



Universidad de Valladolid

PROGRAMA DE DOCTORADO EN
Ciencia e Ingeniería Agroalimentaria y de Biosistemas



PROGRAMA DE DOCTORADO EN Ciencias
Agroalimentarias y Medioambiente

TESIS DOCTORAL EN RÉGIMEN DE COTUTELA INTERNACIONAL

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE *Drosophila*
suzukii MATSUMURA MEDIANTE EL USO DE
MICROENCAPSULADOS EN UN HUERTO DE CEREZOS DE LA
REGIÓN DE LA ARAUCANÍA, CHILE.**

Presentada por:
Marcelo Gonzalo Lizama Vera

Para optar al grado de:

Doctor por la
Universidad de Valladolid (España)
Y

Doctor por la
Universidad de La Frontera (Chile)

Dirigida por:

Fernando Manuel Alves Santos (Universidad de Valladolid)
Leonardo Javier Bardehle Parra (Universidad de La Frontera)

Fecha 06 Febrero 2025

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE *Drosophila suzukii*
MATSUMURA MEDIANTE EL USO DE MICROENCAPSULADOS EN UN HUERTO
DE CEREZOS DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA, CHILE.**

Esta tesis fue realizada en cotutela bajo la supervisión del Dr. Leonardo Javier Bardehle Parra, Departamento Producción Agropecuaria Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente, Universidad de La Frontera, Temuco-Chile y Dr. Fernando Manuel Alves Santos, Escuela de Universidad de Valladolid Doctorado (ESDUVa), Doctorado en Ciencia e Ingeniería Agroalimentaria y de Biosistemas, Departamento Producción Vegetal y Recursos Forestales, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Campus “La Yutera” Palencia-España.

Ha sido aprobada por los miembros de la comisión examinadora.

MARCELO GONZALO LIZAMA VERA

.....
Dr. Néstor Sepúlveda Becker
DIRECTOR DEL PROGRAMA DE
CIENCIAS AGROALIMENTARIAS Y
MEDIO AMBIENTE

.....
Dr. Luis Salazar Navarrete
DIRECTOR ACADEMICO DE
POSTGRADO
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

.....
Dr. Luis Manuel Navas Gracia
Vocal del Tribunal (Titular)
COORDINADOR DEL PROGRAMA DE
DOCTORADO EN CIENCIA E
INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y
DE BIOSISTEMAS
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

.....
Dr. Leonardo Bardehle Parra
Presidente (Titular)
PROFESOR GUÍA-UFRO
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

.....

Dr. Fernando Alves Santos

Secretario (Titular)

**PROFESOR GUÍA UVA
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN
VEGETAL Y RECURSOS
FORESTALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

.....

Dra. Olga Rubilar Araneda

Vocal del Tribunal (Titular)

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**

.....

Dra. Walesca Vera Quezada

Vocal del Tribunal (Suplente)

**FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO**

.....

Dr. Andrés Quiroz Cortez

Vocal del Tribunal (Titular)

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS
QUÍMICAS Y RECURSOS
NATURALES
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**

.....

Dra. Soraya Rodríguez Rojo

Vocal del Tribunal (Suplente)

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Dedicada a mi amado Renato

Agradecido de la vida por tener el honor de ser tu padre, las decisiones que he tomado en los últimos años han sido exclusivamente pensando en nuestro bienestar y jamás renunciando a nuestro tiempo de calidad, sobre todo en tus primeros años, donde me he esforzado de estar presente en cada uno de tus pasos.

En los momentos más oscuros, fuiste mi faro para retomar mi ruta y llegar a puerto seguro. Este logro nos pertenece a ambos y es la prueba a lo que te digo constantemente “siempre se puede comenzar de nuevo”. Fuiste y eres una inspiración para mí cada día, logras sacar siempre la mejor versión de mi persona.

Te amo y agradezco cada momento en que estamos juntos y seguiremos así caminando hacia adelante tomados de la mano y pensando en algún nuevo desafío por mas loco que sea.

Gracias por tanto Renato Lizama Rebolledo.

AGRADECIMIENTOS

A cada una de las personas que han estado a mi lado en esta travesía colaborando con su aporte en conocimientos o calidad humana les brindo mis más sinceros agradecimientos, nada de esto habría sido posible sin Uds.

Primero que todo a mi padre y a Anita, que sin su apoyo constante no habría sido posible realizar mis estudios, a mis profesores guías, Dr. Leonardo Bardehle y Dr. Fernando Manuel Alves Santos, su apoyo y aportes en distintos momentos de este doctorado han sido cruciales para llegar a este punto. El Dr. Alves fue importantísimo guiándome en los primeros pasos relacionados con la búsqueda de información, mientras realizaba mi pasantía, me brindó un espacio acogedor dentro de su laboratorio durante mi pasantía y preocupado de mi bienestar durante un periodo complicado a nivel global en el que estuve confinado en un piso en Palencia-España. Le estoy agradecido al Dr. Bardehle por su constante aporte y dirección durante todo este trayecto, sus consejos oportunos siempre me ayudaron a tomar la mejor decisión de las cuales muchas de ellas no fueron fáciles.

Dr. Ramos Rebolledo Ranz, Dr. Andrés Quiroz Cortez y Dra. Olga Rubilar por su generosidad al brindarme espacios de trabajo dentro de sus laboratorios, sus consejos y orientación o facilitando equipos para la realización de actividades en condiciones controladas, al Dr. Julio Diez Casero quien siempre aportó en los distintos avances desde un punto de vista distinto.

Agradecido a la Dra. Berta Schnettler quien me instó a aplicar para la Beca ERASMUS, con la que fue posible realizar mi pasantía en la ciudad de Palencia-España y como consecuencia lograr un trabajo colaborativo entre la Universidad de Valladolid y la

Universidad de La Frontera, realizando esta tesis en cotutela y doble grado académico.

Agradecer a los Programas de Doctorado Ciencias Agroalimentarias y Medioambiente y al Doctorado de Ciencia e Ingeniería Agroalimentaria y de Biosistemas, con mención especial al Dr. Luis Manuel Navas como Tutor académico en la Universidad de Valladolid

Mi reconocimiento se extiende también a académicos que he logrado conocer en otras facetas que no son la docencia, que en primera instancia me brindaron su consejo y posteriormente su amistad.

No puedo terminar sin agradecer a mis compañeros de generación Laura y Rolord, quienes siempre recordaré con un gran cariño.

TABLA DE CONTENIDOS

Capítulo	Pág.
	AGRADECIMIENTOS..... 4
	RESUMEN DEL PROYECTO ORIGINAL..... 14
I	INTRODUCCIÓN 16
1.1	Introducción..... 16
1.2	Antecedentes y situación del problema..... 18
1.2.1	Antecedentes Generales de la mosca de las alas manchadas (<i>Drosophila suzukii</i>)..... 18
1.2.2	Situación Frutícola en Chile..... 20
1.2.3	Situación del cerezo en Chile..... 21
1.2.4	Problemas Fitosanitarios del cerezo en Chile..... 23
1.2.5	Género <i>Drosophila</i> 26
1.2.6	<i>Drosophila suzukii</i> (Matsumura)..... 29
1.2.7	Descripción y reconocimiento de la plaga..... 31
1.2.8	Presencia y distribución de <i>D. suzukii</i> en Chile. 34
1.2.9	Ciclo de vida de <i>Drosophila suzukii</i> 35
1.2.10	Condiciones ambientales favorables para su desarrollo..... 36
1.2.11	Principales hospederos..... 37
1.2.12	Daños por DS e importancia económica en el cerezo..... 39
1.2.13	Situación actual del cerezo en la Región de La Araucanía..... 41
1.2.14	Avances en Chile para enfrentar a <i>D. suzukii</i> 42
1.2.15	Uso de microencapsulados para el control de plagas..... 44
1.3	Planteamiento del Problema..... 46

II	OBJETIVOS	48
2.1	HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	48
2.2	OBJETIVO GENERAL.....	48
2.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	48
III	METODOLOGÍAS	49
3.1	Metodologías.....	49
3.1.1	Descripción de cebos a utilizar.....	49
3.1.2	Bioensayos olfatométricos de Tubo-Y.....	50
3.1.3	Caracterización de trampa para DS a utilizar en campo.....	51
3.1.4	Ensayo de campo con trampas y cebos en formato líquido.....	52
3.1.5	Encapsulación preliminar de los cebos en laboratorio.....	53
3.1.6	Elaboración de microencapsulado WVM.....	56
3.1.7	Medición tasa de liberación encapsulado WVM.....	57
3.1.8	Ensayo de campo con trampas y cebo encapsulado WVM.....	58
3.1.9	Análisis Estadístico	61
IV	RESULTADOS	62
4.1	Bioensayos olfatométricos.....	62
4.2	Ensayo de campo con cebos líquidos.....	63
4.3	Tasa de liberación encapsulado WVM.....	68
4.4	Ensayos de campo con el cebo WVM encapsulado.....	69
V	DISCUSIÓN.....	81
5.1	Ensayos olfatométricos.....	81
5.2	Evaluación en campo de cebos formato líquido.....	82
5.3	Cinética de liberación.....	83

5.4	Evaluación en campo cebo WVM encapsulado.....	85
VI	CONCLUSIONES.....	88
6.1	Proyecciones futuras.....	89
VIII	INDICADOR DE RESULTADOS.....	90
7.1	Publicaciones.....	90
7.2	Otras publicaciones.....	90
7.3	Pasantías de investigación.....	90
7.4	Participación en publicaciones científicas.....	91
7.5	Participación en proyectos.....	93
7.6	Actividades de docencia y vinculación con el medio.....	93
7.7	Participación en congresos y cursos.....	95
7.8	Organización de eventos científicos.....	97
VIII	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
IX	ANEXOS.....	110
	Anexo 1.....	110
	Anexo 2.....	112
	Anexo 3.....	116
	Anexo 4.....	119
	Anexo 5.....	125
	LISTA DE TABLAS	
Tabla 1	Principales plagas presentes en cerezo.....	25
Tabla 2	Listado de hospederos de DS reportados en el mundo, presentes en la Región de La Araucanía (CIREN, 2019).....	38

Tabla 3	Formulaciones de los cebos evaluados para encapsulación.....	49
Tabla 4	Pesos iniciales de los cebos previo a su encapsulamiento y peso final cebo encapsulado.....	55
Tabla 5	Fechas de monitoreo y ejemplares capturados de DS con trampas tipo delta en el Campo Experimental Maquehue, Freire, Región de La Araucanía.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribución geográfica de <i>Drosophila suzukii</i> . Extraído de base de datos global de la Organización Europea para la Protección de las Plantas (2018).....	20
Figura 2	Cerezo. A) Árboles de cerezos sin hojas ubicados en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, región de La Araucanía. B) Árbol en estado de flor. C) Frutos inmaduros en cerezos.	23
Figura 3	Estado de huevo de las seis especies de <i>Drosophila</i> presentes en el país. Fuente: Extraído de Rojas et al. (2019).....	28
Figura 4	Estado de larva de las seis especies de <i>Drosophila</i> presentes en el país. Fuente: Extraído de Rojas et al. (2019).....	28
Figura 5	Estado de pupa de las seis especies de <i>Drosophila</i> presentes en el país. Fuente: Extraído de Rojas et al. (2019).....	29
Figura 6	<i>Drosophila suzukii</i> hembra, fotografiada de diferentes ángulos. Fuente: Elaboración propia.....	30
Figura 7	Aparato ovipositor y huevo de DS. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 8	Huevo de DS, y sus respectivos filamentos. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 9	Larvas de <i>Drosophila suzukii</i> , en sustrato de plátano, en donde se aprecia sus piezas bucales de color negro que resaltan de su cuerpo blanco lechoso. Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 10	Pupa de DS y sus respectivos espiráculos. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 11	Pupas de DS, con desarrollo interno visible. Fuente: Elaboración propia.....	33

Figura 12	Individuos de <i>Drosophila suzukii</i> estado adulto, donde se evidencia un claro dimorfismo sexual, entre hembra (izquierda) y macho (derecha). Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 13	Ciclo de vida de <i>D. suzukii</i> y sus distintos estados de desarrollo. Fuente: Extraído de Kirschbaum et al. (2018).....	36
Figura 14	Daños de <i>D. suzukii</i> en frutos de cerezo y frambueso. Extraído de Kirschbaum et al. (2018); SAG (2017). (A) Espiráculo de <i>D. suzukii</i> emergiendo del fruto, (B) Daño producido por ovipositor, (C) Colapso de fruto por infestación, (C) Hembra de <i>D. suzukii</i> sobre fruto, (D) y (E) Larvas y pupa de <i>D. suzukii</i> en interior de frutos, respectivamente.....	40
Figura 15	Ensayos de preferencia de <i>Drosophila suzukii</i> utilizando tubo-Y.....	51
Figura 16	Trampa tipo Delta para el monitoreo y captura de <i>Drosophila suzukii</i>	52
Figura 17	Distribución de las trampas para el monitoreo de DS en un huerto de cerezo. Cuadros de color amarillo indican la ubicación de una trampa.	53
Figura 18	Pesos cebo SAG II (A-B) y cebo WVM (C-D).....	55
Figura 19	(A) Formación del microencapsulado atrayente. (B) Elaboración del microencapsulado cebo control. Ambos realizados mediante el uso de una bomba peristáltica.....	56
Figura 20	Cámara ambiente controlado ubicada en el Laboratorio de Entomología Aplicada (A, B), capsulas de alginato cebo WVM (C)..	58
Figura 21	(A) Instalación de trampas tipo delta, (B) lamina adhesiva, (B-C) cebo microencapsulado y perlas alginato (control).....	60
Figura 22	Distribución de trampas tipo delta utilizando cebo WVM encapsulado para el monitoreo de DS en un huerto de cerezo, ubicado en el Campo Experimental Maquehue, Freire, Región de La Araucanía, Chile.....	61
Figura 23	Respuesta olfatométrica de hembras de <i>D. suzukii</i> hacia tres diferentes cebos atrayentes en un olfatómetro tubo en “Y”. SAG I (vinagre de sidra de manzana con alcohol etílico 95°); SAG II (azúcar, levadura, harina de trigo, vinagre de manzana y agua) y WVM (vino Merlot, vinagre de manzana, melaza de caña de	

	azúcar). Asterisco indica diferencia estadística significativa entre tratamiento y control, según prueba de Chi cuadrado (n=30).....	62
Figura 24	Promedio de individuos capturados en relación al tiempo en monitoreos realizados en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Cebos utilizados en su formato líquido, SAG I (vinagre de manzana-etanol), SAG II (harina, levadura, azúcar, vinagre, agua destilada) y cebo WVM (vino, vinagre, melaza). Las barras indican captura de insectos $\pm$ error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según test de Tukey (n=7).....	66
Figura 25	(A) Revisión de trampa tipo delta adhesiva durante el monitoreo de DS, (B) primer ejemplar DS capturada el 05 noviembre, individuo que no poseía manchas en sus alas y que luego fue corroborado en laboratorio por su genitalia.....	66
Figura 26	Promedio de individuos capturados en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Cebos en formato líquido corresponden a SAG I (vinagre de manzana-etanol), SAG II (harina, levadura, azúcar, vinagre, agua destilada) y cebo WVM (vino, vinagre, melaza). Las barras indican promedio de insectos capturados $\pm$ error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según test de Tukey.....	67
Figura 27	Promedio de individuos capturados en relación al tipo de cebo en formato líquido utilizado y tiempo en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Cebos corresponden a SAG I (vinagre de manzana-etanol), SAG II (harina, levadura, azúcar, vinagre, agua destilada) y cebo WVM (vino, vinagre, melaza). Las barras indican número de insectos capturados $\pm$ error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según la prueba de Tukey. El ordenamiento de las barras se encuentra distribuido de derecha a izquierda según la fecha de monitoreo realizado.....	68
Figura 28	Tasa de liberación del cebo WVM en cámara de ambiente controlado a temperatura y humedad promedio para la zona (21,2°C y 75%H). Se utilizaron modelamientos matemáticos Kors-Peppas por medio del log de tiempo (Log (h)) e Higuchi a través de la raíz cuadrada de tiempo ($\sqrt{h}$).....	69
Figura 29	Individuos de <i>Drosophila suzukii</i> capturados durante septiembre de 2022 en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezos	

	(Stella, Regina y Lapins), ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. La barra de color verde indica el número de capturas en el cebo atrayente (WVM), mientras que la barra de color gris muestra el número de individuos de DS capturados en el control. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).....	70
Figura 30	Captura total de individuos de <i>Drosophila suzukii</i> durante septiembre de 2022 en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).....	71
Figura 31	Individuos de <i>Drosophila suzukii</i> capturados durante octubre de 2022 en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezos (Stella, Regina y Lapins), ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. La barra de color verde indica el número de capturas en el cebo atrayente (WVM), mientras que la barra de color gris muestra el número de individuos de DS capturados en el control. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).....	72
Figura 32	Captura total de individuos de <i>Drosophila suzukii</i> durante octubre de 2022 en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).....	73
Figura 33	Individuos de <i>Drosophila suzukii</i> capturados durante noviembre de 2022 en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezos (Stella, Regina y Lapins), ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. La barra de color verde indica el número de capturas en el cebo atrayente (WVM), mientras que la barra de color gris muestra el número de individuos de DS capturados en el control. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).....	74
Figura 34	Captura total de individuos de <i>Drosophila suzukii</i> durante noviembre de 2022 en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).....	75
Figura 35	Individuos de <i>Drosophila suzukii</i> capturados durante diciembre de	

	2022 en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezos (Stella, Regina y Lapins), ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. La barra de color verde indica el número de capturas en el cebo atrayente (WVM), mientras que la barra de color gris muestra el número de individuos de DS capturados en el control. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).....	76
Figura 36	Captura total de individuos de <i>Drosophila suzukii</i> durante diciembre de 2022 en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).....	77
Figura 37	Individuos de DS capturados por mes y separados por sexo en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento sexos, según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).....	78
Figura 38	Atracción de <i>Drosophila suzukii</i> ante la presencia de trampas con cebo WVM y su control (alginato), durante los meses de monitoreo y evaluación en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía.....	79
Figura 39	Preferencia de <i>Drosophila suzuki</i> sobre el cebo atrayente WVM y su control dispuestos en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezo (Stella, Regina y Lapins) en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía.....	79
Figura 40	Cebo atrayente WVM con presencia de hongos a las tres semanas de haber sido instalados en las trampas tipo delta. Se procedió a cambiar el señuelo cada tres semanas, para evitar las pérdidas de sus características organolépticas y que estas influyan en el efecto de atracción del cebo hacia <i>Drosophila suzukii</i>	80
Figura 41	Muestras de cerezas recolectadas del Campo Experimental Maquehue. En los círculos rojos se aprecian claros signos de daño por el ovipositor de la hembra <i>Drosophila suzukii</i>	80

