liberación de compuestos tóxicos a partir de la materia orgánica gracias a los aumentos en la temperatura (Gamliel *et al.*, 2000; Lizazo *et al.*, 2011; De los Santos *et al.*, 2017). La retención de los gases y la creación de condiciones de anaerobiosis son fenómenos clave en la biosolarización del suelo. Para una buena eficacia de este proceso y que se puedan generar efectos biocidas o biostáticos sobre organismos patógenos, es recomendable que la materia orgánica a incorporar tenga una relación C/N entre 8 y 20 (De los Santos *et al.*, 2017). Al mismo tiempo, es fundamental mantener los niveles de humedad durante el proceso para favorecer la fermentación y la producción de gases.

Los materiales a ser incorporados pueden ser sólidos o líquidos y de origen muy diverso, incluyendo abonos verdes, estiércol animal, camas de animales, compost, residuos sólidos urbanos, tortas derivadas de la extracción de aceite de semillas y otros residuos agroindustriales (Lizazo *et al.*, 2011). Muchas veces la utilización de estos productos puede, a la vez, contribuir a resolver problemas que resultan de su acumulación en el ambiente. El hecho de que las alternativas seleccionadas sean de origen local, permite reducir los gastos de energía involucrados en el transporte (Diez Rojo *et al.*, 2010) y presenta un gran valor económico y social (Torres Nieto *et al.*, 2011).

### *Biosolarización con brasicáceas*

Los desinfectantes químicos del suelo generalmente poseen efectos perjudiciales sobre los microorganismos benéficos que lo habitan (Gamliel *et al.*, 2000; De Cal *et al.*, 2005). Sin embargo, en lo que respecta a la biosolarización, el efecto sobre la actividad microbiana es selectivo: disminuye las poblaciones de fitoparásitos o fitopatógenos, favoreciendo a los saprófagos y a los organismos antagonistas (Torres Nieto *et al.*, 2011). La Biofumigación basada en el uso de plantas pertenecientes a la familia de las Brassicaceas permite obtener sustancias aleloquímicas distintas según la especie utilizada (Mattner *et al.*, 2008). Las sustancias volátiles obtenidas en mayor concentración al incorporar Brassicaceas al suelo son los Metil Isotiocianatos (MITC), estas resultan de la acción de los microorganismos del suelo sobre la materia orgánica y son similares a los gases obtenidos al utilizar los productos de síntesis química Metam Sodio o Dazomet (Diez Rojo *et al.*, 2010). Los MITC se generan por la hidrólisis de los Glucosinolatos, metabolitos secundarios localizados en las vacuolas de las células. Esta acción es catalizada por la enzima Mirosinasa, la cual se encuentra almacenada en las paredes y citoplasma celular. En su estado natural, los Glucosinolatos demuestran una actividad biológica débil, mientras que la ruptura de los tejidos de las plantas permite el encuentro con la enzima Mirosinasa y la generación de los compuestos volátiles. Es por esto que el proceso de desinfección del suelo con materia orgánica proveniente de Brassicaceas se ve favorecido por la trituración del material vegetal previamente a su incorporación (Dutta *et al.*, 2019). A pesar de que los niveles de Glucosinolatos presentes en las Brassicaceas están determinados genéticamente, los tipos y cantidades de los mismos varían según la especie, el órgano de la planta, la etapa de desarrollo y factores ambientales como el nivel de humedad del suelo, el contenido de nutrientes, la época del año y momento del día. Las especies mayormente utilizadas para este tipo de desinfección incluyen a *Brassica oleraea* (brócoli, repollitos de bruselas, repollo,

coliflor), *B. oleracea acephala*, *B. napus*, *B. rapa*, *Raphanus sativus*, *B. juncea* y *B. alba* (Fourie *et al.*, 2016).

Para lograr el efecto deseado, Lizazo *et al.* (2011) recomiendan incorporar al suelo entre 6 y 8 kg m<sup>-2</sup> de restos de plantas y procurar una distribución homogénea. Además de restos vegetales, la incorporación de Brassicaceas puede realizarse mediante pellets o harina de semillas (De los Santos *et al.*, 2017). Lodha *et al.* (1997) hacen hincapié en que mantener una elevada humedad del suelo durante el proceso de biosolarización incrementa significativamente la sensibilidad de las estructuras de resistencia de los hongos patógenos ante el efecto de las elevadas temperaturas. Adicionalmente, en ensayos de biosolarización con Brassicaceas, estos autores reportaron aumentos en poblaciones de bacterias capaces de afectar negativamente a hongos fitopatógenos como *Macrophomina phaseolina*. Numerosos autores han demostrado la eficacia de tratamientos reiterados de desinfección del suelo mediante la incorporación al suelo de restos de Brassicaceas en el control de patógenos del suelo que afectan al cultivo de frutilla (Chamorro *et al.*, 2015). En Argentina, se han realizado experiencias de desinfección del suelo con biosolarización en múltiples regiones del país y distintas épocas del año, en las cuales se utilizaron fuentes de materia orgánica diversa (estiércol de ganado, restos de cultivo de tomate y pimiento, plantas del género *Brassica*, gallinaza, sorgo, mostaza, colza, etc.) y se lograron controlar distintos agentes patógenos (Mitidieri *et al.*, 2017), incluyendo hongos de los géneros *Verticillium* sp. y *Macrophomina* sp. en el cultivo de frutilla (Gabriel, 2014). Esta práctica, además de ser considerada como una gran herramienta para el manejo sanitario del suelo, podría representar un punto de partida para emprender la transición hacia planteos ecológicos de producción de frutilla.

### *Objetivos*

General: Evaluar el efecto de la biosolarización del suelo sobre el rendimiento de fruta y sanidad de las plantas en dos cultivares de frutilla de día neutro en el VBRC.

Particulares:

- 1) Comparar el rendimiento y sanidad de un cultivo de frutilla sobre suelo con historia de cultivo de esta especie donde se realizó una biosolarización con brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) y un suelo sin historia previa de cultivo de frutilla, donde no se realizó desinfección.
- 2) Evaluar la respuesta de dos cultivares de frutilla a la biosolarización del suelo.

## Materiales y métodos

El ensayo tuvo lugar durante el ciclo 2017-2018 y se desarrolló en el marco de los proyectos del INTA: PNHFA-1106073 y BASUR-1272307. Se realizó dentro de la misma parcela cercada que el ensayo correspondiente al Capítulo I, por lo tanto, la ubicación y las características edáficas coinciden con las mencionadas anteriormente. Las precipitaciones y temperaturas medias históricas y en los años de estudio de este trabajo fueron registradas por la estación meteorológica automática de la EEA INTA Hilario Ascasubi (Tablas 8 y 9). En el caso de las temperaturas medias durante los meses de ensayo, estas se encontraron dentro de los parámetros normales para la zona. Sin embargo, a partir del mes de diciembre y durante los últimos cinco meses de ensayo las precipitaciones demostraron estar significativamente por debajo de la media histórica.

**Tabla 8.** Temperaturas máximas medias, medias históricas, mínimas medias y en los años de estudio para el sitio de ensayo (°C). En negrita los meses de ensayo.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	22,8	23,8	18,8	s/d	s/d	s/d	8,9	10,3	12,4	14,6	<b>16,7</b>	<b>20,6</b>
2018	<b>23,4</b>	<b>22,8</b>	<b>19,3</b>	<b>16,9</b>	11,6	7,9	7	9,5	13,3	14,5	17,6	21
Máxima media	29,8	28,9	25,8	21,3	17,4	13,9	13,7	16	18,6	21,9	25,3	28,3
Media histórica	22,4	21,2	18,7	15	11,2	8,1	7,5	9,3	11,7	14,7	18	20,8
Mínima media	14,4	13,7	11,8	8,1	5,2	2,5	1,6	2,5	4,6	7,5	10,4	13

**Tabla 9.** Precipitaciones históricas y en los años de estudio para el sitio de ensayo (mm). En negrita los meses de ensayo.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2017	8,7	110,7	101	70	53,6	19,5	18,5	34	42,3	32	<b>71,5</b>	<b>4,5</b>
2018	<b>15,5</b>	<b>13,9</b>	<b>30,5</b>	<b>32,5</b>	44,5	10,5	52,3	1,5	28,0	51,8	78,1	20,0
Históricas	50,6	56,9	61,5	45,4	28,8	21,9	23,1	25,8	37	44,9	43,4	50,5

### *Disposición del ensayo*

En este trabajo se comparó la performance de un cultivo de frutilla sobre dos tratamientos: un tratamiento de biosolarización (BS) con la incorporación de restos de un cultivo de brócoli de ciclo largo (*Brassica oleracea* var. *italica*), híbrido Legacy, sobre suelo que contaba con 3 años de cultivo de frutilla previo y un tratamiento testigo (T), sin historia previa del cultivo de frutilla y sin desinfección del suelo. El cultivo de brócoli utilizado para BS se inició por plantines, los cuales fueron trasplantados el 29 de septiembre de 2016, en hileras de 30 m de largo (Figura 18A). El aporte de agua y nutrientes se realizó mediante fertirriego y se realizaron 3 cosechas de las inflorescencias de este cultivo, los días 16, 20 y 26 de diciembre de 2016. El 3 de enero de 2017 se tomaron muestras de material vegetal a incorporar, correspondiente a hojas y tallos de brócoli, para poder estimar la cantidad de materia fresca (MF) próxima a agregar al suelo. Finalmente, se incorporaron 6 kg m<sup>-2</sup> de MF, dosis que se encuentra entre las recomendadas por Lizazo *et al.* (2011). El 5 de enero de 2017 se trituró e incorporó al suelo este material vegetal. Posteriormente se regó y cubrió el suelo con PE transparente de 100 µm de espesor y se lo dejó actuar durante 30 días (Figura 18B), tiempo durante el cual las temperaturas del suelo a 20 cm de profundidad superaron los 40 °C. En el caso de la preparación del tratamiento T, se eliminó la vegetación espontánea mediante la aplicación de herbicida (Glifosato) y luego se realizó la remoción del suelo con cincel y rastra. Tanto BS como T contaron con una cinta de goteo Streamline 16080 de la marca Netafim, de 16 mm de sección y 200 µm de espesor, con emisores de caudal nominal de 1,1 L h<sup>-1</sup> espaciados a 20 cm entre sí. La cinta se dispuso en el centro de cada camellón y a través de la misma también se realizó la fertilización. Los camellones se cubrieron con PE bicolor, negro en su cara interior y blanco en la exterior, de 50 µm de espesor. El 10 de abril de 2017 se realizó el trasplante del cultivo de frutilla. El material vegetal utilizado consistió en plantines frigo de dos cultivares de día neutro, San Andreas (Sa) y Cabrillo (Ca), adquiridos en un vivero situado en la provincia de Neuquén. Previamente, las plantas se acondicionaron y sumergieron en 30 g de fungicida Fitch (Metalaxil y Mancozeb) en 10 L de agua durante 10 minutos. Luego se dispusieron sobre los camellones en tresbolillo a 30 cm entre plantas.