RESUMEN DEL PROYECTO ORIGINAL

Drosophila suzukii, (Diptera: Drosophilidae), (DS) originario de Japón (1931), es considerado una plaga que se encuentra extendida en Asia, Europa y Estados Unidos (1937-2008). En Sudamérica fue reportada en Brasil, Uruguay y Argentina entre 2013 y 2014. En Chile fue por primera vez registrada en junio de 2017 en trampas ubicadas en el paso fronterizo con Argentina, Maluil Malal, en la Región de La Araucanía. El daño del insecto se debe a que este deposita sus huevos debajo de la piel de frutos maduros o en proceso de maduración, de los cuales emerge una larva que se alimenta de la pulpa, produciendo la pérdida de turgencia de los frutos disminuyendo con ello, su valor comercial. Si bien el daño económico de la plaga en nuestro país, solo ha sido estimado en la región del Ñuble con pérdidas equivalentes a 5000 – 17550 dólares/ha, en Estados Unidos, en cultivos de frutillas, cerezas, frambuesas, arándanos y moras se han reportado pérdidas estimadas en US\$ 511 millones en 2008, lo cual se debe a la agresividad de este insecto, existiendo reportes de hasta 65 individuos emergidos por fruto. Debido a la importancia cuarentenaria de esta plaga, el monitoreo de sus poblaciones y la utilización de modelos predictivos del desarrollo poblacional son el punto de partida de cualquier programa de control. Actualmente, si bien el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) ha realizado esfuerzos para detectar su presencia, identificación y acciones a seguir; no existe un plan nacional de monitoreo temprano dentro de las labores de manejo permanentes en los huertos frutales. Considerando la importancia que tiene este insecto para la economía de un país exportador como el nuestro, es destacable que no existen estudios de la conducta y de la optimización de las trampas y sus respectivos cebos y sistemas de liberación relacionas con DS. La finalidad de este proyecto es evaluar un sistema de monitoreo mediante el uso de microencapsulados y trampas tipo delta adhesivas que permita un

control efectivo para la plaga y que pueda ser implementado a lo largo del país. Por esta razón, se propone el uso de una trampa tipo delta adhesiva, para la captura de DS, desarrollando un cebo microencapsulado atrayente de DS que posea una mejor tasa de liberación que es uno de los problemas que presentan los cebos actuales dentro del huerto. Se espera que la trampa adhesiva tipo delta y la utilización de microencapsulados sean más eficaces que los sistemas utilizados actualmente prolongando la vida útil del cebo al utilizar. Esta tecnología de empaque tendrá una mejor tasa de liberación, sin las dificultades actuales que radican en el traslado de residuos para la eliminación de los cebos líquidos cuando estos pierden su efectividad o problemas por la descomposición de las muestras, lo que dificulta un conteo con claridad o su posterior reconocimiento en laboratorio ya que los insectos se encuentran en un medio líquido. Con respecto al atrayente a utilizar, en una primera etapa se contempla trabajo dentro del laboratorio para realizar estudios de preferencia de DS y las distintas formulaciones de cebos para este fin; en donde se evaluarán dos formulaciones que son las utilizadas por el SAG (vinagre y levaduras) y otra reportada por literatura (vino, vinagre y melaza), que son asequibles en cualquier lugar y no representan daño para el ambiente ni riesgo para el operador. El cebo que presente una mejor respuesta en laboratorio a través de pruebas de preferencia, se encapsulará y se evaluará en trampas adhesivas que estarán distribuidas en terreno en ensayos de campo. El contar con este tipo de información, permitirá realizar curvas de población de DS para la zona, la cual actualmente no existe y que es fundamental para la toma de decisiones oportuna adelantándonos al ciclo de plaga y el comportamiento de ésta. Este trabajo, aportará, desde un punto de vista de nanomateriales, a la biología del insecto, a la entomología agrícola y al monitoreo de plagas.

Palabras clave: cebo, trampa, conducta olfativa, drosophila de alas manchadas.

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción.

Drosophila suzukii (Matsumura) o mosca de alas manchadas (DS), como se conoce comúnmente, es un díptero que causa graves problemas fitosanitarios a distintos frutales en el mundo, dentro de los cuales se encuentra el cerezo. El daño efectuado por este insecto radica en que la hembra luego de aparearse deposita sus huevos penetrando la piel del fruto, haciendo uso de su ovopositor aserrado y esclerosado. Los huevos eclosionan dando lugar a larvas las que se alimentan de la pulpa del fruto ocasionando el colapso y, por ende, la pérdida total de este, produciendo graves daños económicos a la producción frutícola mundial. Si bien el uso de productos fitosanitarios para el control de plagas ha sido el método más utilizado y nuestro país presenta una amplia gama de productos insecticidas aprobados para su uso, con el paso del tiempo se ha tomado cada vez más conciencia del daño que puede provocar el abuso de este método, por los efectos acumulativos que tiene para el medio ambiente, a los operarios en su trabajo de campo, incluso generando resistencia de la plaga que se necesita controlar. A nivel Europeo y lo observado y aprendido durante mi estancia en España, la situación y las políticas agrarias en cuestión fitosanitaria llevan al uso de alternativas al control químico que cada vez está más limitado, favoreciéndose las alternativas no químicas como físicas y biológicas. Varios atrayentes, como el vinagre de sidra de manzana, vino, lavaduras y sus mezclas, se han evaluado para identificar los componentes más efectivos para caracterizar la presión de plagas de DS (Jaffe et al. 2018, Kleiber et al. 2014). Dentro de esta estrategia biológica (ecología u orgánica, según en qué país se denomine), un procedimiento muy usado es el uso de cebos líquidos y trampas masivas (Baroffio et al. 2015). Sin embargo, ambos métodos tienen desventajas

debido a la necesidad de cambiar el cebo (Kirschbaum et al. 2018), dificultad para el conteo y posterior reconocimiento de los individuos por el estado en que llegan estos al laboratorio al estar inmersos en un medio líquido provocando su deterioro y la manipulación de los residuos de las trampas (Clymans et al. 2019, Del fava et al. 2017). El Servicio Agrícola y Ganadero de Chile (SAG) ha establecido zonas de detección, monitoreo y control de DS, haciendo uso de diversas alternativas abarcando desde lo cultural hasta el uso de agroquímicos, todo dentro de un marco de manejo integrado de plagas (MIP). Por todo lo anterior, toma importancia la búsqueda de nuevas alternativas de control para apoyar lo realizado por el SAG, de una manera respetuosa con el medioambiente y aplicando el uso de nuevas tecnologías. La FAO (2010) señala la importancia de nuevos estudios y aplicaciones, destacando la interacción de nanomateriales con la biología, dosis-respuesta, el ciclo de vida de un producto, es decir, métodos de aplicación que eviten la rápida pérdida y degradación de estas sustancias mejorando su eficiencia o que presenten bajas capturas por este mismo problema en su tasa de liberación (Mutis et al. 2010; Khot et al. 2012). Debido a lo anteriormente expuesto, este proyecto busca mejorar la eficiencia de captura de DS usando la microencapsulación como una forma de mejorar la eficiencia. Esta técnica implica depositar un material de recubrimiento en forma líquida sobre el material a encapsular, el cual se dispersa como pequeñas partículas (Brignone et al. 2020, Ríos et al. 2021) permitiendo evaluar un sistema de monitoreo basado en un microencapsulado utilizado como atrayente en huertos de cerezos en la región de La Araucanía, Chile.

1.2 Antecedentes y situación del problema

1.2.1 Antecedentes Generales de la mosca de las alas manchadas (*Drosophila suzukii*).

Drosophila suzukii (DS) o mosca de las alas manchadas, es un díptero, perteneciente a la familia Drosophilidae, la cual fue detectada por primera vez en Japón dañando cerezas en 1916, pero no fue hasta 1931 que Matsumura describió la especie, nombrándola como DS o mosquita del cerezo. Morfológicamente es un insecto que posee cuatro estados bien marcados como son huevo, larva, pupa y adulto con un claro dimorfismo sexual en esta etapa final (Kanzawa 1939). El primer registro de este díptero fuera de Asia fue en 1980, específicamente en Oahu, Hawaii (EE. UU.) (Dos Santos et al. 2017). Para el 2008, se registro su presencia en América del Norte y Europa. En América del Norte, se reporto en el estado de California y para el 2010, estaba invadiendo diferentes estados como Utah, Luisiana, Carolina del Norte, Carolina del Sur, Wisconsin y Michigan (Hauser et al. 2011) antes de llegar a Columbia Británica (Canadá). Posteriormente, en 2011, se detectó en el estado de Miochoacán, México (SENASICA, 2013). En Europa los primeros registros fueron en España (Cataluña) e Italia (Toscana), expandiéndose en 2012 a la península Ibérica (Dos Santos et al. 2017) y un año después en América del Sur (CABI 2016). En Sudamérica su presencia fue registrada primero en Brasil en los estados de Santa Catarina y Rio Grande (Deprá et al. 2014), Uruguay (Montevideo y en la zona rural de Empalme Maldonado) (Gonzalez et al. 2015), Argentina en el año 2014, en la localidad de Los Lobos, provincia de Buenos Aires (Lue et al. 2017, Santadino et al. 2015). En Chile, Bizama et al. 2020, reportan antecedentes interesantes sobre DS. Por primera vez se detectó en Junio de 2017 en trampas ubicadas en el paso fronterizo con Argentina, Mamuil Malal (39°34'43"S, 71°29'16"O), en la Región de La Araucanía (SAG 2017a). La presencia y

distribución geográfica de DS en el mundo se muestra en la Figura 1. El daño que esta especie genera se debe a la oviposición de los huevos debajo de la piel de frutos maduros o en proceso de maduración, de los cuales nace una larva que se alimenta de la pulpa, produciendo la pérdida de turgencia hasta el punto del colapso de éste, disminuyendo su valor comercial (Rota-Stabelli et al. 2013). En EE.UU., en cultivos de frutillas, cerezas, frambuesas, arándanos y moras se han reportado pérdidas anuales de US\$ 511 millones en 2008 (Bolda et al. 2010). En Maine (EE. UU.), proyecciones de impacto económico de DS en arándanos silvestres podrían ascender 6,8 millones USD, con una reducción del 30% de producción (Yeh et al. 2020). Esto se debe a la agresividad de este insecto, llegando a encontrarse hasta 65 adultos en solo fruto (Sorribas & Lekumberri 2013). En Chile, el único reporte sobre pérdidas económicas relacionadas con el ataque de DS indica un costo de más de 17.500 dólares/ha en la región del Ñuble (Buzzetti, 2020). Sin embargo, dado el carácter exportador del país, y la agresividad de esta plaga, es importante trabajar en prevención, considerando experiencias de otras latitudes. El SAG ha realizado esfuerzos para detectar la presencia de DS y acciones a seguir. Pese a esto, actualmente, no existe un plan nacional de monitoreo temprano dentro de las labores de manejo en los huertos frutales, ni una curva de vuelo de DS, solo es definida como una plaga cuarentenaria, es decir que posee importancia económica potencial para el área en peligro cuando aún la plaga no existe o, si existe, no está extendida y se encuentra bajo control oficial.

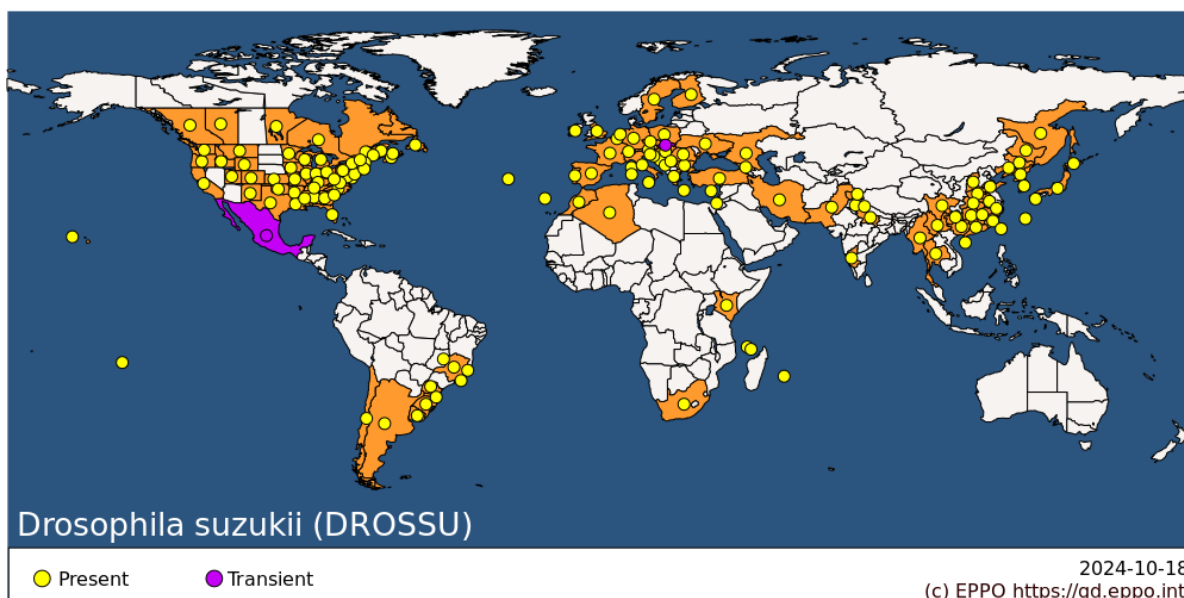


Figura 1. Distribución geográfica de *Drosophila suzukii*. Extraído de base de datos global de la Organización Europea para la Protección de las Plantas (2024).

En la actualidad esta categorizada en la lista A2 de la EPPO y su distribución es mundial (Figura1) y su rango de hospedadores es amplio lo que complica su control (EPPO, 2024).

1.2.2 Situación Frutícola en Chile.

El sector frutícola en Chile tiene un reconocimiento mundial, debido a que es el principal país productor y exportador de frutas del hemisferio sur, líder en exportación de cerezas, uvas, arándanos y nueces en el sector de frutas frescas y frutos secos (Pefaur, 2020). Reconocido además por producir más de 50 especies diferentes de frutales, siendo considerado un proveedor de categoría mundial, por su calidad y sanidad fitosanitaria.

La actividad frutícola en Chile se ha desarrollado ventajosamente debido a que en los últimos 20 años se han firmado una serie de acuerdos comerciales con diferentes países y economías del mundo. Estos han favorecido a Chile para convertirse en un excelente productor de fruta, además gracias a las condiciones edafoclimáticas que presenta el país, así

como también a las barreras geográficas con las que cuenta y que de cierto modo permiten una buena condición de sanidad vegetal.

Según cifras del Catastro Frutícola ODEPA-CIREN, la superficie plantada con frutales ha aumentado a una tasa media anual de un 3,2 % entre 1999 y 2019. Registrándose hasta la fecha 324.654 hectáreas (ha) (ODEPA, 2020).

1.2.3 Situación del cerezo en Chile.

El cerezo (*Prunus avium L.*) es una especie originaria del Sudeste de Asia. Los primeros colonizadores trajeron el cerezo a América en el 1600, sin embargo, la producción moderna de este frutal no comenzó sino hasta mediados de 1800 (Lemus, 2005). En Chile esta especie se menciona por primera vez en 1644, por el Padre Alonso de Ovalle. Según Ovalle, el primer cerezo proviene de unas estacas que un curioso trajo de España para el Perú. Esto sucedió en los primeros años del siglo XVII y desde entonces se "han propagado en toda la República desde Copiapó hasta Chiloé". Según Gay (1865), este cultivo ha experimentado hasta la fecha un enorme crecimiento en la superficie de sus plantaciones comerciales en Chile (Figura 2). La cereza es uno de los frutos de carozo más consumidos en el mundo y el sector agrícola, junto con las vides y los frutos secos. Esto se debe a que posee una gran demanda en el mercado frutícola, principalmente en países asiáticos y europeos. Países como China cada año abarcan gran parte del mercado mundial en importaciones de cerezas, esto debido a que el país no es capaz de abarcar la demanda interna de este producto asociado a la estacionalidad, puesto que la cereza está atribuida a una connotación festiva del año nuevo chino o festival de la primavera (Macaya, 2024). Una festividad que celebra el primer día del primer mes en el calendario tradicional chino, que, a diferencia del calendario occidental basado en el sol, este se basa en las fases de la luna. La cereza en este

contexto representa un regalo que se realiza entre familias y amigos, el cual simboliza prosperidad y buena fortuna (Montt et al. 2024).

La demanda de este fruto en China ha permitido abrir un mercado para muchos países productores de cereza por contra estación asegurando un poder de compra al exporta su fruta. Gran parte de las importaciones que presenta China en cerezas son debido a exportaciones chilenas. Chile al ser un país productor de cerezas por contra estación (figura 2), es capaz de solventar un importante porcentaje del mercado de cerezas, la cual se ajusta con la época en que se celebra la festividad china (Muñoz, 2015).

Chile es un país reconocido a nivel mundial por su exportación de fruta fresca por contraestación, donde la cereza representa 24,83% del total exportado. Así mismo se ha posicionado en la actualidad como el mayor productor-exportador de cerezas por contraestación del hemisferio sur del planeta (Asoex, 2024). Al 2023 se han plantado una superficie de 67570 ha, donde se resaltan las principales variedades exportadas, correspondientes a Kordia, Lapins, Santina, Regina y Bing (Asoex, 2023). En la búsqueda de mejorar las características tanto productivas como de palatabilidad se utilizan portainjertos, es decir, base de árboles pertenecientes a especies del género *Prunus*, donde la más utilizada es de guinda (*Prunus cerasus*), que le permiten conferir ciertas características al árbol de cereza como por ejemplo la resistencia a enfermedades como cáncer, agallas y virus, la precocidad que pueda aportar el portainjerto a la variedad, la mayor o menor tolerancia al recurso hídrico, entre otros. Dentro de los portainjertos más utilizados destacan Colt, Gisela 6, Maxma 14 y Gisela 12, aunque se observa un gradual recambio varietal en los últimos años (Fiore et al. 2021). La exportación de cerezas durante la temporada 2022-2023 abarcó un total de 415315 toneladas (t), la cual un importante porcentaje es destinado a

países asiáticos como China (Asoex, 2023). Países del continente asiático concentran el mayor porcentaje de cerezas exportadas en Chile con un 92% del volumen. En segundo lugar, se posiciona América del Norte (4%), tercero Europa (2%), seguido por América Latina y el Caribe (2%), finalmente Medio Oriente con participaciones inferiores al 1% en volumen (Reyes, 2022).



Figura 2. Cerezo. A) Árboles de cerezos sin hojas ubicados en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, región de La Araucanía. B) Árboles en estado de flor. C) Frutos inmaduro de cerezos.

1.2.4 Problemas Fitosanitarios del cerezo en Chile.

Al producir un alimento como la cereza, al igual que otros frutos, se ve constantemente expuesto ante distintas amenazas. Por una parte, factores abióticos como la disponibilidad de recursos hídricos, el cambio climático con olas de calor en verano o el aumento en el número de heladas en invierno, sin mencionar la baja exposición a horas frío y, por otra parte, bióticas como virus, bacterias, hongos patógenos e insectos plaga (Drogoudi et al. 2020; O'Gorman et al. 2023; Noble et al. 2023). Los insectos son organismos adaptados a distintas condiciones con el fin de alimentarse y perpetuar la especie, muchos de ellos

debido a su comportamiento frente a los humanos ya sea directo o indirecto, se han categorizado como beneficiosos o perjudiciales. A lo largo de la historia distintos insectos en la agricultura se han utilizado para facilitar la producción de alimento como los polinizadores, los cuales al obtener su alimento de las flores cumplen un objetivo secundario de dispersar el polen para completar la reproducción de las plantas (Howard et al. 2019). Por otro lado, desde el punto de vista productivo gran parte de los insectos han sido una limitante en la obtención de alimentos, los llamados insectos plaga o insectos no deseados son aquellos que se alimentan ya sea del área reproductiva o vegetativa de la planta (Wang, et al. 2021). En Chile, el cerezo comparado con otros frutales es una especie que no alberga un gran número de plagas. La literatura cita no más de 20 artrópodos fitófagos, incluyendo insectos y ácaros que atacan este cultivo (Aguilera, 2006). Sin embargo, en los últimos años ha causado gran preocupación la irrupción de un insecto en particular; vulgarmente conocido como la mosca de las alas manchadas, DS. Reportada por primera vez en Chile en Junio del 2017, se encontró en trampas establecidas por el SAG, como parte de un programa de control y monitoreo de esta plaga establecido en el 2013, dentro de la Región de La Araucanía, y es que desde entonces se han tomado medidas para controlar y frenar el avance de este díptero hacia otras regiones, no obteniendo los resultados esperados ya que hasta la fecha DS, se encuentra establecida en seis regiones de Chile, sumando sectores pertenecientes a la Región Metropolitana y sectores de la Región de Valparaíso.

Según la EPPO en 2020, la plaga en Chile se considera presente con distribución restringida (“Present, restricted distribution”) y controlada “Present: but managed (2020-03) aunque en el país vecino, Argentina, se clasifica como presente y ampliamente distribuido (“present, widespread”). A pesar de ello, el estado de control de una plaga requiere siempre de una constante vigilancia y monitoreo para mantener dicho estatus.

A continuación, en Tabla 1, se muestra un listado de las principales plagas del cerezo en Chile.

Tabla 1. Principales plagas del cerezo en Chile.

Nombre científico	Nombre común	Orden: Familia
<i>Diaspidiotus perniciosus</i>	Escama de San José	Hemiptera: Diaspididae
<i>Lepidosaphes ulmi</i>	Escama coma o morada	Hemiptera: Diaspididae
<i>Panonychus ulmi</i>	Arañita roja europea	Acari: Tetranychidae
<i>Tetranychus urticae</i>	Arañita bimaclada	Acari: Tetranychidae
<i>Drosophila suzukii</i>	Mosca de las alas manchadas	Diptera: Drosophilidae
<i>Caliroa cerasi</i>	Chape del cerezo	Hymenoptera: Tenthredinidae
<i>Frankliniella occidentalis</i>	Trips californiano	Thysanoptera: Thripidae
<i>Pseudococcus viburni</i>	Chanchito blanco de la vid	Hemiptera: Pseudococcidae
<i>Cydia molesta</i>	Polilla oriental de la fruta	Lepidoptera: Tortricidae

Fuente: Aguilera (2006).

A nivel mundial son muchas las enfermedades que afectan al cerezo (APS, recopilado por K. Uyemoto, J. M. Ogawa, and B. A. Jaffee) de tipo bacteriano: chancro (*Pseudomonas syringae* pv. *morsprunorum* (Wormald) Young et al.; *P. syringae* pv. *syringae* van Hall), agallas (*Agrobacterium tumefaciens* (Smith & Townsend) Conn); de tipo fúngico y oomiceto: *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) Keissl., *Colletotrichum prunicola* H. C. Greene, *Armillaria mellea* (Vahl:Fr.) P. Kumm., *A. bulbosa* (Barla) Watling, *A. ostoyae* (Romagn.) Hesink., *Fusicladium* sp., *Aspergillus niger* Teigh., *Penicillium expansum* Link, *Monilinia fructicola* (G. Wint.) Honey, *M. laxa* (Aderhold & Ruhland) Honey, *Blumeriella jaapii* (Rehm) Arx, *Cladosporium herbarum* (Pers.:Fr.) Link, *Cytospora leucostoma* Sacc., *Eutypa lata* (Pers.:Fr.) Tul. & C. Tul. *Botrytis cinerea* Pers.:Fr., *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de

Bary, *Tranzschelia discolor* (Fuckel) Tranzschel & Litv., *T. pruni-spinosae* (Pers.:Pers.) Dietel, varias especies de *Phytophthora*, *Podosphaera clandestina* (Wallr.:Fr.) Lev., *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.:Fr.) Vuill., *Fusarium* sp., *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani* Kühn, *Stigmina carpophila* (Lév.) Ellis, *Chondrostereum purpureum* (Pers.:Fr.) Pouzar, *Verticillium dahliae* Kleb., *Taphrina wiesneri* (Rathay) Mix y una veintena de patógenos de la madera (*Fomes*, *Ganoderma*, *Phellinus*,...), también algunos nematodos de varios generos: *Xiphinema*, *Pratylenchus*, *Criconemella*, *Meloidogyne* y varias virosis. En España, por ejemplo, dentro de esta amplia lista, destacan las especies de *Monilinia* y antracnosis (*Blumeriella jaapii*) que afectan en el campo y algunas especies que afectan frutos en conservación/almacén como *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum gloesporioides*, *Cladosporium herbarum* (Phytoma, 2024). En Chile destaca también *Monilinia* conocida como tizón de la flor y que es frecuente en muchos frutales, también se ven afectados por bacterias como *Agrobacterium tumefaciens* y *Pseudomonas syringae*, pudriciones de cuello y raíces producidas por *Phytophthora*, descomposición de madera ocasionada por *Chondrostereum purpureum* (conocida como plateado), y el hongo necrotrofo *Botrytis cinérea*.

1.2.5 Género *Drosophila*.

Perteneciente a la familia Drosophilidae, presenta más de 1500 especies divididas en 9 subgéneros, entre ellos *Drosophila* con más de 700 especies, presentando características morfológicas bastante diferentes. Es un género de moscas pequeñas cuyos miembros se conocen vulgarmente como la mosca de la fruta, o mosca del vinagre. Esto debido a que principalmente las moscas del género *Drosophila* son consumidoras de microorganismos asociados a tejidos vegetales en descomposición, por lo que en su mayoría no son

consideradas plagas en la agricultura. Sin embargo, DS, es una excepción en cuanto a sus hábitos alimentarios en comparación con otros ejemplares, ya que esta especie ataca frutos en sus últimos estados de madurez, provocando grandes pérdidas económicas en especies de frutales cultivados. Esta especie tiene la particularidad de que las hembras utilizan frutas sanas como sustrato de oviposición. Perforan la epidermis del fruto valiéndose de su poderoso ovipositor aserrado y esclerosado, para colocar los huevos en el interior del mismo. Es decir, DS no requiere de fruta sobremadura, ni previamente dañada o en descomposición. Las larvas de DS nacen dentro del fruto y se alimentan de él. Las heridas causadas favorecen el ingreso de microorganismos saprófagos, lo que genera un rápido deterioro del fruto, que luego se traduce en grandes pérdidas para los fruticultores (Funes et al. 2018). Pese a lo anterior, existen dificultades aún en el reconocimiento de estos insectos debido a que existen seis especies en el país y morfológicamente son muy similares unas de otras. A continuación, en las Figuras 3-5, se muestran las seis especies de *Drosophila* presentes en Chile, en los estados de huevo, larva y pupa, respectivamente.

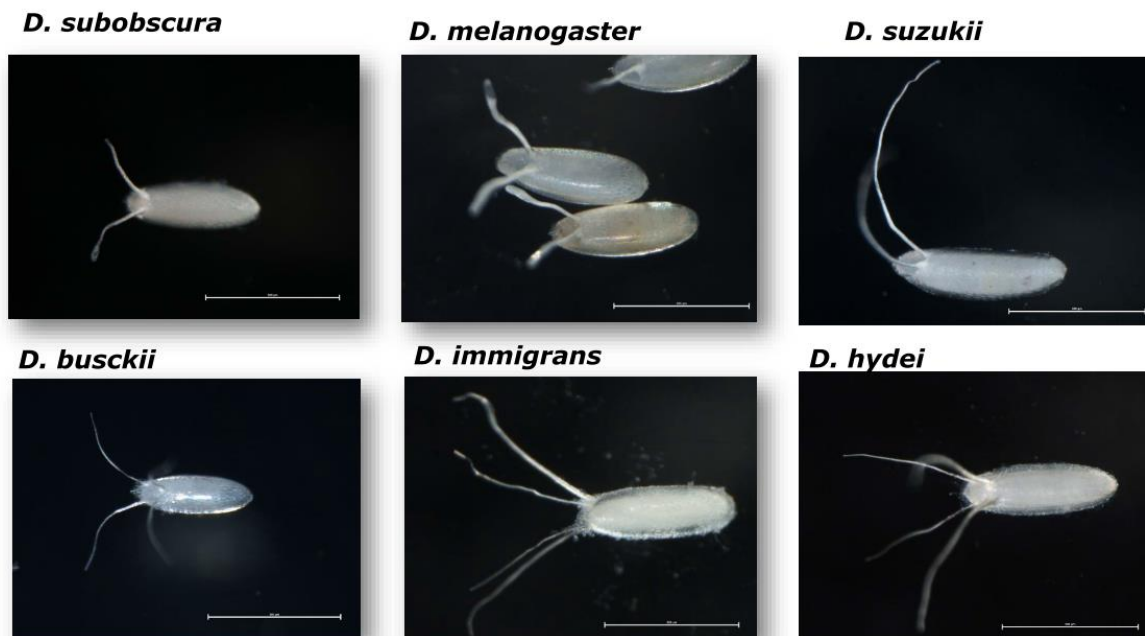


Figura 3. Estado de huevo de las seis especies de *Drosophila* presentes en el país. Estructuras alargadas corresponden a los filamentos. **Fuente:** Extraído de Rojas et al. (2019).

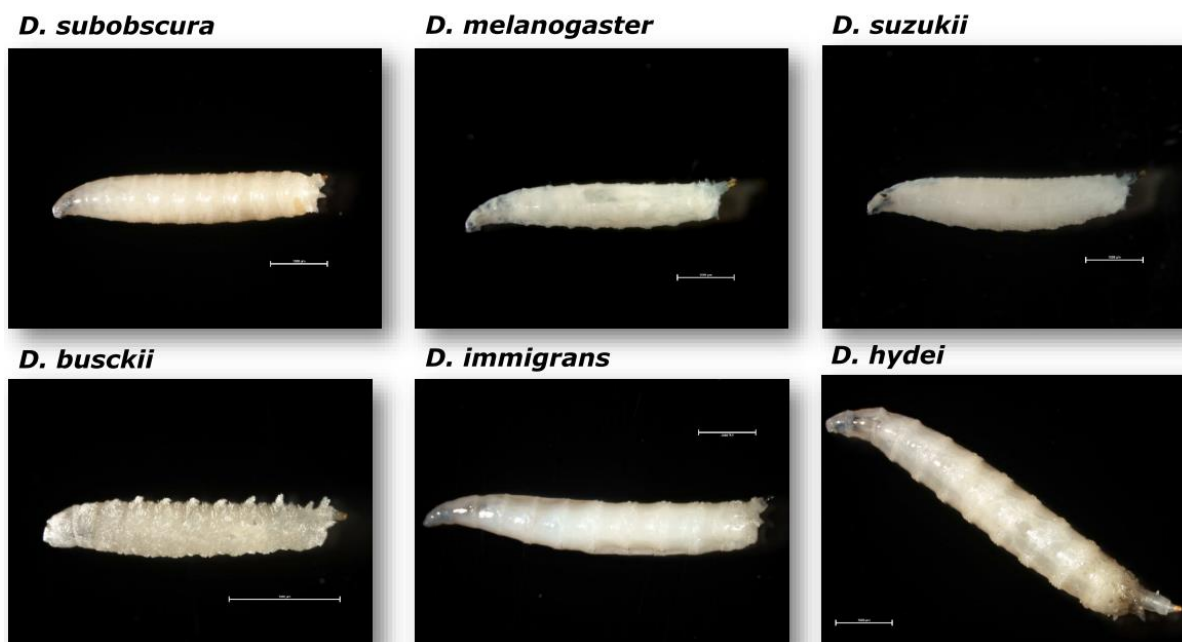


Figura 4. Estado de larva de las seis especies de *Drosophila* presentes en el país. En la zona extrema izquierda se ubican los ganchos bucales fuertemente esclerotizados. **Fuente:** Extraído de Rojas et al. (2019).

D. subobscura



D. melanogaster



D. suzukii



D. busckii



D. immigrans



D. hydei



Figura 5. Estado de pupa de las seis especies de *Drosophila* presentes en el país. Se observa dos proyecciones filamentosas que corresponden a los espiráculos en el extremo anterior.
Fuente: Extraído de Rojas et al. (2019).

1.2.6 *Drosophila suzukii* (Matsumura).

Es una especie nativa de origen asiático, se detectó por primera vez en Japón (1916), pero no fue hasta 1931 que Matsumura describió la especie, nombrándola como mosquita del cerezo o DS (Figura 6). En los años subsiguientes DS fue expandiéndose hacia otros países asiáticos y luego a los demás continentes, experimentando una constante y vertiginosa expansión por todo el mundo (Funes et al. 2018).

Desde 2008 se ha extendido rápidamente por todas las regiones de América del Norte y Europa. A partir del 2014 se declara presente en Brasil, Argentina y Uruguay, para luego reportarse por primera vez en Chile en junio del 2017, encontrándose en trampas del programa establecido por SAG desde el 2014 para el monitoreo y vigilancia específica de la plaga, dentro de la región de La Araucanía. Desde entonces se han tomado las medidas

necesarias para controlar y frenar el avance de este díptero hacia otras regiones, no teniendo los resultados esperados, ya que actualmente se ha dispersado a otras regiones de la zona centro y sur del país.

DS es considerada una plaga peligrosa e invasiva en todas las zonas donde se encuentra presente. Debido a sus hábitos alimentarios y gran capacidad reproductiva. Esta plaga puede llegar a atacar diferentes cultivos frutales, tales como: ciruelo, durazno, damasco, cereza, frambuesa, arándanos, frutilla y vides. Generalmente se encuentra relacionada a huertos frutales de piel delgada, concentrándose en los frutales menores. Esta especie se ha visto favorecida por la presencia de flora silvestre típica del centro sur de Chile, tal como la zarzamora (*Rubus ulmifolius*), una especie hospedera con una amplia distribución en la zona (SAG, 2018). El daño producido por el ovipositor aserrado de la hembra y posteriormente la alimentación de las larvas, una vez eclosionadas desde los huevos, generan una pérdida económica importante en el proceso productivo, provocando como principal factor, la pérdida total del valor comercial de los frutos atacados (Mundoagro, 2021).

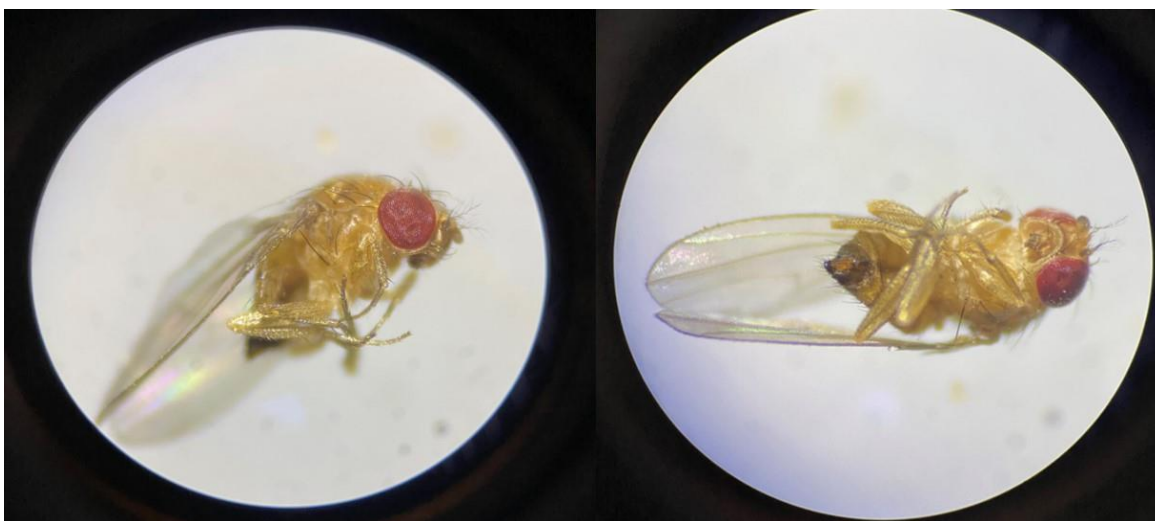


Figura 6. *Drosophila suzukii* hembra, fotografiada de diferentes ángulos. **Fuente:** Elaboración propia.

1.2.7 Descripción y reconocimiento de la plaga.

Presenta una metamorfosis tipo holometábola o completa con desarrollo alar interno, presentando los estados de huevo, larva, pupa y adulto.

Huevos. Poseen en general forma oval y alargada, midiendo 0,6 mm de largo por 0,2 mm de ancho. Color blanco brillante, presentan dos filamentos respiratorios, los cuales sobresalen de la epidermis del fruto (Figuras 7 y 8) (Rojas et al. 2019).



Figura 7. Aparato ovipositor y huevo de DS. **Fuente:** Elaboración propia.

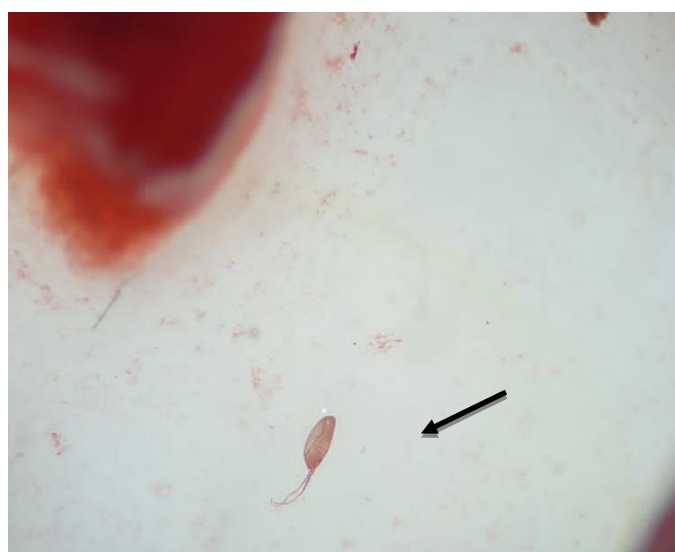


Figura 8. Huevo de DS, y sus respectivos filamentos. **Fuente:** Elaboración propia.

Larvas. La larva se torna visible en el interior del huevo a medida que se acerca la eclosión. Se desarrollan en tres estadios larvales, de tipo vermiforme de color blanco (Figura 9). Presenta órganos internos visibles y piezas bucales negras, en el tercer instar pueden llegar a medir 5,5 mm de largo por 0,8 mm de ancho (Rojas et al. 2019).

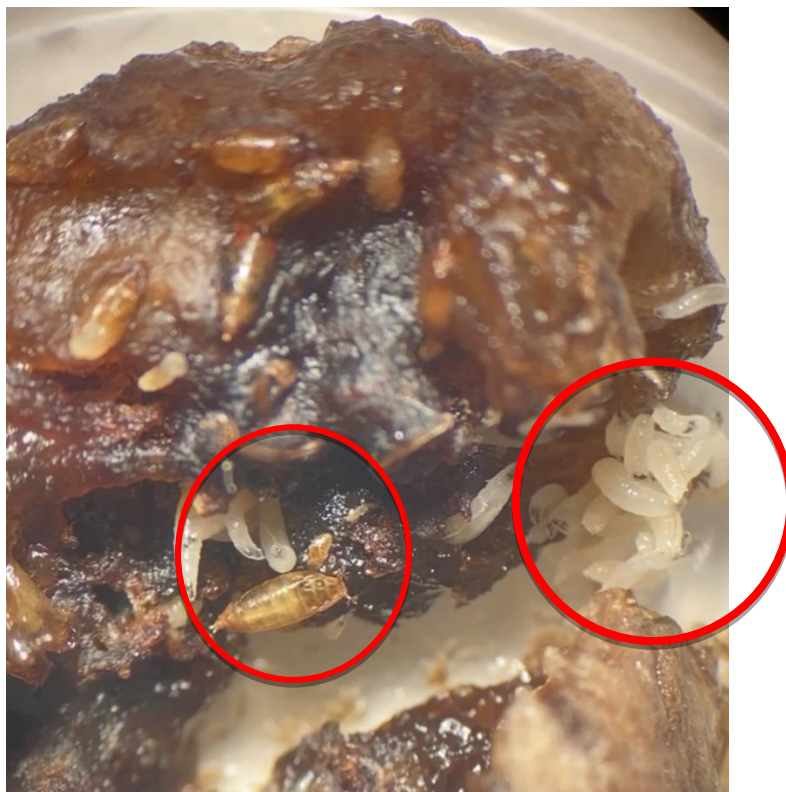


Figura 9. Larvas de *Drosophila suzukii*, en sustrato de plátano, en donde se aprecia sus piezas bucales de color negro que resaltan de su cuerpo blanco lechoso. **Fuente:** Elaboración propia.