**Figura 18.** A. Cultivo de brócoli. B. Tratamiento de biosolarización.

La cosecha de frutilla comenzó en noviembre de 2017 y finalizó en marzo de 2018. Durante ese período se realizaron 11 cosechas en noviembre, 9 en diciembre, 13 en enero, 11 en febrero, 10 en marzo y 5 en abril. La metodología para la *cosecha de fruta y evaluaciones en el laboratorio y el muestreo y análisis de plantas* fue igual a la descrita en el Capítulo I.

Debido a la presencia de insectos tisanópteros (trips) observados causando daño en la fruta, desde mediados de diciembre de 2017 hasta fines de febrero de 2018 se dispusieron en el ensayo cuatro trampas pegajosas (dos amarillas y dos azules) para monitorear la presencia de estos individuos, así como lograr su identificación (Figura 19). Cada trampa fue retirada de manera semanal para su evaluación en el Laboratorio de Entomología de la EEA INTA Hilario Ascasubi y luego reemplazada por una nueva en la parcela de ensayo.



**Figura 19.** Trampa pegajosa amarilla.

### *Análisis estadístico*

Cada tratamiento contó con 4 repeticiones por cultivar, de 20 plantas cada una. Las diferencias en cuanto a la mortandad de plantas, producción comercial, fruta chica y fruta de descarte se evaluaron mediante un ANAVA de dos factores (tratamiento y cultivar). En todos los casos se evaluó la interacción de los factores y, al no existir, no hubo necesidad de separarlos para su comparación. En el caso en que el ANAVA no fuera significativo ( $p > 0,05$ ) no se realizó la comparación de medias. Para la comparación de medias se utilizó el test de Diferencias Mínimas Significativas de Fisher. El software utilizado para el análisis de los datos fue InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

## Resultados y discusión

### *Estado sanitario de las plantas*

A partir del análisis en laboratorio de las plantas afectadas, se identificaron los hongos *Verticillium* spp. y *Phomopsis* spp. en corona y *Gnomonia comari* y *Phomopsis* spp. en hoja. En este ensayo también se detectó la presencia de *Colletotrichum* spp. y *Botrytis* spp. en fruto, sin embargo, la incidencia de estas enfermedades fue menor a la observada en el ensayo correspondiente al Capítulo I. Respecto a la presencia de plagas animales, se detectaron pulgones del género *Aphis* en focos localizados, que no debieron ser controlados por no generar daños de importancia sobre el cultivo. Se

identificó la presencia de las especies *Frankliniella occidentalis* y *Thrips tabaci* causando daños en la fruta (Figura 20) y afectando su calidad. Estas especies han sido previamente reportadas por Dughetti *et al.* (2014b) en el VBRC como plaga primaria del cultivo de cebolla. El daño, provocado por larvas y adultos, le confiere a la fruta un aspecto opaco y áspero, color bronce o plata, los aquenios del ápice tienden a caerse y el fruto a deformarse (Lefebvre *et al.*, 2013). Tanto la baja incidencia de enfermedades fúngicas de fruto observada en este ensayo, como la presencia de Trips, podrían estar relacionadas a las bajas precipitaciones ocurridas en este ciclo productivo respecto a la media histórica (Tabla 9).



**Figura 20.** Frutilla del ensayo con daño provocado por Trips (círculo).

#### *Mortandad de plantas y producción de fruta*

La mortandad total de plantas obtenida en este ensayo fue de alrededor del 20%, sin diferencias significativas entre cultivares o tratamientos. Este valor es muy superior al obtenido en el primer año del ensayo correspondiente al capítulo I, lo que podría estar relacionado a que se trató de un año de muy bajas precipitaciones respecto a la media (Tabla 9) y que esto pudo generar estrés en las plantas y las condiciones ambientales predisponentes para el ataque de patógenos (Maas, 2004). En cuanto a la producción comercial de fruta (Pc), no hubo diferencias entre el tratamiento de desinfección de suelo con biosolarización (BS) y el tratamiento sin desinfección del suelo que no había tenido frutilla previamente (T). A partir de esto podría deducirse que mediante la biosolarización de un suelo donde se han detectado hongos que afectan al cultivo de frutilla y donde se ha cultivado reiteradamente esta especie, se obtendrían rendimientos similares a un

sitio sin historia previa de frutilla. Sin embargo, BS obtuvo un número de frutos de descarte (D) significativamente menor a T ( $p < 0,05$ ) (Tabla 10). Esto podría deberse a mejoras en las condiciones sanitarias del cultivo o a incrementos en la fertilidad del suelo como resultado de la incorporación de materia orgánica en el tratamiento BS.

Muramoto *et al.* (2014) reportaron una tendencia hacia la reducción del número de microesclerocios de *Verticillium dahliae* en el suelo luego de la incorporación de restos de cultivo de brócoli (*B. oleracea* var. *italica*). Esto es similar a lo observado por Schneider *et al.* (2003) y Martin y Bull (2002), quienes detectaron reducciones de este hongo en el suelo y aumentos en los rendimientos de frutilla luego de rotaciones con brócoli. En base a lo mencionado anteriormente, los resultados obtenidos en este ensayo podrían deberse, en parte, a una reducción del inóculo presente en el suelo como resultado de los gases liberados en la descomposición de la materia orgánica. Autores como Carmona *et al.* (2006), Dominguez *et al.* (2014) y Chamorro *et al.* (2015) observaron mejoras significativas en la producción comercial de frutilla utilizando gallinaza en los tratamientos de biosolarización, por lo tanto, la incorporación de materia orgánica de origen animal en este tipo de desinfección en el VBRC podría potenciar los resultados obtenidos en este trabajo. Rodríguez *et al.* (2010) también concluyeron que el mejor tratamiento de biosolarización para el control de nemátodos fue el que contaba con estiércol fresco. Adicionalmente, es recomendable realizar esta práctica de manera reiterada, ya que ha demostrado tener un efecto acumulativo en el control de patógenos del suelo (Chamorro *et al.*, 2015; De los Santos *et al.*, 2017).

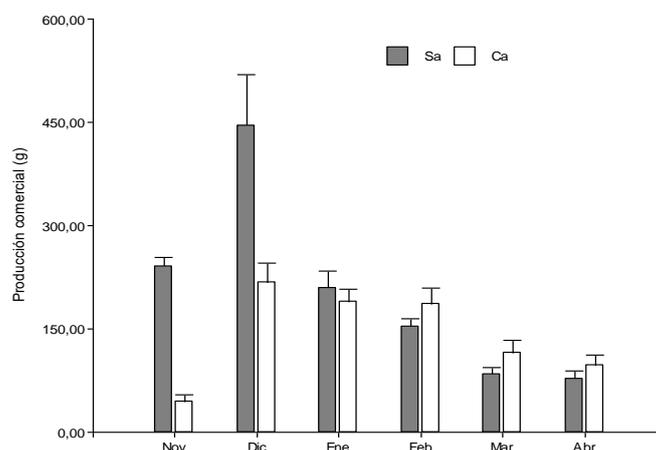
**Tabla 10.** Producción comercial, producción de fruta chica y número de frutos de descarte según cultivares y tratamientos.

	Pc (g planta <sup>-1</sup> )	Ch (g planta <sup>-1</sup> )	D (N° frutos)
Sa	1211,0 a	390,6	233,0 b
Ca	852,4 b	381,8	332,0 a
BS	989,4	405,2	257,0 b
T	1074,1	367,2	308,0 a

Pc: producción comercial, Ch: fruta chica, D: descarte de fruta, Sa: San Andreas, Ca: Cabrillo, TB: tratamiento de biosolarización, T: tratamiento sin desinfección del suelo. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

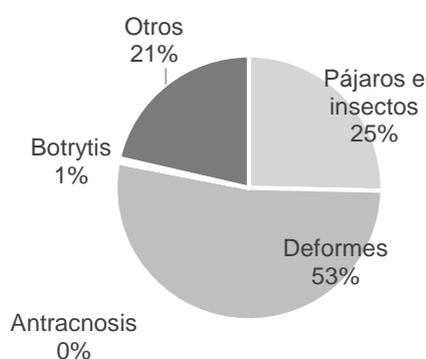
En lo que respecta a los cultivares, San Andreas (Sa) fue superior a Cabrillo (Ca) en la Pc y tuvo un D significativamente menor ( $p < 0,05$ ). En cuanto a la producción de fruta chica, no hubo diferencias entre cultivares o tratamientos (Tabla 10). Se observó un pico

de Pc de fruta por parte de Sa en noviembre y diciembre, meses en los cuales superó a Ca significativamente ( $p < 0,05$ ). Posteriormente, se produjo una reducción de los rendimientos progresiva en el tiempo para ambos cultivares (Figura 21), conforme disminuyeron las temperaturas medias (Tabla 8).



**Figura 21.** Distribución mensual de la producción comercial por planta (g) para cada cultivar y su correspondiente error estándar (Sa: San Andreas, Ca: Cabrillo).

La mayor producción de Sa en los primeros meses de cosecha puede ser una ventaja en lotes comerciales donde la producción temprana de fruta es recompensada con mayores precios. Este factor debe ser tenido en cuenta en la elección de variedades para el VBRC. En lo referido al descarte de fruta, el principal motivo fue debido a la presencia de frutos deformes, seguido de daños por pájaros e insectos y en tercer lugar “otros motivos” (mayormente frutos asoleados o deshidratados). Como ya se mencionó anteriormente, el descarte de fruta por enfermedades fúngicas fue despreciable en este ensayo (Figura 22).



**Figura 22.** Motivos de descarte de fruta.

## Conclusiones

Realizando la biosolarización de un suelo con historia previa de cultivo de frutilla y presencia de hongos fitopatógenos se podría obtener una producción comercial similar a la de un suelo que no contó con el cultivo de esta especie previamente. Además, la biosolarización podría aportar a una mayor calidad del fruto cosechado, mediante la disminución del descarte de fruta. Esto podría deberse a mejoras en la fertilidad del suelo, lo que amerita mayor investigación.

En cuanto a los cultivares, San Andreas demostró un mejor comportamiento productivo respecto Cabrillo en la zona del VBRC: mayor rendimiento total en todo el ciclo y un mayor rendimiento en las primeras fechas de cosecha. Sin embargo, al contar con un único año de evaluaciones, sería necesario repetir el ensayo durante otras campañas para poder concluir acerca de estas diferencias.

## CONSIDERACIONES FINALES

Los estudios realizados permitieron ampliar el conocimiento sobre el desempeño productivo del cultivo de frutilla de día neutro en el VBRC. Si bien esta región presenta aptitud para poder desarrollar esta actividad, frente a la presencia de hongos patógenos del suelo que afectan a esta especie surgen problemas en la sobrevivencia de plantas y la producción comercial de fruta, para lo que es necesario algún método de control preventivo. Los productos evaluados para la sustitución del BM en la producción de frutilla, 1,3-Dicloropropeno+Cloropicrina y Metam Sodio, no demostraron un efecto sobre la producción de frutilla en el VBRC. Sin embargo, la desinfección del suelo con métodos químicos en un cultivo bianual de frutilla tendría un importante efecto sobre la sobrevivencia de las plantas durante el segundo año.