Pupa. La larva al terminar su desarrollo, queda encerrada en su exoesqueleto el cual se endurece y sirve como cubierta protectora para la pupa que se seguirá desarrollando en su interior hasta alcanzar el estado adulto. Mide aproximadamente 3,5 mm de largo y 1,2 mm de ancho, color marrón claro, en el extremo anterior presentan dos proyecciones filamentosas de las cuales se desprenden filamentos secundarios (espiráculos respiratorios). Además de los dos espiráculos en su parte caudal (Figuras 10 y 11) (Rojas et al. 2019).



Figura 10. Pupa de *Drosophila suzukii* y sus respectivos espiráculos. **Fuente:** Elaboración propia.



Figura 11. Pupas de *Drosophila suzukii*, con desarrollo interno visible. **Fuente:** Elaboración propia.

Adulto. Poseen ojos rojos, tórax marrón o amarillento pálido, con bandas transversales oscuras en el abdomen. Antenas cortas con una arista ramificada. Presentan dimorfismo sexual, las hembras adultas pueden llegar a medir 2,25 a 4,0 mm de largo, mientras que los machos son un poco más pequeños midiendo entre 2,0 y 3,5 mm. Las hembras presentan un aparato ovipositor aserrado y esclerosado, con el cual rompen la epidermis de los frutos para

depositar sus huevos al interior de este. En los machos se observa una mancha oscura en el borde superior apical de cada ala, por lo que a veces, recibe también el nombre común de mosca de alas manchadas, y presentan en las patas delanteras dos conjuntos de peines sexuales con setas negras ubicados en los dos primeros tarsos (Figura 12) (Rojas et al. 2019).



Figura 12. Individuos de *Drosophila suzukii* estado adulto, donde se evidencia un claro dimorfismo sexual, entre hembra (izquierda) y macho (derecha), donde este último presenta una mancha característica en sus alas. **Fuente:** Elaboración propia.

1.2.8 Presencia y distribución de *D. suzukii* en Chile.

En nuestro país la primera alarma ante una posible presencia de DS fue en el 2016 en trampas instaladas en la Región de Valparaíso, en el área de quebrada el Manzano. Se logró una captura de 3 ejemplares de un díptero con similares características; pero al ser analizados por el Laboratorio de Entomología y Biotecnología del SAG Lo Aguirre, fue descartado ya que se determinó que la especie correspondía a *D. amplipennis* que no tiene importancia agrícola. El 2017 se reportan los primeros hallazgos de ejemplares de DS, en trampas del sistema de vigilancia que maneja el SAG en la Región de La Araucanía,

específicamente en las comunas de Pucón y Villarrica en el paso fronterizo Maluil Malal a orillas de camino (SAG 2017a). Ante este nuevo escenario se implementan acciones de vigilancia alrededor de la zona lo que arrojó en el mismo año reportes de detección de DS en trampas del sector Petrohué (41°23'12"S, 72°18'28"W), comuna de Puerto Varas en la Región de Los Lagos y en la comuna de Lago Ranco (40°19'00"S, 72°30'00"O), en la Región de Los Ríos. Al ser una plaga reciente en Chile, solo se cuenta con reportes de zonas de detección en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. A raíz de ello, se implementaron laboratorios de análisis en las primeras regiones, pero aún no se conocen en forma adecuada los aspectos más relevantes de su comportamiento en el territorio nacional que son fundamentales para una adecuada adopción de medidas de vigilancia y posterior control efectivo. Y como decíamos previamente, la EPPO etiqueta la plaga como controlada (“managed”) en 2020, aunque su presencia y peligrosidad requiere de vigilancia permanente.

1.2.9 Ciclo de vida de *Drosophila suzukii*.

El ciclo de DS pueden durar desde 21 a 63 días, aunque tienen la capacidad de hacer diapausa durante el invierno para sobrevivir. Su madurez sexual es muy precoz ya que, a los 3 días de ocurrida la emergencia, están en condiciones de aparearse sin importar la hora del día, aunque si requieren un rango de temperatura que debe ser superior a 10°C para su activación pero sin sobrepasar los 25°C (Kanzawa 1936). La hembra con su ovipositor aserrado atraviesa sin problemas la piel de los frutos sanos y pone sus huevos en el interior de ellos, proporcionando un ambiente seguro y alimento para los estadios venideros (Sasaki & Sato 1995). La eclosión de los huevos puede tardar de 1 a 3 días, las larvas se desarrollan en 5 a 7 días y la pupa completa su desarrollo alrededor de los 4 a 15 días. La duración del ciclo de vida dentro del fruto depende de las condiciones climáticas, pudiendo ser de 9 a 12

días a temperaturas cercanas a los 21°C, o incrementarse cerca de 21 a 25 días a temperaturas más frescas cercanas a los 15°C (Figura 13). Este díptero a pesar de haber iniciado su colonización en cerezos, ha ido adaptándose a distintos hospederos y tiene la particularidad de ser una especie polivoltina (3 o 4 generaciones en el año); dependiendo de las condiciones ambientales como temperatura y humedad (Walsh et al. 2011).

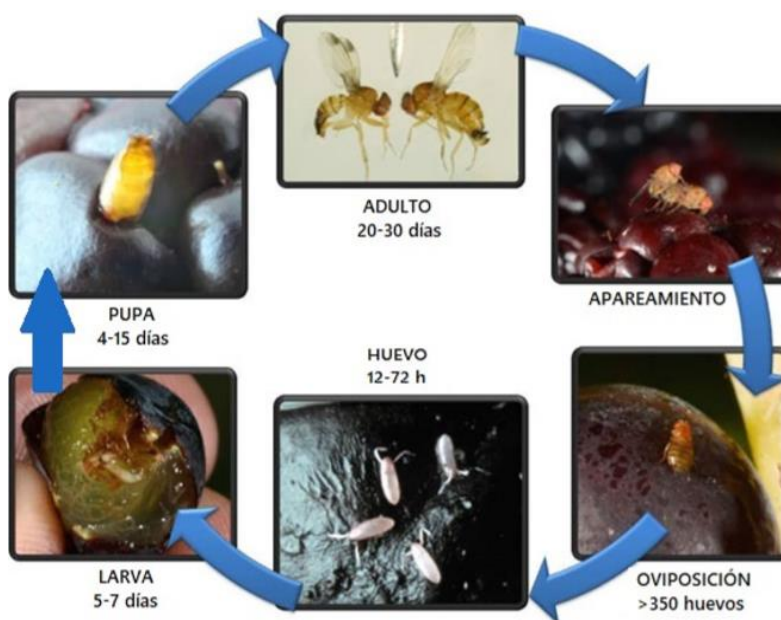


Figura 13. Ciclo de vida de *Drosophila suzukii* y sus distintos estados de desarrollo.
Fuente: Extraído de Kirschbaum et al. (2018).

1.2.10 Condiciones ambientales favorables para su desarrollo.

Una de las principales características de esta mosca es su tolerancia a las condiciones climáticas. Sus umbrales térmicos mínimo y máximo son 10 °C y 32 °C respectivamente, siendo su rango térmico óptimo de desarrollo entre los 20-25 °C (SAG, 2017c).

El potencial biológico de DS se ve altamente favorecido en localidades frescas y húmedas, siendo este último un factor climático limitante para la supervivencia invernal, principalmente en estado adulto, debido a que presenta intolerancia a la desecación. En

regiones de inviernos fríos la forma invernante de DS, es en estado adulto y su supervivencia se produce mediante una diapausa reproductiva, volviéndose totalmente inactivos (con temperaturas menores a 5° C), los cuales sobreviven refugiándose en la vegetación circundante. Siendo mayoritariamente las hembras las que tienden a invernar, pudiendo llegar a sobrevivir hasta 200 días refugiándose en lugares protegidos. Por tanto, la longevidad de esta especie se ve afectada por los rangos de temperatura de las regiones donde se encuentren (SAG, 2018).

1.2.11 Principales hospederos.

Una especie vegetal se considera como hospedante de DS cuando la hembra ovipone sus huevos en los frutos donde la mosca puede completar todos sus estados de desarrollo, desde huevo a adulto (SAG 2017c). DS ha sido citada en numerosos hospederos, según la EPPO (2024) la lista de especies citadas hasta la actualidad es: *Actinidia chinensis*, *Actinidia deliciosa*, *Actinidia kolomikta*, *Arbutus unedo*, *Berberis aquifolium*, *Citrus x aurantium* var. *sinensis*, *Cornus* sp., *Cotoneaster lacteus*, *Diospyros kaki*, *Elaeagnus umbellata*, *Eriobotrya japonica*, *Eugenia involucrata*, *Ficus carica*, *Fragaria x ananassa*, *Lindera benzoin*, *Lonicera caerulea*, *Malpighia emarginata*, *Malus domestica*, *Mangifera indica*, *Morella rubra*, *Morus* sp., *Phytolacca americana*, *Prunus armeniaca*, *Prunus avium*, *Prunus cerasus*, *Prunus domestica*, *Prunus laurocerasus*, *Prunus lusitanica*, *Prunus persica*, *Pyrus pyrifolia*, *Rubus fruticosus*, *Rubus hedycarpus* subsp. *armeniacus*, *Rubus idaeus*, *Rubus laciniatus*, *Rubus microphyllus*, *Rubus* sp., *Rubus spectabilis*, *Rubus ursinus*, *Rubus x loganobaccus*, *Sambucus nigra*, *Sarcococca confusa*, *Solanum dulcamara*, *Solanum lycopersicum*, *Solanum villosum*, *Symphoricarpos albus*, *Vaccinium corymbosum*, *Vaccinium* sp., *Vitis vinifera*

Dentro de este grupo destacan especies de importancia en nuestros cultivos tales como: frambuesa, zarzamora, cerezo, damasco (albaricoque), durazno (melocotón), nectarín (nectarina), ciruelo, pera, manzano, frutilla (fresa) y arándano. Otros frutos reportados como plantas hospederas son el higo, mora, kiwi, kaki y con menor grado de preferencia, se incluye como hospederos a las vides que resultan de gran importancia para nuestro país (Tabla 2).

Tabla 2. Listado de hospederos de *Drosophila suzukii* reportados en el mundo, presentes en la Región de La Araucanía (CIREN, 2019).

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Familia	Referencia
Arándano	<i>Vaccinium corymbosum</i>	Ericaceae	Bellamy et al. (2013); Escudero et al. (2012); EPPO (2024); Steffan et al. (2013); Lee et al. (2011); Lee et al. (2015).
Cerezo	<i>Prunus cerasus</i>	Rosaceae	Bellamy et al. (2013); Escudero et al. (2012); EPPO (2024); Lee et al. (2011); Lee et al. (2015); Yu et al. (2013).
Arándano rojo o cranberry	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Ericaceae	Bellamy et al. (2013); Escudero et al. (2012); EPPO (2024); Steffan et al. (2013); Lee et al. (2011); Lee et al. (2015).
Durazno	<i>Prunus persica</i>	Rosaceae	Bellamy et al. (2013); Escudero et al. (2012); EPPO (2024).
Frambuesa	<i>Rubus idaeus</i>	Rosaceae	Bellamy et al. (2013); Burrack et al. (2013); Escudero et al. (2012); EPPO (2024); Lee et al. (2011); Lee et al. (2015).
Frutilla	<i>Fragaria ananassa</i>	Rosaceae	Bellamy et al. (2013); Escudero et al. (2012); EPPO (2024); Lee et al. (2011); Lee et al. (2015).
Kiwi	<i>Actinidia deliciosa</i>	Actinidiaceae	Escudero et al. (2012); EPPO (2024).
Manzano	<i>Malus domestica</i>	Rosaceae	Escudero et al. (2012); EPPO (2024).
Moras	<i>Rubus glaucus</i>	Rosaceae	Bellamy et al. (2013); Burrock et al. (2013); Escudero et al. (2012); EPPO 2024; Lee et al. (2015).

Peras	<i>Pyrus communis</i>	Rosaceae	Escudero et al. (2012); EPPO (2024).
Vid	<i>Vitis vinifera</i>	Vitaceae	Bellamy et al. (2013); Escudero et al. (2012); EPPO (2024); Ioriatti et al. (2015); Lee et al. (2011); Lee et al. (2015).

1.2.12 Daños por DS e importancia económica en el cerezo.

DS ataca preferentemente los frutos para su oviposición cuando estos alcanzan sus estados de madurez y aún continúan unidos a la planta, no así para su alimentación en etapa adulta donde prefiere frutos que se encuentran con indicios de sobremaduración o podredumbre de acuerdo a lo reportado por Cai et al. (2019). Las hembras perforan la epidermis del fruto valiéndose de su ovipositor, para depositar sus huevos en el interior del mismo; de estos huevos eclosionan larvas las que se alimentan de la pulpa de este produciendo un daño directo ya que provoca un deterioro y posterior colapso del fruto como se muestra en la Figura 14, traduciendo en pérdidas para los productores (Bolda et al. 2010).

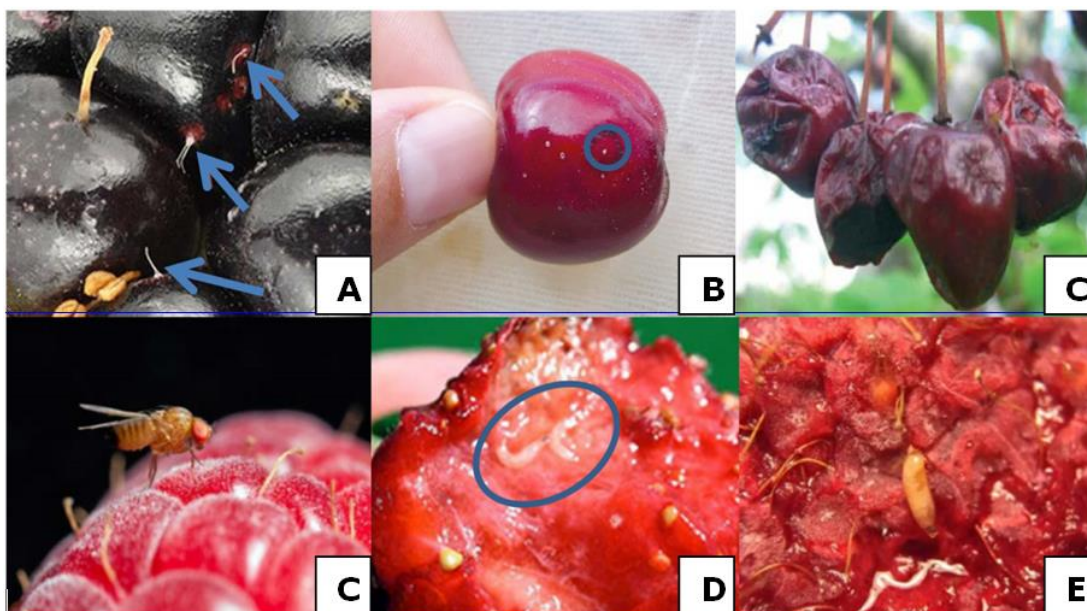


Figura 14. Daños de *Drosophila suzukii* en frutos de cerezo y frambueso. **Fuente:** Extraído de Kirschbaum et al. (2018); SAG (2017). (A) Espiráculo de *D. suzukii* emergiendo del fruto, (B) Daño producido por ovipositor, (C) Colapso de fruto por infestación, (D) Hembra de *D. suzukii* sobre fruto, (E) Larvas y pupa de *D. suzukii* en interior de frutos, respectivamente.

Como consecuencia de lo anterior, el evitar rechazos de partidas de frutos en diferentes mercados, ha implicado un aumento de la mano de obra y cambios en la infraestructura del huerto de manera de tener una mayor vigilancia en la selección de frutos que no estén dañados. Otro país que lleva años con este problema es Italia donde se han reportado pérdidas por más de 3 millones de euros en cerezos, frambuesas y arándanos; donde este valor corresponde solo a gastos asociados al aumento de mano de obra o necesidades de cambios radicales en infraestructura para poder seleccionar mejor la fruta cosechada (De Ros et al. 2015). En 2016, DS fue detectada en Brasil en bosques subtropicales, atacando cultivos de frutillas (Deprá et al. 2014). Posteriormente, Benito et al. (2016) realizaron un estudio de los potenciales daños económicos que esta nueva plaga ocasionaría en Brasil, llegando a cifras de US \$ 11,5 millones en frutillas y de US \$ 29 millones en otros frutos

como duraznos e higos. En Chile no se cuenta con estudios acabados o estimaciones de las pérdidas económicas que podría causar este insecto, a excepción del reporte de Buzzetti (2020) quién informó sobre pérdidas equivalentes a 5.000 – 17.550 dólares/ha producto del ataque de DS en la región del Ñuble. La superficie frutícola nacional alcanza a 372.576,4.000 hectáreas, entre las regiones de Atacama y Los Lagos, produciendo ganancias monetarias en fruta fresca por un valor US \$6.356.812,216, que representa el 74,7% del volumen nacional, siendo un líder en el hemisferio Sur (ODEPA 2024). Esta situación hace a nuestro país, un lugar propicio para el establecimiento de DS si no se toman las medidas adecuadas para su control.

1.2.13 Situación actual del cerezo en la Región de La Araucanía.

La Región de La Araucanía, abarca una superficie de 31.842,3 kilómetros cuadrados, que equivalen al 4,2% del territorio nacional (INE 2018). El sector silvoagropecuario corresponde a 916.993 ha, de las cuales el uso principal de suelo lo efectúan las plantaciones forestales con un 64,3%, seguido por los cereales 18,5% y forrajeras con 9,8%. Los cultivos frutales abarcan 15.809,61 ha, de las cuales 1.634,61 son destinadas a la producción de cerezos, equivalentes a un 4,2% de la superficie regional destinada a cultivos frutales. En cuanto a las variedades destacan Regina 548,7 ha, Lapins 160,6 ha, Kordia 146 ha, Sweet heart 109,1 ha. El gran potencial que tiene la región para la fruticultura se ha manifestado en un crecimiento que ha sido sostenido en el tiempo, existiendo 15.809,61 ha frutales plantadas, lo que representa un incremento de 39,7 % con respecto al 2019 en donde existían 1170,3 %. y 1634,61 en el 2022 (CIREN 2022). El cerezo, así como cualquier otro frutal, no se encuentra libre de sufrir problemas de plagas a lo largo de su vida productiva dentro de

las cuales destacan el chape del cerezo (*Caliroa cerasi*), gusano de los penachos (*Orgyia antiqua*), chicharra grande común (*Tettigades chilensis*) (Ellena et al. 2006) y la mosca de las alas manchadas (*Drosophila suzukii*) la cual ha ido adquiriendo mayor relevancia en los últimos años.

1.2.14 Avances en Chile para enfrentar a *D. suzukii*.

La principal herramienta para el control de distintas plagas es el control químico y Chile no está ajeno a esto, contando con un listado de 35 insecticidas autorizados por SAG para el control de DS (Anexo 1), aunque los esfuerzos actuales se centran en realizar pruebas a nivel de laboratorio con los insecticidas autorizados, optando por los que resulten más eficaces y sostenibles para el control de este insecto (Shawer et al. 2018). En la unión Europea y en el caso de España, solo quedan seis materias autorizadas en una veintena de formulaciones (MAPA, 2024). Las regulaciones de este método de control son cada vez más severas debido al abuso de esta alternativa ante el ataque de un insecto y en el caso de DS como su ciclo de vida es polivoltino se requieren varias aplicaciones a los frutos, sobre todo próximos a su etapa de maduración, lo que podría provocar problemas de resistencia en el insecto y la acumulación de residuos en los frutos (Leach et al. 2018; Van Timmeren et al. 2018), violando los máximos permitidos y afectando a depredadores y polinizadores naturales. El SAG en su plan de trabajo contempla tres ejes principales que incluyen prácticas de control cultural, acciones de vigilancia y acciones fitosanitarias para enfrentar la plaga. El control cultural preventivo/curativo consiste en incentivar prácticas de retiro y eliminación de toda la fruta sobremadura no cosechada, podas, eliminación de malezas y plantas silvestres que tengan frutos potencialmente hospedantes. Dentro de controles

curativos se propone evaluar la calidad de la fruta una vez cosechada y posibles riesgos de áreas colindantes con el huerto (SAG 2017b). En cuanto a la vigilancia se orienta a la instalación de trampas de manera de monitorear el lugar en donde exista una denuncia. Las trampas utilizadas son de variados modelos en cuanto a su forma y coloración, no existiendo una uniformidad al respecto, salvo en un punto en que sugieren que posea pequeños orificios laterales de entre 3 a 5 mm para evitar el ingreso de insectos de mayor tamaño o adicionar en el interior del contenedor una lámina con un adhesivo de manera que exista una mayor posibilidad de captura ya sea en el cebo líquido o queden adheridos. Su distribución es de una trampa por hectárea en huertos de gran envergadura, pero si los huertos son de una superficie menor a una ha o son varios dentro de un sector, se debe instalar una trampa/huerto y en zonas colindantes a la zona de detección inicial una trampa (SAG 2017c). Si bien, los esfuerzos realizados por el SAG son importantes y han desarrollado un plan de trabajo asociado al monitoreo y control de DS, toda la información que se usa en nuestro país, proviene de experiencias del exterior como los realizados por los grupos de trabajo de la Universidad Estatal de Michigan (MSU) (Jana et al. 2012, 2013) y la Universidad de Cornell (Loeb et al. 2018) en EE.UU., pero que dista de la realidad de los productores nacionales. Se podrían seguir ejemplos como los de EE.UU. que lleva un mayor tiempo conviviendo la plaga y que han utilizado registros de temperaturas, precipitaciones, tasas de dispersión de la plaga realizado modelos de distribución (Hauser & McCarthy 2009) o lo realizado por Argentina en donde por medio de la recopilación de información como la distribución y aplicando simulaciones de límite de alcance para DS de acuerdo a su tolerancia a las temperaturas, se han construido modelos predictivos que permiten hacer inferencias y tomar medidas al respecto (De la Vega & Corley 2019). En Chile la postura inicial del SAG era que en el país no se ha encontrado la plaga atacando a ningún tipo de

frutal ya sea comercial ni silvestre por lo cual, a la fecha se desconocen los hospedantes que pueda tener DS (SAG 2017e). Esta postura cambia en el 2019 con la Resolución Exenta N° 1943, en donde se declara a DS presente con distribución restringida y establece un programa de acciones para la vigilancia (SAG 2019). Impera la necesidad de realizar estudios de comportamiento y distribución de DS de acuerdo a las características geográficas y climáticas para tomar las decisiones adecuadas para enfrentar el grave daño que podría causar a la economía de un país exportador como el nuestro, estableciendo una estrategia dentro del abanico de herramientas existentes (manejo integrado de plagas: MIP) pero manteniendo un equilibrio en el ambiente (Donatelli et al. 2017, Thistlewood et al. 2018).

1.2.15 Uso de Microencapsulados para el control de plagas.

FAO (2010) en su informe de la producción agrícola y protección a cultivos señala la importancia de llevar a cabo estudios acerca de distintas aplicaciones entre las cuales se encuentra la interacción de los nanomateriales con la biología, dosis-respuesta, ciclo de vida de diversos productos utilizados en campo tales como fertilizantes, plaguicida y productos veterinarios. Por lo tanto, métodos de aplicación que eviten la rápida pérdida y degradación de estas sustancias son necesarios. El uso de la encapsulación ofrece una forma de desarrollar nuevas formulaciones y sistemas capaces de mejorar la eficiencia de este tipo de productos (Khot et al. 2012), que es uno de los principales problemas actuales ya que los dispositivos usados para la captura o control de insectos plagas se basa en la utilización de septas impregnadas con atrayentes, pero su alta tasa de liberación lo hace un problema en su utilización en campo (Mutis et al. 2010). La microencapsulación ha tenido un crecimiento

exponencial debido a su amplia gama de usos, incluyendo el diagnóstico de enfermedades, dispositivos electrónicos y ambientales y aplicaciones agrícolas (De Oliveira et al. 2014). El tipo de partículas que ofrece esta técnica va desde $< 1 \mu\text{m}$ de tamaño, llamadas nano, $1\text{-}2000 \mu\text{m}$ se denominan micro y $> 2000 \mu\text{m}$ se denominan macro - perlas/cápsulas. Estructuralmente las partículas que se obtienen se clasifican como perlas o cápsulas. En el sector agrícola, tales sistemas se utilizan para la liberación controlada de agentes para el control de plagas, así como para suministrar nutrientes en las plantas transformándose en una valiosa herramienta que permitiría el uso de productos naturales bioactivos a beneficio del control de plagas de importancia económica (Ghormade et al. 2011). Ejemplos en donde han sido reportado el éxito de la utilización de microencapsulados son los realizados sobre hembras de *Culex pipiens* (Diptera), utilizando microcapsulas que contenían su feromona de oviposición sintética junto con un larvicida, logrando resultados favorables y una persistencia del encapsulado por un periodo de 40 días (Michaelakis et al. 2018). Por su parte Gongora et al. (2020), evaluaron la respuesta de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae), por medio del uso de geles que contenían encapsulado de compuestos volátiles repelentes. Se evaluó la infestación de frutos y se demostró que las emisiones de volátiles eran continuas incluso después de 24 horas (h). El uso de encapsulados nos dará la oportunidad de evaluar el comportamiento de la formulación en terreno, mejorando el sistema de captura, ofreciendo un aporte desde el punto de vista agrícola y ambiental, brindando estabilidad, mayor solubilidad, protección contra la degradación prematura por temperaturas y aumento de la actividad residual debido a la liberación sostenida (de Oliveira et al. 2014; Mossa 2016; Riyajan et al. 2009). Un ejemplo de éxito de eficiencia de encapsulación de compuestos químicos fue reportado por Forim et al. (2013), quienes utilizaron neem (*Azadirachta indica*) el cual fue formulado

como suspensión coloidal y polvo. Al evaluar su efecto sobre en el lepidóptero *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutoidea), una importante plaga en hortalizas, obtuvieron un 100% de mortalidad en larvas, principalmente del tercer estadio.

1.3 Planteamiento del Problema.

Drosophila suzukii es un grave problema a escala mundial por el nivel de daño que ocasiona a los frutos de sus hospederos, afectando el desarrollo de todo un sector productivo, como es el frutícola. Chile no es ajeno a él por su condición de país exportador de frutas, en los últimos años la zona sur ha mostrado ventajas climáticas que la han llevado a posicionarse como potencia frutícola del país. Este insecto posee una gran capacidad de encontrar nuevos hospederos y adaptarse al clima, con su aparato ovipositor aserrado logra perforar los frutos introduciendo sus huevos en distintos hospederos y degradando sus frutos por la acción alimenticia de las larvas, lo que se traduce en graves daños económicos para el productor. El control de este insecto se ha basado principalmente en el uso de distintos agroquímicos que en primera instancia pareciera presentar una solución rápida y efectiva, pero cada vez se ha tomado más importancia al cuidado del medio ambiente por los efecto acumulativos que posee este tipo de control tanto en el suelo, el riesgo para la salud de los operadores, los altos costos al elevar dosis de aplicación y aumentar el número de aplicaciones, provocando la resistencia del insecto que se quiere controlar. Debido a lo anterior, se han buscado nuevas formas de enfrentar esta problemática sin descartar las otras opciones como por ejemplo el control cultural, mecánico o control químico que es el más usado. A la hora de ampliar el abanico de posibilidades más amigables para enfrentar esta situación dentro del marco del manejo integrado de plagas, toma relevancia el rol que puedan jugar los microencapsulados ya que esta técnica provee un medio de envasar, separar y almacenar

materiales en escala microscópica para su lenta liberación bajo condiciones controladas evitando la pérdida y la degradación de los compuestos, ya que las formulaciones líquidas actuales utilizadas, deben ser cambiadas semanalmente por la pérdida de sus capacidades atrayentes. Otra alternativa es la aplicación de la técnica de captura masiva pero no es viable ya que involucraría grandes gastos que ningún productor podría abordar. El poder contar con un cebo microencapsulado para el control de DS nos entregaría una serie de ventajas que hasta la fecha no poseen los atrayentes utilizados normalmente para el control de la DS, entre estos, contar con un cebo que se puede utilizar en un sistema de monitoreo permanente e incluirlo en trampas con microencapsulados dentro de las prácticas de manejo habituales durante la temporada productiva de manera de colaborar al plan de trabajo del SAG y que pueda ser implementado en todos los huertos del país. Es por esta razón que el aporte que entregará esta tesis doctoral es el proponer microencapsular cebos recomendados por SAG utilizados en formato líquido, que tienen la ventaja de que sus componentes son de fácil acceso para el productor. Esta modificación en la manera de realizar la captura de DS tiene una serie de ventajas a lo que se realiza habitualmente en trabajo de terreno y en laboratorio con las capturas de insectos, además de la prolongación de durabilidad del cebo. Los atrayentes actuales presentan dificultades en su manipulación, traslado como en su eliminación por su condición líquida ya que una vez acabado su efecto deben ser devueltos a contenedores para su posterior eliminación. Otra problemática que enfrenta el operador es el retiro de muestra que contenga la trampa para su posterior conteo de los insectos capturados y muertos dentro de un medio líquido que provoca su deterioro y el trabajo del investigador en laboratorio también se torna muy difícil ya que, al recibir las muestras obtenidas de las trampas, en avanzado estado de deterioro por la descomposición, dificulta su identificación.

CAPITULO II

2.0 OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO.

El desarrollo de un sistema de monitoreo de *Drosophila suzukii* basado en cebos microencapsulados permitirá optimizar la captura del insecto en un huerto de cerezos.

2.2 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar un sistema de monitoreo basado en un cebo microencapsulado para *Drosophila suzukii* en un huerto de cerezos en el sur de Chile.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

2.3.1 Determinar un cebo atrayente por medio de bioensayos olfatométricos para su encapsulación y evaluación a nivel de laboratorio.

2.3.2 Evaluar la actividad atrayente sobre *D. suzukii* de un cebo microencapsulado seleccionado.

2.3.3 Evaluar la efectividad atrayente del microencapsulado sobre la población de *D. suzukii* en un huerto de cerezos.

CAPITULO III

3.1 METODOLOGÍAS.

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Entomología Aplicada de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente y en el Laboratorio de Química Ecológica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad de La Frontera, ubicada en la ciudad de Temuco, Región de La Araucanía, Provincia del Cautín, Chile. Los ensayos de terreno fueron realizados en el Campo Experimental Maquehue, ubicado en la comuna de Freire, Región de La Araucanía, perteneciente a la Universidad de La Frontera.

Objetivo Especifico N°1

3.1.1 Descripción de cebos a utilizar.

Los cebos utilizados, fueron obtenidos por medio de la preparación de sus formulaciones en laboratorio. Dos de ellos utilizados por el SAG (SAG 2017b), que son formulaciones reportadas por Lasa et al. (2017) y Carroll (2016) y un tercer cebo formulado a base de vino, vinagre y melaza (Wollmann et al. 2019). Las formulaciones de cada cebo se muestran en Tabla 3.

Tabla 3. Formulaciones de los cebos evaluados para encapsulación.

Cebo	Componentes	Cantidad o Proporción	Referencia
SAG I	Vinagre de sidra de manzana con alcohol etílico 95°	9:1 (v/v)	Lasa et al. (2017)
SAG II	Azúcar Levadura Harina de trigo Vinagre de manzana Agua	2 g 0,325 g 17,25 g 1 mL 250 mL	Carroll (2016)
WVM	Vino Merlot Vinagre de manzana Melaza de caña de azúcar	60% 40% 20 g/L	Wollmann et al. (2019)

3.1.2 Bioensayos Olfatométricos de Tubo-Y.

Se realizaron bioensayos en un olfatómetro tipo tubo-Y de material de vidrio, evaluando los tres cebos. El olfatómetro-Y o tubo-Y, consiste en un tubo de vidrio en forma de Y de 1 cm de diámetro interior, con una zona central de 11 cm de largo y 2 brazos de 9 cm de largo. La zona central se conectó por medio de una manguera de silicona a una bomba de vacío, a un regulador y a un flujómetro de manera de generar un flujo constante de $1,8 \text{ L min}^{-1}$ en ambos brazos (Fig. 15). Los brazos fueron conectados a tubos de vidrio aguzado en su extremo, similar a una pipeta Pasteur que contenían en su interior papel filtro impregnado con 10 μL del estímulo cebo y 10 μL de agua destilada como control, en ambos brazos del tubo fue utilizado un trozo de gasa de manera de evitar el escape del insecto. Siguiendo la metodología de Koschier et al. (2000), los insectos fueron introducidos de manera individual a través del orificio ubicado en el extremo del cuello del tubo y se avaluó la respuesta del insecto durante un tiempo de 3 min como máximo, si el insecto tomaba una decisión ya sea control o estímulo, la prueba se consideró como exitosa y era terminada en ese momento. Los insectos que no presentaban respuesta y no tomaban una decisión eran eliminados y la prueba se consideraba no exitosa (Espinoza et al. 2021). El plan original fue utilizar 30 insectos (15 machos y 15 hembras), pero no fue posible dado a que la emergencia de machos es muy baja en comparación con la emergencia de individuos hembras, por lo que los ensayos fueron realizados solo con hembras logrando por tratamiento 30 olfatometrías (repeticiones) con cada uno de los cebos, de manera de seleccionar el cebo que presente una mayor preferencia por parte de DS, descartando a los otros en las siguientes etapas. Todos los insectos fueron obtenidos de pupas proporcionadas por la empresa Biofuturo, ubicados en Fundo Alianza Km 11, Camino Traiguén – Galvarino, Región de La Araucanía - Chile,

con los que se montó una colonia crianza en dependencias del Laboratorio de Entomología Aplicada. Una vez que de las pupas emergían adultos y volaban dentro del contenedor, se procedía a capturarlos inmediatamente por medio de un aspirador bucal y confinarlos cada uno por separado en viales de manera de ser sometidos al ensayo de preferencia antes descrito.

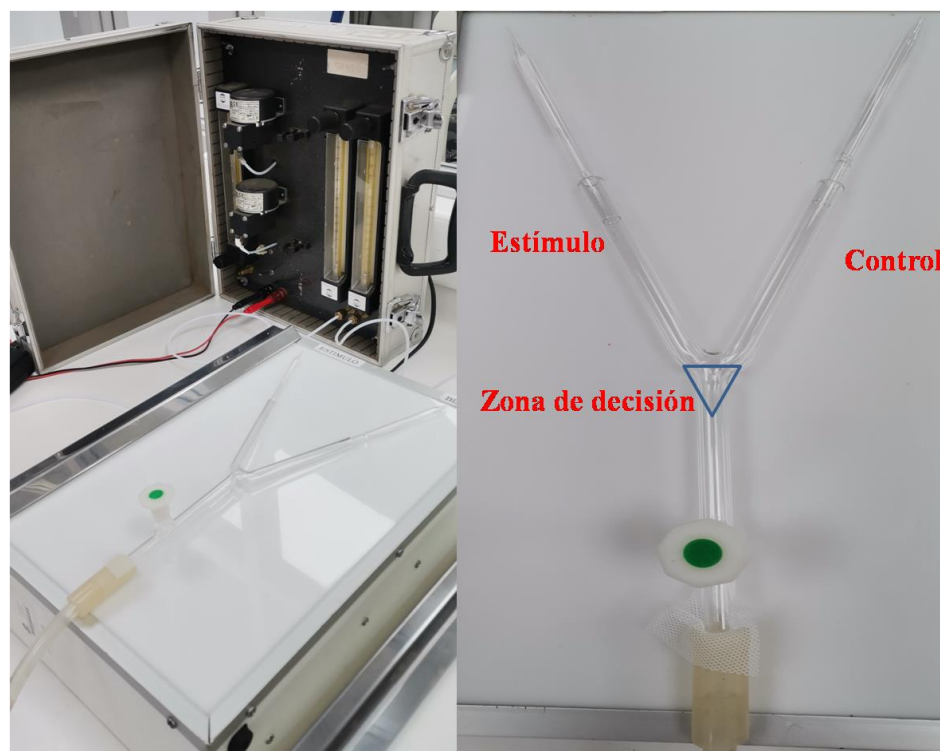


Figura 15. Ensayos de preferencia de *Drosophila suzukii* utilizando tubo-Y.

3.1.3 Caracterización de trampa para DS a utilizar en campo.

Se utilizó una trampa tipo “Delta” que es específica para la atracción de *Drosophila suzukii* (Econex 2020). La trampa está constituida por una lámina de tereftalato de polietileno (PET) de 0,3 mm de espesor, de color rojo, recubierta en su cara interior por una película de adhesivo de contacto, para la retención de los insectos. La trampa va provista de un colgador y cuenta con orificios en las esquinas para poder colgarla una vez plegada. La trampa se

presenta desplegada, con unas medidas de 40 x 23 cm. Una vez plegada presenta forma de prisma, con unas medidas de 12 x 23 x 13 cm (Figura 16). Con respecto al color de las trampas, esta fue de coloración roja ya que de acuerdo a lo reportado por Lee et al. (2013) y Renkema et al. (2014), es uno de los colores que les resulta más atrayente a DS.

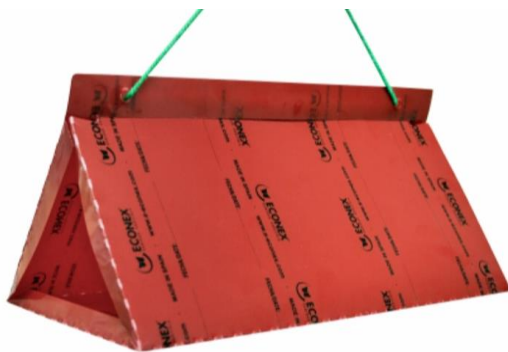


Figura 16. Trampa tipo Delta para el monitoreo y captura de *Drosophila suzukii*.