Teniendo en cuenta las bajas posibilidades de sustentarse en el largo plazo que presentan los productos de síntesis química, sería importante estudiar otras técnicas para la disminución de la incidencia de hongos patógenos del suelo e incluirlas en un sistema de manejo integrado. La desinfección del suelo mediante biosolarización con brócoli tendría un efecto positivo en la calidad de la fruta y favorecería a la producción de frutilla en suelos con presencia de hongos patógenos. Esta técnica sería una buena opción para el control integrado de hongos fitopatógenos en el VBRC, y amerita ser estudiada en mayor profundidad, evaluar su aplicación reiterada, ajustar su manejo en diferentes tipos de suelo y comparar la incorporación al suelo de distintos tipos de materiales orgánicos disponibles en la zona.

Los cultivares San Andreas, Sweet Ann y Cabrillo serían adecuados para el VBRC ya que, durante los años evaluados, presentaron buen comportamiento productivo. De todas maneras, para poder concluir mejor acerca de este punto, sería necesario realizar estudios más profundos en cuanto a las diferencias entre cultivares y recopilar información en un mayor número de ciclos productivos, con condiciones climáticas contrastantes. En cuanto al manejo del cultivo, teniendo en cuenta los mejores rendimientos y estabilidad temporal de la producción obtenidos en el primer año y la precocidad en la producción de fruta observada en el segundo año, la combinación de plantas de frutilla de distintas edades en el mismo lote podría resultar interesante para obtener buenos rendimientos, extender el período de cosecha y reducir los costos de implantación del cultivo. Sería interesante evaluar esta propuesta en condiciones comerciales para poder determinar su viabilidad y ajustar su manejo.

## BIBLIOGRAFÍA

Adlercreutz E. 2005. Cultivos anuales y bianuales de frutilla en el sudeste de la provincia de Buenos Aires: modificaciones en los parámetros de crecimiento. Tesis de Maestría en Cultivos Intensivos. Universidad Nacional del Litoral. Argentina. 64 pp.

Adlercreutz E. 2007. El cultivo de Frutilla. Revista Visión Rural (69). 48-50.

Adlercreutz E. 2008. Análisis económico del cultivo de frutilla en el Cinturón Hortícola de Mar del Plata. Revista Visión Rural (73). 38-39.

Adlercreutz E, Szczesny A. 2010. Evaluación de tratamientos alternativos al Bromuro de Metilo realizados en el mismo período productivo en el cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) por el Proyecto Tierra Sana en el Cinturón Hortícola de Mar del Plata. Actas del XXXIII Congreso Argentino de Horticultura. Rosario, Argentina.

Adlercreutz E, Szczesny. 2008. Tratamientos de suelo alternativos al Bromuro de Metilo en el cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) realizadas por el Proyecto Tierra Sana en el Cinturón Hortícola de Mar del Plata. Actas del XXXI Congreso Argentino de Horticultura. Mar del Plata, Argentina.

Agrios, GN. 1995. Fitopatología. Ed. Limusa. México. 838 pp.

Ajwa HA, Klose S, Nelson S, Minuto A, Gullino M, Lamberti, F, Lopez-Aranda JM. 2003. Alternatives to Methyl bromide in Strawberry Production in the United States of America and the Mediterranean Region. *Phytopathologia Mediterranea* (42), 220-244.

Ajwa HA, Trout T, Mueller J, Wilhelm S, Nelson SD, Soppe R, Hatley D. 2002. Application of alternative fumigants through drip irrigation systems. *Phytopathology* 92 (12):1349-1355.

Bello A. 1997. La retirada del Bromuro de Metilo como fumigante. *Vida rural* (45). 70-72.

Carmona I, Martínez B, Hurtado MD, Gelo R, Bisbal L, López N, Aguirre I. 2006. Influencia de nuevas técnicas de desinfección de suelos sobre la precocidad y productividad del fresón ecológico. VII Congreso SEAE. Zaragoza, España.

Carrasco JJ; Gonzales MS, Lundstedt LJ. 2005. Alternativas al Bromuro de Metilo para la desinfección del suelo. En Manual de alternativas al Bromuro de Metilo en la desinfección de suelos en la agricultura chilena. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile.

Castagnino AM. 2009. Manual de cultivos hortícolas innovadores. Ed. Hemisferio Sur S.A. 151-161.

Chaitanya P; Joydeb G, Mokter H. 2017. Effects of planting dates and variety on growth and yield of strawberry. *International journal of Horticulture, Agriculture and Food science* (1). 1-12.

Chamorro M, Miranda L, Domínguez P, Medina JJ, Soria C, Romero F, De los Santos B. 2015. Evaluation of biosolarization for the control of charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) in strawberry. *Crop Protection*, 67, 279–286.

Conci VC, Luciani CE, Merino MC, Celli MG, Perotto MC, Torrico AK, Kirschbaum DS. 2017. Advances in characterization and epidemiology of strawberry viruses and phytoplasmas in Argentina. *Acta Horticulturae* (1156). 801–810.

CORFO (Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado). 2020. Disponible en: <https://corfo.gob.ar/mediciones/>

Correa M, Bórquez AM, Kirschbaum D. 2008. Fertilización de frutilla. En *La fertilización de cultivos y pasturas*. Buenos Aires. Ed. Hemisferio Sur S.A. 475-480.

Corti FA, Ramoa MV. 2014. Cómo se comportan las hortalizas en nuestra región. Ensayo de variedades de frutilla. *Revista voces y ecos* (31). Ediciones INTA. 39-41.

Dale A, Pritts M. 1989. Dayneutral Strawberries. Link Ministry of Agriculture, food and rural affaire, Ontario Canadá.