3.1.4 Ensayo de campo con trampas y cebos en formato líquido.

Paralelamente se realizó la instalación de trampas y posteriormente el monitoreo de estas, de manera de obtener información de la curva de vuelo del insecto en el sector y a la vez contar con información sobre la preferencia de DS en relación con los cebos utilizados en los bioensayos conductuales en laboratorio. Las trampas fueron instaladas en árboles de cerezos del Campo Experimental Maquehue, ubicado a 17 kilómetros al sur de la ciudad de Temuco, Región de La Araucanía, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente (Fig. 17). En cada hilera se colocaron cinco trampas tipo delta.

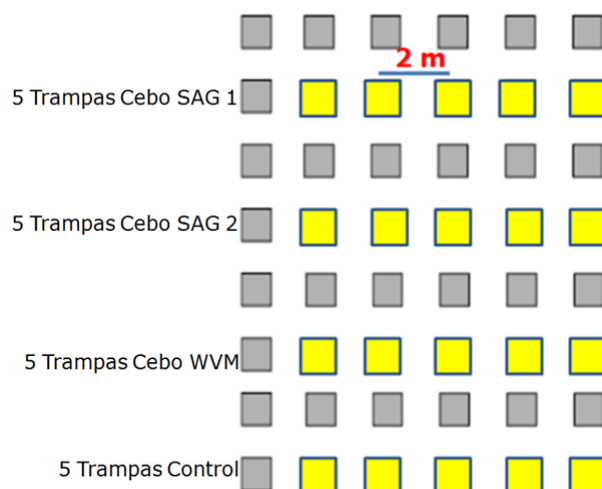


Figura 17. Distribución de las trampas para el monitoreo de DS en un huerto de cerezo. Cuadros de color amarillo indican la ubicación de una trampa.

El objetivo de realizar muestreos desde etapas tempranas de desarrollo es el poder iniciar la evaluación en un punto de visita “cero” por parte de DS. En la temporada 2022 se realizaron 7 muestreos, el primero de estos con fecha 13 de octubre, en donde no se detectó presencia de DS, pero se comprobó la efectividad de los cebos y la atracción que causaba hacia los dípteros por medio de una prospección visual efectuada a cada trampa, retirando los insectos por medio de la utilización de una pinza metálica blanda. Posterior a ello, antes de posicionar la trampa en su ubicación inicial, se realizó un cambio en el atrayente que es realizado cada 15 días y luego la trampa fue ubicada en su ubicación correspondiente.

Objetivo Especifico N°2

3.1.5 Encapsulación preliminar de los cebos en Laboratorio.

Siguiendo la metodología propuesta por Riyajan et al. (2009), se realizó el proceso de encapsulación de los tres cebos antes descritos de manera de evaluar la factibilidad del encapsulamiento. Se realizó este trabajo de manera manual ya que al ser mezclas de compuestos, no existía la seguridad de que la capsula sea formada íntegramente. En la

realización de esta tarea fue utilizada una micropipeta Labnet, modelo BioPette plus P1000, un agitador magnético SCI LOGEX modelo MS-H-PRO, cloruro de calcio dihidratado para análisis (Merck, Darmstadt), Alginato de Sodio, (Sigma-Aldrich, St. Louis). Todo el proceso fue realizado siguiendo el protocolo antes descrito, pero con ciertas modificaciones dado a que se trata de una mezcla líquida. Se tomó la muestra de cebo (100 mL) y se adicionó el alginato de sodio (3 g), para ello la muestra fue ubicada sobre el agitador magnético a 100 rpm a una temperatura de 40°C, una vez que el alginato se encontraba totalmente homogenizado junto al cebo con el que fue adicionado, se dejó enfriar para posteriormente ser pipeteado en la disolución de cloruro de calcio (0,5 mol/L), que se encuentra en constante movimiento en un agitador magnético, dejando reposar para asegurar la integral formación de la perla y 24 h después son lavadas con agua destilada. De los tres cebos encapsulados, solo fue posible encapsular dos (SAG II y WVM), ya que el cebo SAG I cuya composición es vinagre de manzana y alcohol etílico en una relación 9:1 no pudo ser formulado ya que no se logró una homogeneidad de la muestra y firmeza, sino por el contrario se mostraba de manera muy acuosa lo que al momento de ser pipeteado en la solución de cloruro de calcio, se perdieron las gotas debido a que se formaba una solución acuosa total, sin la presencia de algún tipo de perla. Se atribuye este fallo producto de la alta acidez mostrada por el cebo SAG I con un pH de 2,36 en comparación con los otros dos candidatos cuyos pH fluctuaban entre 3,0 y 3,09. La eficiencia del atrapamiento (Tabla 4), se calculó como la relación entre la masa inicial a encapsular y su masa en el producto final por medio de la utilización de una microbalanza marca Precisa modelo XB 220 A (Fig. 18), lo que arrojó lo siguiente:

Tabla 4. Pesos iniciales de los cebos previo a su encapsulamiento y peso final cebo encapsulado.

Cebo	Peso inicial (g)	Peso encapsulado (g)	Eficiencia (%)
SAG I	96,2912	ND	ND
SAG II	101,6398	82,0965	80,772
WVM	99,9868	74,5080	74,517

ND: no determinado.

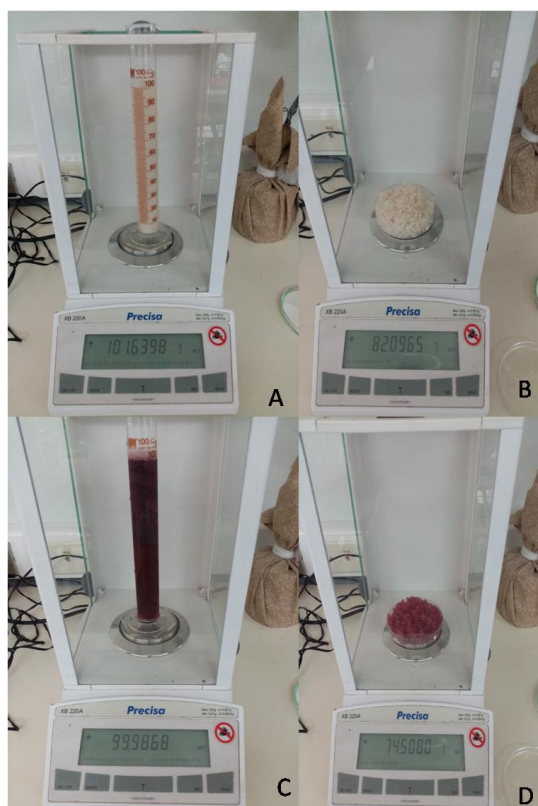


Figura 18. Pesos cebo SAG II (A-B) y cebo WVM (C-D).

3.1.6 Elaboración de microencapsulado WVM.

El proceso de encapsulación se realizó en los dos cebos descritos anteriormente, siguiendo la metodología descrita por Riyajan et al. (2009), utilizando una bomba peristáltica, modelo FPP-LabV3, un agitador magnético SCI LOGEX modelo MS-H-PRO, cloruro de calcio y alginato de sodio.

Se tomó la muestra de cebo atrayente (100 mL), la que previamente se encontraba entibiada, y se adicionó alginato de sodio (3 g), el cual otorga una consistencia espesa y viscosa a la solución. Posteriormente, la muestra fue llevada a un agitador magnético a 100 rpm y a una temperatura de 40°C, una vez que el alginato se homogenizó en la solución, se dejó enfriar para luego utilizar la bomba peristáltica la cual en uno de sus extremos contiene una aguja de pipeta que permitió formar los microencapsulados. Una vez pipeteados en la disolución de cloruro de calcio (1g/100 mL) y agua destilada que se encuentra en constante movimiento en un agitador magnético, se dejó reposar por 12 h, para asegurar la formación de las perlas (microencapsulado) (Figura 19A).

El mismo procedimiento se utilizó para la formación del cebo control, incorporando al vaso precipitado que contiene 100 mL agua destilada, 3 g de alginato de sodio, para luego ser pipeteados a través de la bomba peristáltica a la disolución de agua destilada más cloruro de calcio (Figura 19B).

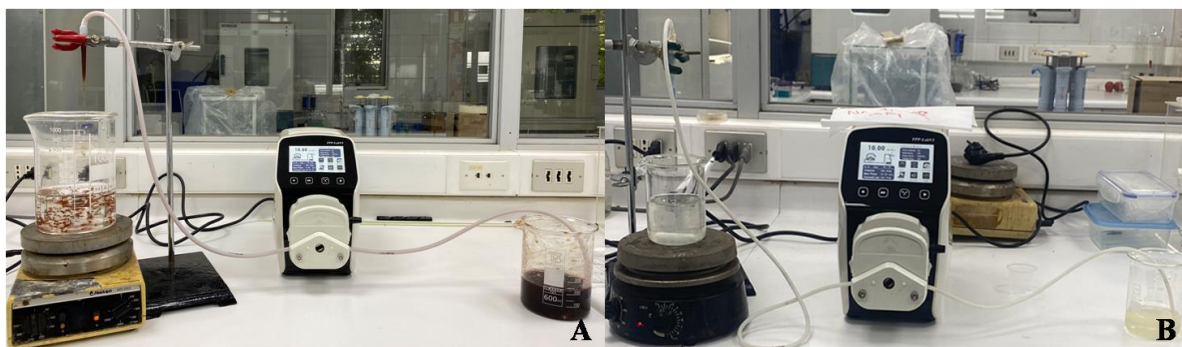


Figura 19. (A) Formación del microencapsulado atrayente. **(B)** Elaboración del microencapsulado cebo control. Ambos realizados mediante el uso de una bomba peristáltica.

3.1.7 Medición Tasa de Liberación encapsulado WVM.

Se realizó la medición de la tasa de liberación del cebo WVM que se encuentra encapsulado en una matriz de alginato. Para ello, se tomó una cantidad conocida en gramos (12 g), la cual fue introducida al interior de una cámara de ambiente controlado marca Biobase, modelo BJPX-A250II (Figuras 20A, B), que posee dentro sus características de funcionamiento el controlar temperatura, luminosidad y humedad. A modo de recopilar mayor información con respecto al comportamiento del cebo y su durabilidad en el tiempo es que se tomó como referencia los reportes de Kanzawa (1939) y Hamby (2013) y el comportamiento de DS a sus temperaturas ideales para su proliferación (15° a 25 °C) y comparándola con el promedio de temperaturas y humedad relativa comprendido entre los meses de septiembre a diciembre de 2022, que es la temporada de cerezos para zona (Red Agrometereológica, 2022), se tomó como determinación el realizar una prueba de tasa de liberación a una temperatura de 21,2 °C y una humedad del 75%.

Se tomó 12 g de cebo encapsulado en triplicado (Figura 20C) de manera de evaluar la pérdida de peso en el transcurso del tiempo. Durante las primeras 24 h se realizó la toma de peso cada 2 h y posteriormente, el pesaje fue realizado a las 48, 72, 96 y 120 h, utilizando

para ello una balanza analítica marca Precisa, modelo XB 220. Con la información obtenida se realizó una cinética de liberación por medio de los modelamientos matemáticos Kors-Peppas e Higuchi, tomando como referencia lo reportado por Fincheira et al. (2021a,b) quienes utilizan el modelo de Higuchi para la medición de liberación de portadores de lípidos nanoestructurados y lo reportado por Agnich et al. (2022) quienes utilizaron el modelo de Kors-Peppas en cinéticas de liberación de nanoemulsiones.



Figura 20. Cámara ambiente controlado ubicada en el Laboratorio de Entomología Aplicada (A, B), capsulas de alginato cebo WVM (C).

Objetivo Especifico N°3

3.1.8 Ensayo de campo con trampas y cebo encapsulado WVM.

Se realizó el despliegue en campo de trampas tipo delta adhesivas utilizando el cebo WVM encapsulado (Figura 20C), que fue el obtenido por medio de la preparación de su formulación en laboratorio a base de vino, vinagre y melaza (Wollmann et al. 2019) y posteriormente encapsulado siguiendo la metodología de Riyajan et al. (2009). Las trampas tipo delta utilizadas son de marca Betterworld Chile, las cuales llevan en su interior el cebo

atrayente microencapsulado, mencionado anteriormente.

Las trampas fueron instaladas en el Campo Experimental Maquehue. La densidad de trampas se ajustó siguiendo las pautas de Baroffio et al. (2015) y SAG (2017a), con tres filas de seis trampas cada una, totalizando 18 unidades distribuidas a una distancia aproximada de 5 m entre una y otra (Figura 21A). Esta distancia es considerada óptima para el manejo del vuelo de DS dentro de un huerto (Spies & Liburd, 2019). La altura de colocación de las trampas siguió las recomendaciones de SAG, especificando que las trampas se coloquen dentro del follaje de la planta/árbol, cerca de la presencia de fruta, y no deben estar expuestas directamente a la luz solar (Baroffio et al. (2015) y SAG (2017c)).

El control compuesto solo de alginato puro (Figura 21C) fue ubicado de manera intercalada con el cebo atrayente WVM (Figura 21B). Para minimizar los efectos de borde potencialmente causados por factores adyacentes, las primeras filas de plantación se descartaron durante la instalación. Otra consideración que se realizó a momento de distribuir las trampas, fue el dividir las en hileras de 6 unidades de manera de evaluar las tres variedades de cerezo presentes en el huerto: Stella, Regina y Lapins las cuales presentaban una distancia de plantación de 4 x 3 m (Figura 22). Estos árboles tienen una edad aproximada de 25 años y están conducidos en vaso o sistema de ejes múltiples, que es un sistema de conducción común en Chile. Se empleo riego por goteo, utilizando cintas de riego y goteros por unidad, y cada árbol fue regado diariamente.

La revisión de trampas se efectuó una vez por semana, en donde se realizaron labores de recolección de ejemplares de DS que estaban adheridos al pegamento de estas, se evaluó además la durabilidad y efectividad del cebo para efectuar el cambio de estos en caso de ser pertinente. En total se realizaron 14 muestreos, comenzando en septiembre de 2022 y la

última fecha de revisión comprendida para este informe fue realizada en diciembre de 2022.

Los insectos capturados en las trampas fueron trasladados al Laboratorio de Entomología Aplicada de la Universidad de La Frontera para su identificación mediante claves entomológicas, de acuerdo al Manual de Reconocimiento de Etapas del Desarrollo del SD (Rojas et al. 2019).



Figura 21. (A) Instalación de trampas tipo delta. (B) Lamina adhesiva. (B-C) Cebo microencapsulado y perlas alginato (control).

- STELLA (H5) = Cebo - Control - Cebo - Control - Cebo - Control
- REGINA (H1) = Control - Cebo - Control - Cebo - Control - Cebo
- LAPINS (H1) = Cebo - Control - Cebo - Control - Cebo - Control

CAPITULO IV: RESULTADOS.

4.1 Bioensayos olfatométricos.

Ensayos de laboratorio, el cebo WVM elicó una conducta de atracción en DS siendo esta diferencia significativa al ser comparada con el control (21 visitas al estímulo y 9 visitas al control; 70% vs 30%) ($P < 0,05$) (Fig. 23). Lo sigue el cebo SAG I con 13 visitas en el estímulo y 17 visitas en el control (43,3% vs 56,6%) y por último cebo SAG II con 10 visitas en el estímulo y 20 visitas en el control (33,3% vs 66,6%). Sin embargo, DS no mostró preferencia cuando fue expuesto a estos dos últimos cebos ($P > 0,05$).

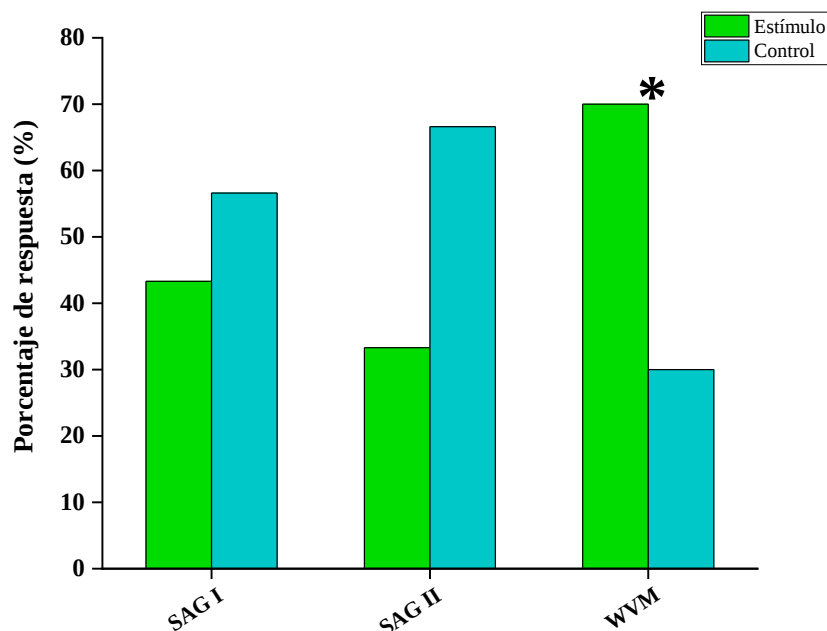


Figura 23. Respuesta olfatométrica de hembras de *Drosophila suzukii* hacia tres diferentes cebos atrayentes en un olfatómetro tubo en “Y”. SAG I (vinagre de sidra de manzana con alcohol etílico 95°); SAG II (azúcar, levadura, harina de trigo, vinagre de manzana y agua) y WVM (vino Merlot, vinagre de manzana, melaza de caña de azúcar). Asterisco indica diferencia estadística significativa entre tratamiento y control, según prueba de Chi cuadrado ($n=30$).

4.2 Ensayo de campo con cebos líquidos.

Paralelamente se realizaron monitoreos en trampas instaladas en el Campo Experimental Maquehue de manera de evaluar la atracción de DS a los cebos en su formato líquido utilizados en las pruebas olfatométricas en laboratorio (Tabla 5). Se realizaron 7 visitas, el 5 de noviembre fue el primer hallazgo confirmado de presencia de DS en el huerto del campo experimental, el ejemplar encontrado correspondió a una hembra, que fue capturada por la trampa delta adhesiva que estaba ubicada en la hilera que corresponde al “Cebo SAG II”. Posteriormente se realizaron monitoreos el 13 y 27 de noviembre de 2021. El 13 se encontraron dos ejemplares hembras DS, una de ellas capturada en la trampa en la hilera correspondiente “Cebo SAG I” y la otra en la hilera correspondiente a “Cebo WVM”. El 27 de noviembre fue identificado un espécimen macho de DS en trampa correspondiente a “Cebo WVM”. Durante diciembre de 2021, ya existe una presencia notoria del insecto producto de la maduración de los frutos en el huerto arrojando una captura numéricamente significativa el día 22 con respecto a las fechas anteriores de monitoreos. Los resultados obtenidos arrojaron la existencia de dos grupos, no existiendo diferencias significativas entre los promedios de los insectos capturados entre octubre 2021 a diciembre 2021, sin embargo, esta diferencia cambia el 22 de diciembre donde arroja una clara diferencia estadística (Fig. 24). La identificación de los individuos capturados fue realizada tras ser analizadas las muestras bajo lupa (Fig. 25), siguiendo las claves entomológicas del manual de Reconocimiento para *Drosophila suzukii* proporcionado por el Servicio Agrícola y Ganadero (Rojas et al. 2019). Se efectuó prueba de Tukey de manera de realizar comparaciones entre el promedio de individuos capturado de DS durante los 7 monitoreos y su preferencia ante los atrayentes en las trampas (Fig. 26). Los resultados obtenidos

muestran la existencia de significancia entre grupos en donde los promedios para cada uno de los cebos en relación a los individuos capturados fueron de 1,3429 para WVM, 0,4286 SAG I, 0,1429 SAG II y 0,0 Control ($P \leq 0,05$), lo cual es coincidente con la tendencia que se observó en los ensayos olfatométricos en condiciones de laboratorio, que mostraron una preferencia no significativa por parte de DS al cebo WVM. Por último, se realizó una comparación entre promedios de grupos de individuos capturado en las trampas adhesivas, la relación existente entre el cebo utilizado en cada tratamiento y las fechas de monitoreos realizados arrojando una separación de tres grupos (A, B, y C), lo que confirma la preferencia por un cebo en particular WVM y el aumento de individuos capturados a medida que avanza la temporada productiva (Fig. 27). Debido a estos resultados, el cebo seleccionado para ser encapsulado corresponde a WVM.