Daorden ME. 2007. Capítulo XIV. En *Vigliola MI, Manual de Horticultura*. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur S.A. 223-228.

Darnell R, Cantliffe D, Kirschbaum D, Chandler C. 2003. The Physiology of Flowering in Strawberry. 10.1002/9780470650851.ch6.

De Cal A, Martínez-Treceño A, Salto T, López-Aranda JM, Melgarejo P. 2005. Effect of chemical fumigation on soil fungal communities in Spanish strawberry nurseries. *Applied Soil Ecology* 28 (1). 47–56.

De los Santos B, Enamorado L, Medina-M'inguez J, Chamorro M, Aguado A, Aparicio L, Gómez-Mora JA, Romero F, López-Aranda J. 2017. Efecto de la biosolarización sobre hongos patógenos de suelo en el cultivo de fresa. En *Control biológico de enfermedades vegetales*. Ed. Phytoma España, SL. 149-156.

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Diez Rojo MA, López Pérez JA, Urbano Terrón P, Bello Pérez A. 2010. Biodesinfección de suelos y manejo agronómico. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España. Disponible en: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/89-099.htm>.

Dominguez P, Enamorado L, Soria C, De los Santos B, Chamorro M, Romero F, Daugovish O, Lopez-Aranda JM, Medina-Minguez Juan. 2014. Soil biosolarization for sustainable strawberry production. *Agronomy for Sustainable Development* (34). 821-829.

Dughetti AC, Kirschbaum DS, Conci VC. 2017. Especies de virus y pulgones encontrados en cultivos de frutilla en Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* (43). 36-50. INTA.

Dughetti AC, Luis S, Varela P, Zárate AO. 2014b. Estudio de la densidad de trips bajo distintas formas de manejo de un cultivo de cebolla en el área de riego del Valle Inferior del Río Colorado, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Horticultura Argentina* 33 (80). 7-14.

Dughetti AC, Mairosser A, Sánchez Angonova PA, Zárate AO. 2014. Fluctuación de la población de los áfidos que atacan a la frutilla y registro de sus enemigos naturales en el valle bonaerense del Río Colorado. *Actas del XXXVII Congreso Argentino de Horticultura*. Mendoza, Argentina.

Duniway JM. 2002. Status of Chemical Alternatives to Methyl Bromide for Pre-Plant Fumigation of Soil. *Phytopathology* 92 (12). 1337–1343.

Dutta TK, Khan MR, Phani V. 2019. Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: Current status and future prospects. *Current Plant Biology* (17), 17-32.

Edger PP, Poorten TJ, VanBuren R, Hardigan MA, Colle M, McKain MR, Smith RD, Teresi SJ, Nelson ADL, Wai CM, Alger EI, Bird KA, Yocca AE, Pumphlin N, Ou S, Ben-Zvi G, Brodt A, Baruch K, Swale T, Shiue L, Acharya CB, Cole GS, Mower JP, Childs KL, Jiang N, Lyons E, Freeling M, Puzey JR, Knapp SJ. 2019. Origin and evolution of the octoploid strawberry genome. *Nature Genetics* (51). 541-547.

EPA (Environmental Protection Agency United States). Disponible en: <https://www.epa.gov/ozone-layer-protection/health-and-environmental-effects-ozone-layer-depletion>

FAOSTAT. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>

Fourie H, Ahuja P, Lammers J, Daneel M. 2016. Brassicacea-based management strategies as an alternative to combat nematode pests: A synopsis. *Crop Protection* (80), 21–41.

Gabriel EL. 2014. Evaluación de la biosolarización como alternativa para saneamiento de suelos en viveros de frutilla. *Actas del XXXVII Congreso Argentino de Horticultura*. Mendoza, Argentina.

Gamliel A, Austerweil M, Kritzman G. 2000. Non-chemical approach to soilborne pest management - Organic amendments. *Crop Protection* (19). 847-853.

Gliessman S, Cochran J. 2016. Strawberry fields forever: a farmer-reasercher partnership. *Farming matters* (32.1). 10-13. ILEIA. Disponible en: <http://www.fao.org/agroecology/database/detail/es/c/470663/>

Gliessman S, Werner M, Swezey S, Caswell E, Cochran J, Rosado-May F. 1996. Conversion to organic strawberry management changes ecological processes. *Calif Agr* 50 (1). 24-31.

Guan W. 2016. Evaluation of Strawberry Varieties for High Tunnel Production. Issue 617. Purdue University. Disponible en: <https://vegcropshotline.org/article/evaluation-of-strawberry-varieties-for-high-tunnel-production/>

Hancock JF, Sjulín TM, Lobos GA. 2008. Strawberries. En *Temperate fruit crop breeding: Germplasm to genomics*. Ed. Springer. 393-438.

Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, Lorito, M. 2004. Trichoderma species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1). 43–56.

Iurman D. 2018. Sector hortícola. Valle Bonaerense del Río Colorado. XXI Seminario de Cebolla del Mercosur. Hilario Ascasubi, Buenos Aires, Argentina.

Iurman D, Marinissen J, Castoldi F, Larreguy V, Perlo A, Agamennoni R, Pérez Pizarro J, García D, Mosciaro M, Tosi JC. 2009. Sistemas agropecuarios representativos de Villarino y Patagones. Análisis y propuestas. INTA Hilario Ascasubi. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/sistemas-agropecuarios-representativos-de-villarino-y-patagones>

Khalil S, Svensson B. 2017. Biological control of root pathogens in strawberry cultivation in tunnel. *Acta Horticulturae* (1156). 811–816.

Kirschbaum D, Adlercreutz E, Gariglio N. 2017. Growth and production patterns of strawberries grown in the Atlantic coast of Argentina. *Acta Horticulturae* (1156). 941-946.

Kirschbaum D, Jerez E, Salazar S, Borquez AM, Meneguzzi N, Agüero J, Conci V, Conci L, Salame TP, Santos BM. 2014. Causes of non-marketable fruit production throughout the strawberry harvest season in subtropical environments. *Acta horticulturae* (1049). 887-892.

Kirschbaum D, Larson K, Weinbaum S, Dejong T. 2010. Relationships of Carbohydrate and Nitrogen Content with Strawberry Transplant Vigor and Fruiting Pattern in Annual Production Systems. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* (4). 98-103.

Kirschbaum D, Vicente CE, Cano-Torres MA, Gambardella M, Veizaga-Pinto FK, Antunes LEC. 2017b. Strawberry in South America: from the Caribbean to Patagonia. *Acta Hortic.* (1156). 947-956.

Kirschbaum DS, Hancock JF. 2000. The strawberry industry in South America. *ASHS Hortscience* (35). 807-811.

Kirschbaum DS, Sordo MH, Adlercreutz E, Delmazzo PR, Cuellas MV, Lochbaum T, Caminiti A, Miserendino E, Escalier C, Choque L. 2019. Frutilla. *Boletín de frutas y hortalizas* N° 99. Corporación del Mercado Central de Buenos Aires.

Lavín AA, Maureira CM. 2002. Frutales menores. La frutilla nativa y su cultivo. *Revista Tierra adentro* N° 47. Biblioteca digital INIA. 16-19.

Lefebvre MG, Reguilón C, Kirschbaum D. 2013. Evaluación del efecto de la liberación de *Orius insidiosus* (Hemiptera: anthocoridae), como agente de control biológico de trips en el cultivo de frutilla. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 39, núm. 3. pp. 273-280. INTA.

Lizazo IC, Diez Rojo MA, López Pérez JA, Díaz Viruliche L, Bello Pérez A. 2011. *Biodesinfección de suelos en producción ecológica*. 1° ed. Dossier Sociedad Española de Agricultura Ecológica.

Lodha S, Sharma SK, Aggarwal RK. 1997. Solarization and natural heating of irrigated soil amended with cruciferous residues for improved control of *Macrophomina phaseolina*. *Plant Pathology* 46(2), 186–190.

López-Aranda, JM. 2014. Methyl Bromide alternatives (chemical and non-chemical) for strawberry cultivation in conventional áreas of production. *Acta Horticulturae* (1049). 77–88.

López-Aranda JM, Domínguez P, Miranda L, De los Santos B, Talavera M, Daugovish O, Soria C, Chamorro M, Medina J. 2016. Fumigant Use for Strawberry Production in Europe: The Current Landscape and Solutions. *International Journal of Fruit Science*. 15 pp.

López-Aranda JM, Romero F, Montes F, Medina JJ, Miranda L, De los Santos B, Vega JM, Páez JI. 2001. Alternativas viables al Bromuro de Metilo para la fresa de Huelva. *Vida Rural* (126). 34-38.

Luciani C, Celli MG, Perotto MC, Adlercreutz E, Kirschbaum D, Meneguzzi N, Soto P, Pozzi E, Conci VC. 2016. Combinación de cuatro virus en plantas de frutilla en Argentina. *Actas del XXXIX Congreso Argentino de Horticultura*. Santa Fe, Argentina.

Maas JL. 2004. Strawberry disease management. En *Diseases of Fruits and Vegetables: Volume II*. Ed. Springer. 441-483.

MacInnis G, Forrest JRK. 2020. Field design can affect cross-pollination and crop yield in strawberry (*Fragaria x ananassa* D.). *Agriculture, Ecosystems y Environment* (289). 8 pp.

Mairosser A. 2013. Ensayo de variedades de frutilla en el Valle Bonaerense del Río Colorado. Campaña 2012-2013. EEA INTA Hilario Ascasubi. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/frutilla-en-el-valle-bonaerense-del-rio-colorado>

Mairosser A, Muscolino C, Varela P, Zazzetta M, Bellacomo C, Caracotche V, Orden L, García F, Kiehr M, Rodríguez R, Adlercreutz E. 2016. Rendimiento comercial de dos variedades de frutilla en suelos con diferentes tratamientos en el Valle Bonaerense del Río Colorado. *Actas del XXXIX Congreso Argentino de Horticultura*. Santa Fe, Argentina.

Mairosser A, Zazzetta M, Varela P. 2018. Manual sobre manejo del cultivo de frutilla en el Valle Bonaerense del Río Colorado. *Boletín de divulgación* (28). Ediciones INTA. 53 pp.

Maroto JV. 2002. Hortalizas aprovechables por sus frutos. En *Horticultura herbácea especial*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 579-614.

Martin FN, Bull, CT. 2002. Biological Approaches for Control of Root Pathogens of Strawberry. *Phytopathology* 92(12). 1356–1362.

Mattner SW, Porter IJ, Gounder RK, Shanks AL, Wren DJ, Allen D. 2008. Factors that impact on the ability of biofumigants to suppress fungal pathogens and weeds of strawberry. *Crop Protection* 27(8). 1165-1173.

McLeod C, Aguila K. 2019. Principales síntomas de deficiencias nutricionales en el cultivo de frutillas. Reporte técnico informativo N° 92. INIA.

Ministerio de Agroindustria. 2012. Protocolo de calidad para frutilla fresca y congelada.

Miserendino E, Kirschbaum D, Portela J. 2009. Evaluation of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) Runner Plants Production in Tierra del Fuego (54°48'57"S) and Transplant Yield Performance in Subtropical Areas of Argentina. *Acta horticulturae* (842). 695-698.