Tabla 5. Fechas de monitoreo y ejemplares capturados de *Drosophila suzukii* con trampas tipo delta en el Campo Experimental Maquehue, Freire, Región de La Araucanía.

Fecha	Cebo			
	SAG I	SAG II	WVM	Control
13 octubre (2021)	0	0	0	0
05 noviembre	0	1 ♀	0	0
13 noviembre	1 ♀	0	1 ♀	0
27 noviembre	0	0	1 ♂	0
03 diciembre	2 ♀	0	9 ♀	0
13 diciembre	0	0	3 ♀	0
22 diciembre	11 ♀	4 ♀	34 ♀	0
07 enero (2022)	5 ♀ 2 ♂	2 ♀	24 ♀	0
14 enero	1 ♀	0	1 ♀	0
21 enero	0	0	3 ♀	0
29 enero	2 ♂ 1 ♀	0	0	2 ♀
08 febrero	0	2 ♀	2 ♀ 1 ♂	1 ♂
15 febrero	0	2 pupas	1 ♂	2 ♂ 3 pupas

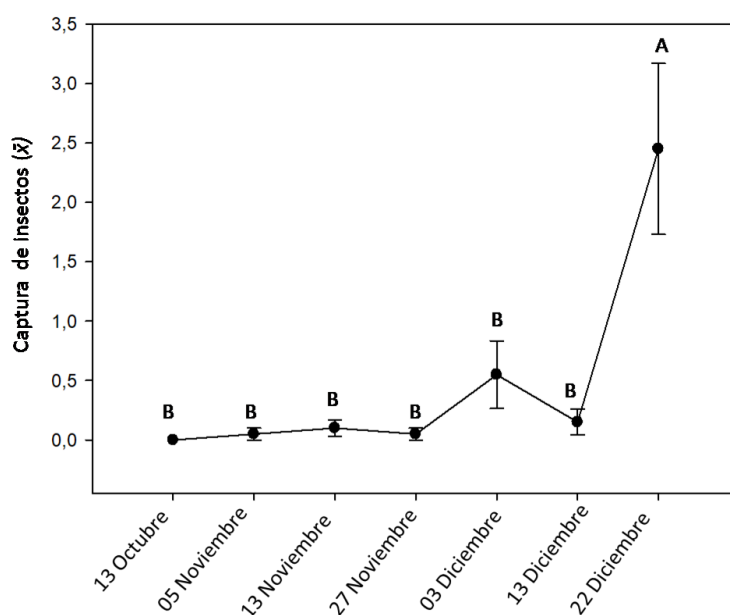


Figura 24. Promedio de individuos capturados en relación al tiempo en monitoreos realizados en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Cebos utilizados en su formato líquido, SAG I (vinagre de manzana-etanol), SAG II (harina, levadura, azúcar, vinagre, agua destilada) y cebo WVM (vino, vinagre, melaza). Las barras indican captura de insectos $\pm$ error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según test de Tukey ($n=7$).



Figura 25. (A) Revisión de trampa tipo delta adhesiva durante el monitoreo de DS, (B) primer ejemplar DS capturada el 05 noviembre, individuo que no poseía manchas en sus alas y que luego fue corroborado en laboratorio por su genitalia.

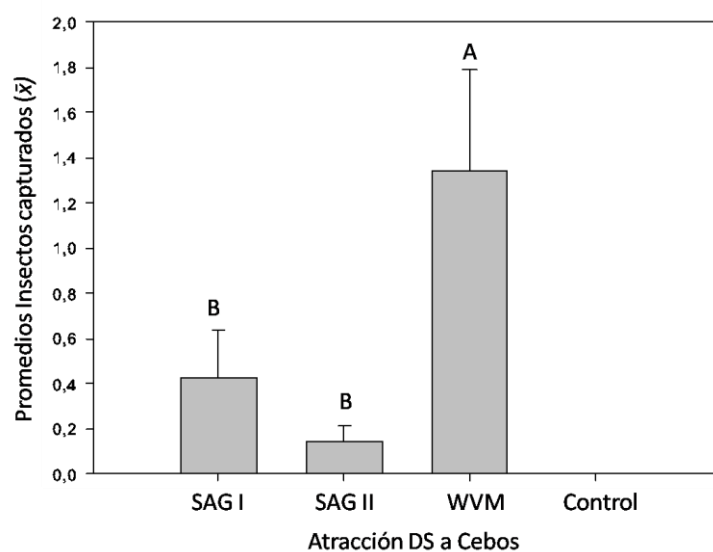


Figura 26. Promedio de individuos capturados en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Cebos en formato líquido corresponden a SAG I (vinagre de manzana-etanol), SAG II (harina, levadura, azúcar, vinagre, agua destilada) y cebo WVM (vino, vinagre, melaza). Las barras indican promedio de insectos capturados $\pm$ error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$) según test de Tukey.

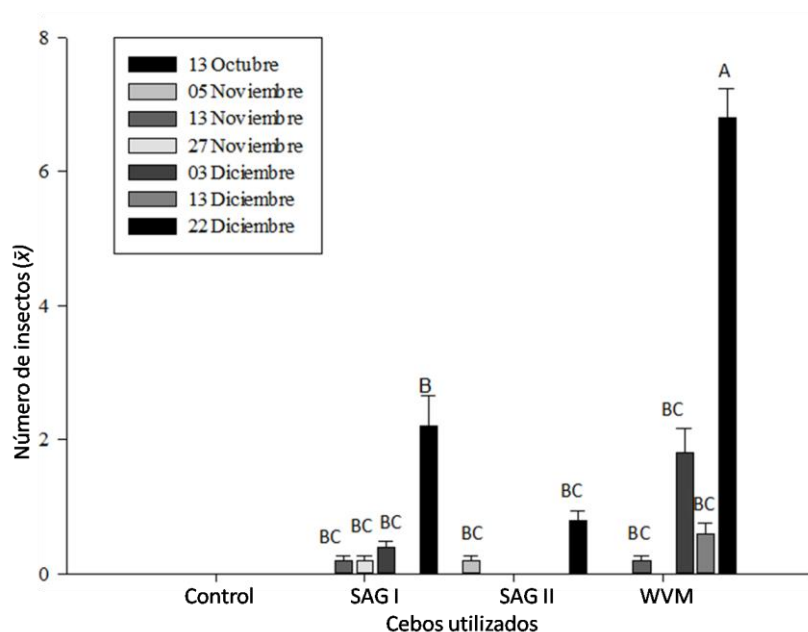


Figura 27. Promedio de individuos capturados en relación al tipo de cebo en formato líquido utilizado y tiempo en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Cebos corresponden a SAG I (vinagre de manzana-etanol), SAG II (harina, levadura, azúcar, vinagre, agua destilada) y cebo WVM (vino, vinagre, melaza). Las barras indican número de insectos capturados $\pm$ error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) según la prueba de Tukey. El ordenamiento de las barras se encuentra distribuido de derecha a izquierda según la fecha de monitoreo realizado.

4.3 Tasa de Liberación encapsulado WVM.

La figura 28 muestra el comportamiento del cebo a través del tiempo sometido a la temperatura y humedad relativa promedio para la zona, en la temporada de cerezos que comprende los meses de septiembre a diciembre, que arrojaron en promedio temperatura de 21,2°C con un 75% de humedad relativa. El modelo Kors-Peppas ($r^2=0,97$) hace una relación entre el logaritmo del tiempo y el logaritmo de porcentaje de liberación de los compuestos del cebo, por otra parte, el modelo de Higuchi ($r^2=0,99$) aporta informando la relación entre el logaritmo del tiempo (h) con el porcentaje de liberación. Ambos modelos arrojaron que la liberación de compuestos por parte del cebo WVM es de un 20% a las 120

h, por lo que al realizar una proyección de la durabilidad del cebo bajo las condiciones antes descritas podemos estimar que la pérdida de compuestos encapsulados será a los 25 días.

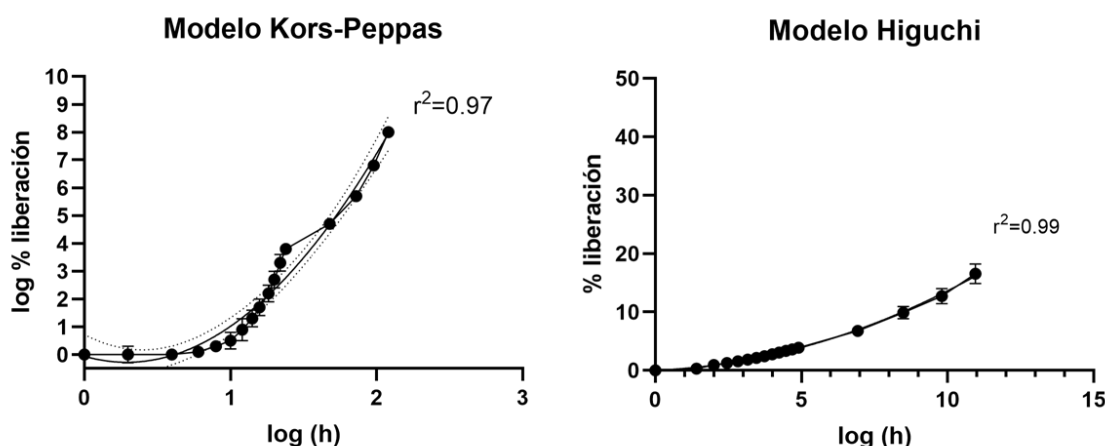


Figura 28. Tasa de liberación del cebo WVM en cámara de ambiente controlado a temperatura y humedad promedio para la zona (21,2°C y 75%H). Se utilizaron modelamientos matemáticos Kors-Peppas por medio del log de tiempo (Log (h)) e Higuchi a través de la raíz cuadrada de tiempo ($\sqrt{h}$).

4.4 Ensayos de Campo con el Cebo WVM encapsulado.

Las trampas adhesivas con los respectivos cebos microencapsulados fueron desplegados en terreno el 31 de agosto 2022 en el Campo Experimental Maquehue, se realizaron 14 visitas con el fin de monitorear la población de DS a lo largo de la temporada. El 8 de septiembre fueron encontrados los primeros ejemplares de DS, en las trampas instaladas en el huerto de cerezos. Se encontraron 38 hembras (♀) y 5 machos (♂) de DS en las tres variedades de cerezos evaluados. Específicamente, 6 individuos ♀ en la variedad Stella, 8 ♀ y 1 ♂ en la variedad Regina y finalmente 24 ♀ y 4 ♂ en la variedad Lapins. Precisamente, la variedad que presentó mayor cantidad de capturas correspondió a Lapins con 49 individuos, seguida de Regina con 17 y finalmente Stella con 11 ejemplares (Figura 29). Esta situación se debió

a que Lapins a pesar de ser una variedad de cerezos tardía, presenta sus etapas de desarrollo antes que las otras dos variedades presentes en el Campo Experimental Maquehue, seguida por Regina y finalmente Stella. Del total de ejemplares colectados en septiembre de 2022 (77), 54 ejemplares fueron encontrados en las trampas con el cebo atrayente (WVM), mientras que solo 23 individuos fueron encontrados en el control, siendo esta diferencia significativa ($P \leq 0,05$) (Figura 30).

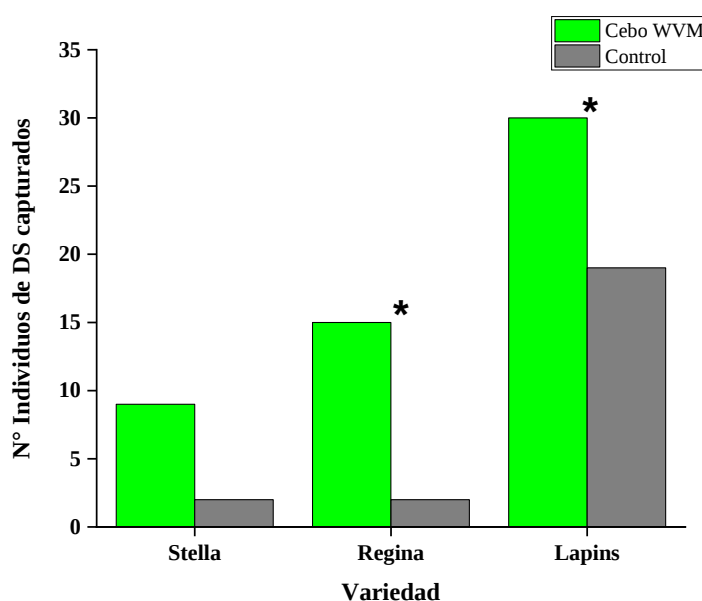


Figura 29. Individuos de *Drosophila suzukii* capturados durante septiembre de 2022 en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezos (Stella, Regina y Lapins), ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Barra de color verde indica el número de capturas en el cebo atrayente (WVM), mientras que barra de color gris muestra el número de individuos de DS capturados en el control. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).

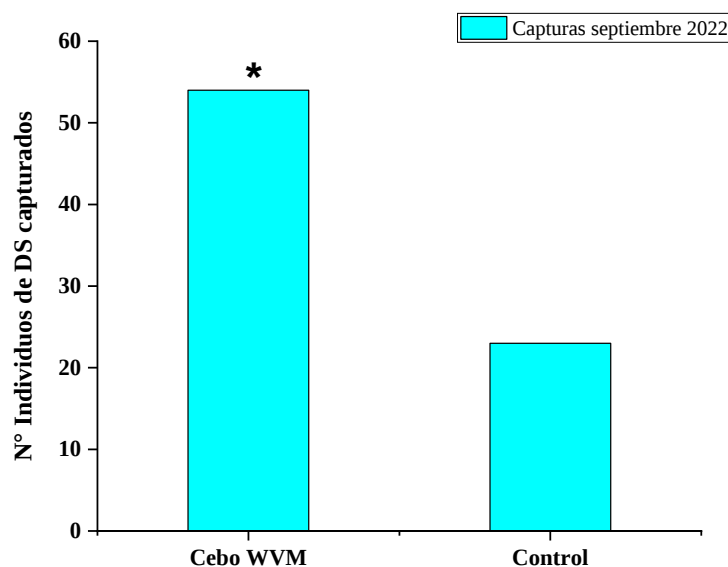


Figura 30. Captura total de individuos de *Drosophila suzukii* durante septiembre de 2022 en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).

Durante octubre de 2022 se registró una captura total de 98 individuos de DS, siendo 88 ♀ y 10 ♂. La mayor cantidad de ejemplares se colectaron desde trampas ubicadas en la variedad Lapins, seguida de Regina y Stella y en todas ellas hubo un efecto significativo del cebo WVM comparado con el control (Figura 31). También se registró un efecto significativo de atracción del cebo WVM en la captura total de individuos de DS al ser comparados con el control ($P \leq 0,05$; Figura 32). A lo largo de los 4 meses donde se realizaron monitoreos para capturar a individuos de DS, octubre fue el mes donde más ejemplares se encontraron, lo que corresponde a la dinámica poblacional que tiene este insecto, cuando las temperaturas fluctúan entre 20° a 25° C siendo los rangos óptimos de temperatura para el desarrollo de esta especie, además de que en este mes la mayoría de las variedades presentes en el Campo Experimental Maquehue se encontraban en floración, lo que probablemente sea el momento

de un aumento en los estímulos olfativos para que resulten atractivos para DS.

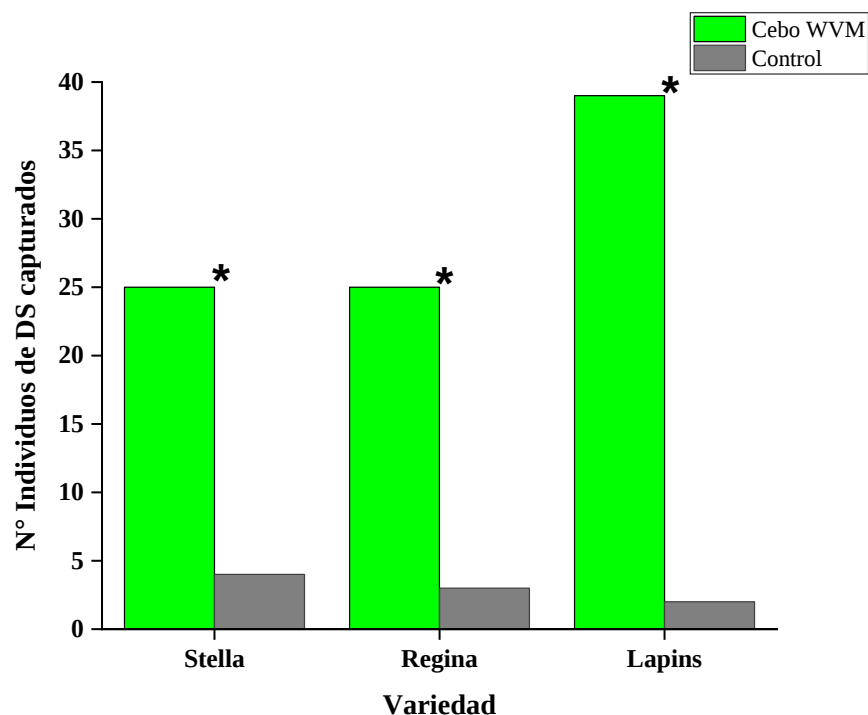


Figura 31. Individuos de *Drosophila suzukii* capturados durante octubre de 2022 en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezos (Stella, Regina y Lapins), ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Barra de color verde indica el número de capturas en el cebo atrayente (WVM), mientras que barra de color gris muestra el número de individuos de DS capturados en el control. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).

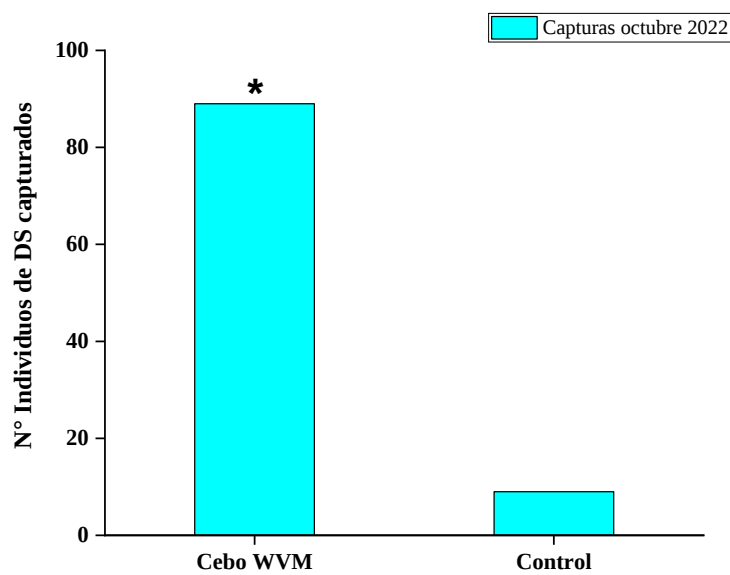


Figura 32. Captura total de individuos de *Drosophila suzukii* durante octubre de 2022 en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).