Mitidieri MS, Peralta R, Barbieri MO, Brambilla MV, Piris EB, Sasia F, Obregon VG, Vasquez PA, Iriarte LB, Reybet GE, Baron C. 2017. Biofumigation experiences in Argentina. Harper Adams University. Centre for Integrated Pest Management. International Biofumigation Network. Disponible en: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/4043>

Muramoto J, Gliessman S, Koike S, Shennan C, Bull C, Klonsky K, Swezey S. 2014. Integrated Biological and Cultural Practices Can Reduce Crop Rotation Period of Organic Strawberries. *Agroecology and Sustainable Food Systems* (38). 603-631.

Olivo VI, Rodríguez CA, Coscarón MC, Corronca JA. 2015. Presencia de *Orius insidiosus* Say (Hemiptera, Anthocoridae) en cultivos hortícolas minifundistas del Valle de Lerma, Salta, Argentina. *Rev. Fac. Agron.* Vol 114 (1). 82-90.

Orde KM, Sideman R. 2021. Winter Survival and Second-year Spring Yields of Day-neutral Strawberry Are Influenced by Cultivar and the Presence of Low Tunnels. *HortTechnology hortte*, 31(1), 77-88.

Pérez de los Reyes C. 2007. Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, España. Torres Nieto et al., 2011

Pizano M. 2014. Eliminación del Bromuro de Metilo en países en vías de desarrollo. Una historia de éxito y sus retos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. ISBN: 978-92-807-3398-3.

Porrás M, Barrau C, Romero F. 2007. Effects of soil solarization and *Trichoderma* on strawberry production. *Crop Protection*, 26(5), 782–787.

Porter I, Mattner R, Gounder R, Mann R, Banks J, Fraser P. 2004. Strawberry fruit production: summaries of alternatives to methyl bromide. Fumigation and trials in different geographic regions. En Proceedings of international conference on alternatives to Methyl Bromide. Lisboa, Portugal. 27-30.

Reguilón C, Correa M, Yapur A, Kirschbaum DS. 2014. Evaluación del efecto de la liberación de *Chrysoperla externa* y *C. argentina* (Neuroptera: Chrysopidae) como agentes de control biológico de trips en cultivo de frutilla en Tucumán. Actas del XXXVII Congreso Argentino de Horticultura. Mendoza, Argentina.

Rodríguez JP, Hompanera MR. 1992. Manual de producción de semillas hortícolas. Producción de plantines para la multiplicación de frutillas. Ediciones INTA. 38 pp. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/manual-de-produccion-de-semillas-hortícolas-produccion-de-plantines-para-la-multiplicacion-de-frutillas>

Rodríguez RA, Ayastuy ME, Miglierina AM, Lobartini JC. 2010. Control de nematodos fitoparásitos mediante métodos orgánicos en el sur bonaerense. Actas del XXXIII Congreso Argentino de Horticultura. Rosario, Argentina.

Sabogal N. 1998. El Protocolo de Montreal, un modelo de concertación para la protección de la capa de ozono. Relaciones Internacionales (7.14). Recuperado a partir de <https://revistas.unlp.edu.ar/RRII-IRI/article/view/1787>

Sánchez R, Pezzola A, Cepeda J. 1998. Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA EEA Hilario Ascasubi. Boletín de divulgación N° 18. EEA INTA Hilario Ascasubi.

Schneider SM, Roskopf EN, Leesch JG, Chellemi DO, Bull CT, Mazzola M. 2003. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service research on alternatives to methyl bromide: pre-plant and post-harvest. Pest Management Science 59 (6-7), 814–826.

Sepúlveda P, Delano G, Correa A. 2015. Cultivo de frutilla. En una realidad sin Bromuro de Metilo en Chile. Ministerio del Medio Ambiente de Chile-ONUDI, 149. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26320/straw.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SINAVIMO (Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas). 2019. <https://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/fragaria-ananassa>

Sønsteby A, Heide OM. 2009. Long-day flowering response of everbearing strawberries. *Acta Horticulturae*, (842), 777–780. doi:10.17660/ActaHortic.2009.842.170

Torres Nieto J, Bello A, Lopez-Cepero J. 2011. La biodesinfección del suelo en el manejo de la salud del agrosistema. *AE Agricultura y Ganadería Ecológica* (6). 20-22.

Torrico A, Salazar S, Kirschbaum D, Conci V. 2018. Yield losses of asymptomatic strawberry plants infected with Strawberry mild yellow edge virus. *European Journal of Plant Pathology* (150). 983-990.

Undurraga P, Vargas S. 2013. Manual de frutilla. *Boletín INIA* (262). 12 pp.

Vilaseca J, Font M, Jordá C. 2006. Biofumigación y biosolarización en el control del tomv: una buena alternativa al bromuro de metilo. *Agroecología* (1). ISSN 1887-1941. 105-115.

Zazzetta M, Mairosser A, Kiehr M, Luciani C, Conci V. 2018. Enfermedades en el cultivo de frutilla en el Valle Bonaerense del Río Colorado. Informe INTA. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/enfermedades\\_frutilla\\_-\\_febrero\\_2018.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/enfermedades_frutilla_-_febrero_2018.pdf)

Zazzetta M, Mairosser A, Muscolino C, Varela P, Belacomo C, Caracotche V, Orden L, García F, Kiehr M, Rodríguez R, Adlercreutz E. 2016. Alternativas de desinfección de suelo en dos variedades de frutilla en el Valle Bonaerense del Río Colorado. *Actas del XXXIX Congreso Argentino de Horticultura*. Santa Fe, Argentina.