El monitoreo durante noviembre de 2022 mostró una disminución en el número de insectos capturados. Al analizar la preferencia de DS por las variedades de cerezo, solo se obtuvo diferencias significativas respecto al control en Stella ($P=0,006$), registrándose un total de 14 ♀ y 0 ♂ (Figura 33). El efecto del cebo WVM también mostró su efectividad al lograr un mayor número de capturas (28) siendo esta significativa respecto al control (7) (Figura 34).

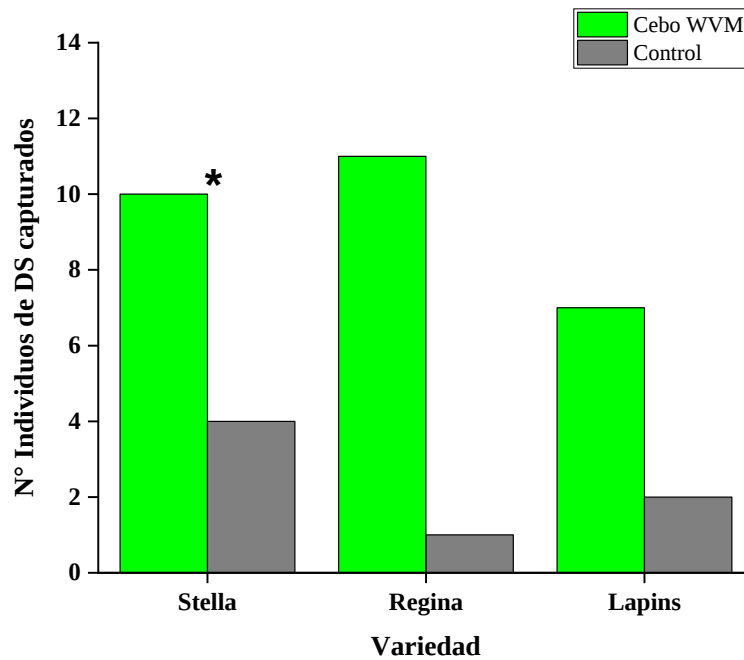


Figura 33. Individuos de *Drosophila suzukii* capturados durante noviembre de 2022 en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezos (Stella, Regina y Lapins), ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Barra de color verde indica el número de capturas en el cebo atrayente (WVM), mientras que barra de color gris muestra el número de individuos de DS capturados en el control. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).

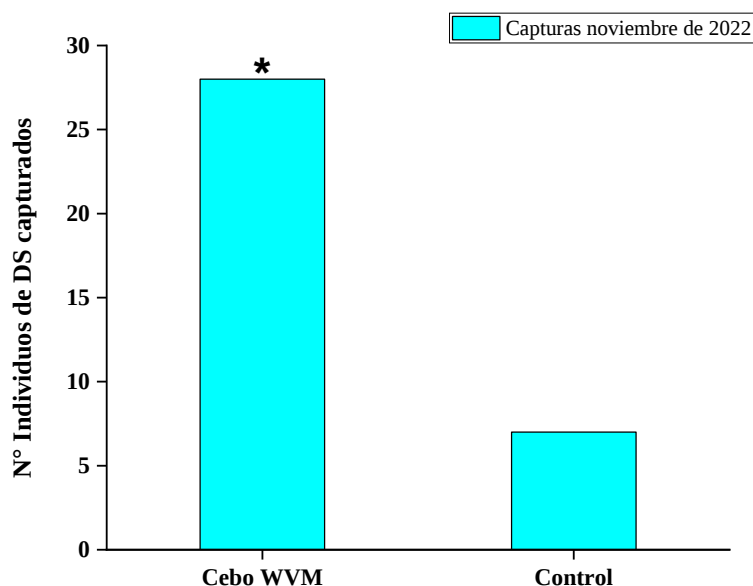


Figura 34. Captura total de individuos de *Drosophila suzukii* durante noviembre de 2022 en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).

Una situación diferente se registró en el monitoreo de diciembre de 2022. Tanto en las variedades Stella y Lapins hubo una mayor captura de DS en el control (Figura 35), siendo esta diferencia solo significativa en Lapins respecto al cebo WVM ($P=0,01$). Pese a lo anterior, la captura total mostró diferencias significativas para el cebo en comparación al control ($P=0,007$; Figura 36).

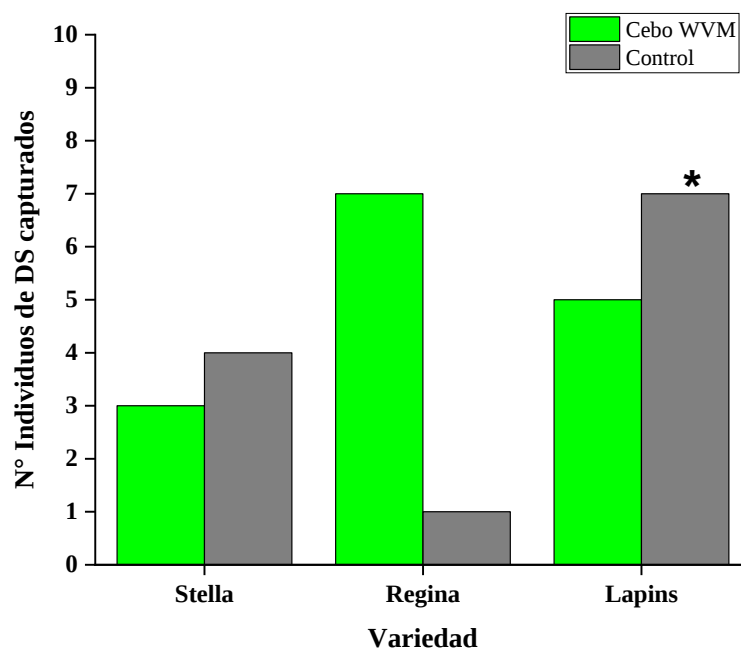


Figura 35. Individuos de *Drosophila suzukii* capturados durante diciembre de 2022 en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezos (Stella, Regina y Lapins), ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Barra de color verde indica el número de capturas en el cebo atrayente (WVM), mientras que barra de color gris muestra el número de individuos de DS capturados en el control. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).

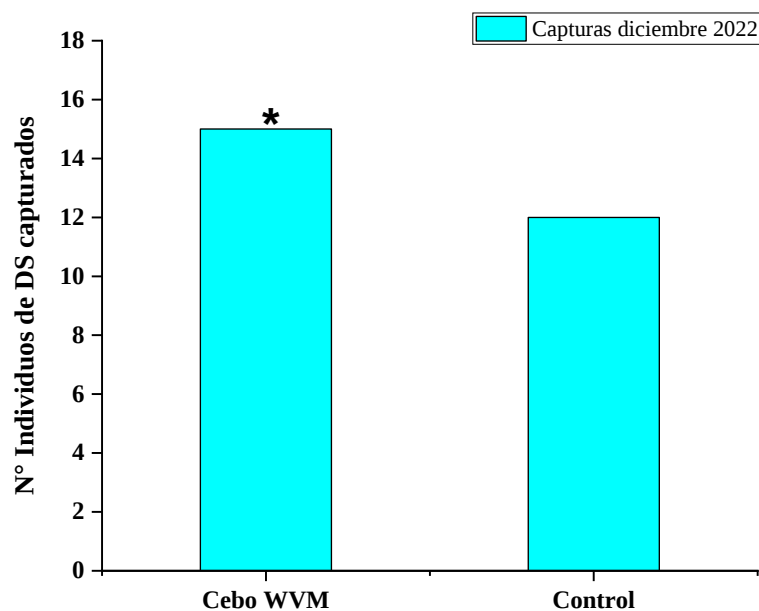


Figura 36. Captura total de individuos de *Drosophila suzukii* durante diciembre de 2022 en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento y control según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).

En la figura 37 se muestra el total de individuos capturados por mes de evaluación y el sexo correspondiente. Independiente de la preferencia de DS por el cebo WVM o el control, hubo mayor número de ♀ comparados con ♂ a lo largo del monitoreo. De un total de 237 individuos capturados, 219 correspondieron a ♀ y 18 a ♂.

Por otra parte, en la figura 38 se observa el comportamiento de DS hacia el cebo WVM y su control. Se aprecia como el insecto, independiente de su sexo, muestra su preferencia por el cebo atrayente, lo cual alcanza su máxima durante octubre de 2022. A su vez, en la figura 39, se presenta el comportamiento de DS hacia el cebo atrayente ubicado en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezo. Se observa que una de las variedades preferidas por

DS corresponde a Lapins, la cual es evidente durante octubre de 2020.

Durante los monitoreos realizados, se detectó la presencia de hongos en el cebo atrayente WVM aproximadamente a las tres semanas de instaladas las trampas, por lo cual se procedió a cambiar este cebo en el mismo periodo indicado anteriormente (Figura 40). Esto coincidió con los resultados obtenidos sobre la tasa de liberación del microencapsulado en el sentido de que el cebo WVM se liberaba durante 25 días, lo cual permite fácilmente una vida útil de tres semanas del microencapsulado, una más de lo que ofrecen los cebos líquidos. También se observó durante las evaluaciones el daño producido por las hembras en los frutos de cerezo (Figura 41).

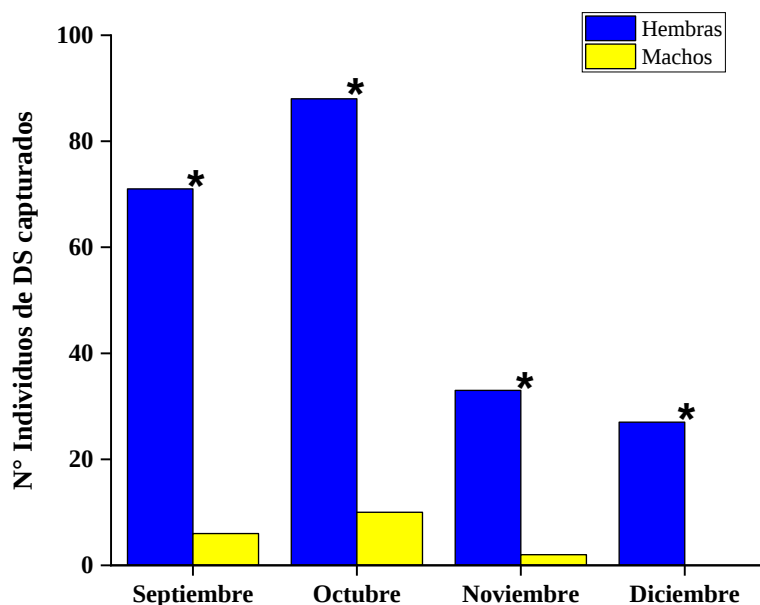


Figura 37. Individuos de DS capturados por mes y separados por sexo en trampas tipo delta ubicadas en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía. Asterisco indica diferencia significativa entre tratamiento sexos, según la prueba de t-student ($P \leq 0,05$).

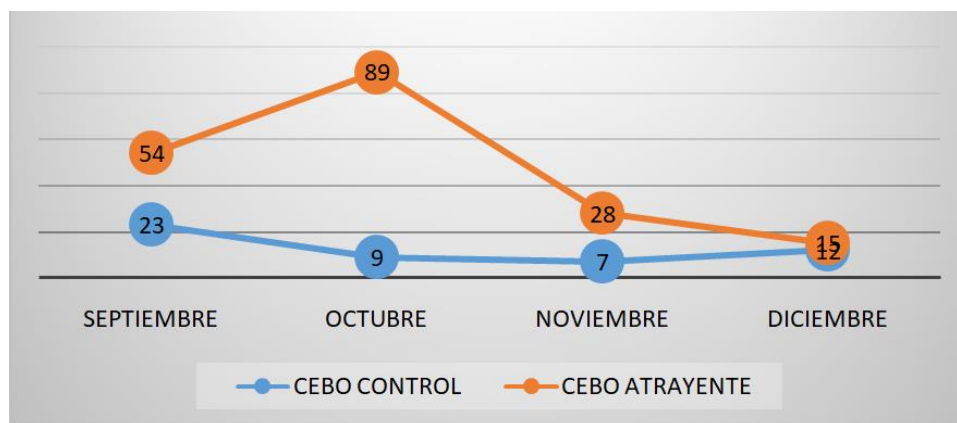


Figura 38. Atracción de *Drosophila suzukii* ante la presencia de trampas con cebo WVM y su control (alginato), durante los meses de monitoreo y evaluación en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía.

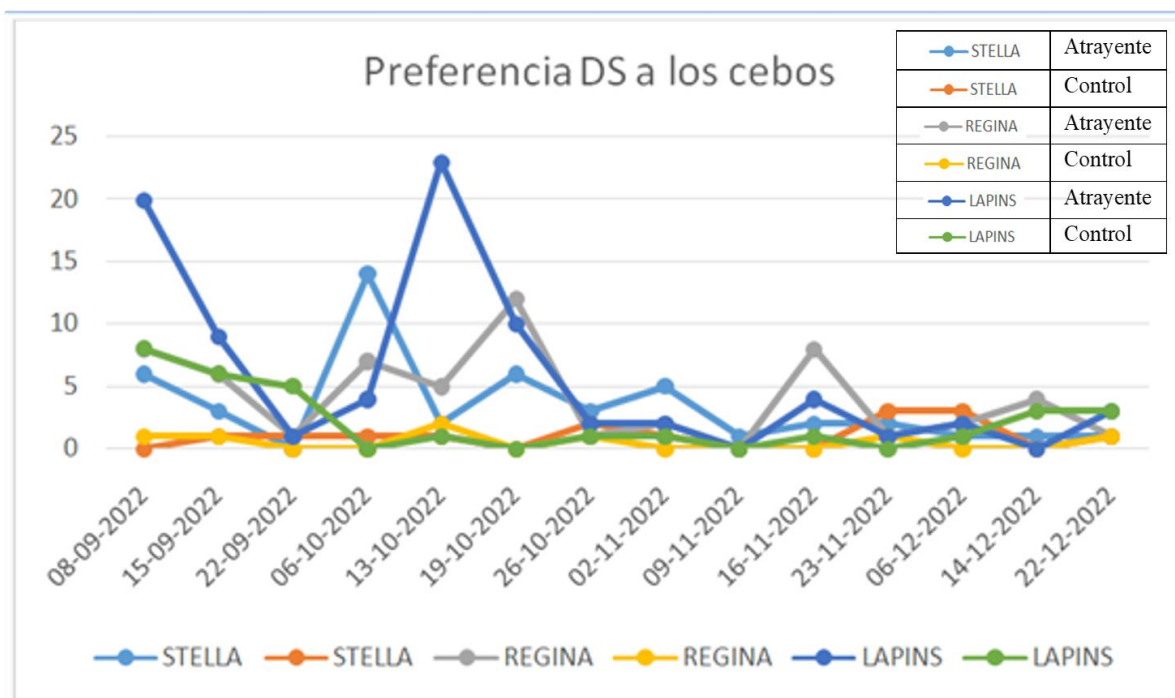


Figura 39. Preferencia de *Drosophila suzukii* sobre el cebo atrayente WVM y su control en el tiempo, dispuestos en trampas tipo delta en diferentes variedades de cerezo (Stella, Regina y Lapins) en el Campo Experimental Maquehue, comuna de Freire, Región de La Araucanía.



Figura 40. Cebo atrayente WVM con presencia de hongos a las tres semanas de haber sido instalados en las trampas tipo delta. Se procedió a cambiar el señuelo cada tres semanas, para evitar las pérdidas de sus características organolépticas y que estas influyan en el efecto de atracción del cebo hacia *Drosophila suzukii*.

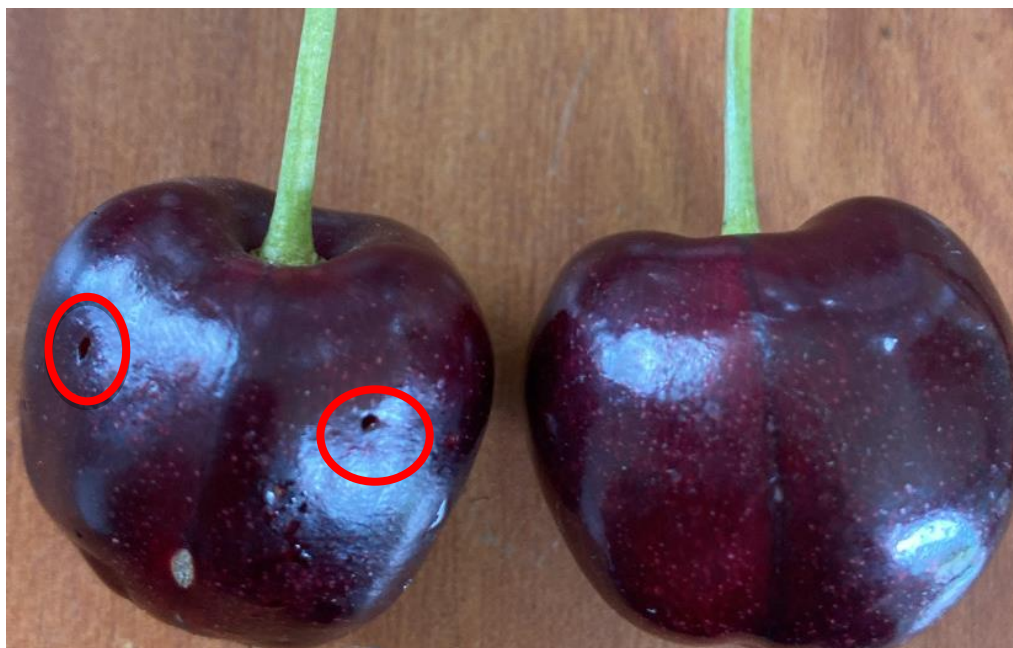


Figura 41. Muestras de cerezas recolectadas del Campo Experimental Maquehue. En los círculos rojos se aprecian claros signos de daño por el ovipositor de la hembra *Drosophila suzukii*.

Para más detalle sobre los datos registrados en los ensayos de terreno, ver anexo 3.

CAPITULO V: DISCUSIÓN.

5.1 Ensayos olfatométricos.

Estudios previos han demostrado que las señales olfativas de frutas dañadas y fermentadas juegan un papel crucial en el reconocimiento de la fuente de alimento por parte de las moscas DS (Cha et al. 2012, Asplen et al. 2015). Estas moscas se sienten atraídas típicamente por sustratos dulces fermentados, como frutas en descomposición. Sin embargo, también se ha informado que su atracción aumenta en respuesta a los aromas de vinos, vinagres y volátiles de fermentación, incluidos el ácido acético y el etanol (Burrac et al. 2015, Dzialo et al. 2017, Tait et al. 2021). Los resultados obtenidos en los ensayos olfatométricos con tubo “Y” realizados en el Laboratorio de Entomología Aplicada con ejemplares de DS, fueron estadísticamente significativos utilizando los volátiles del cebo evaluado WVM como estímulo. La respuesta de DS concordó con el reporte Liu et al. (2021) quienes trabajaron con el mismo díptero y la misma técnica olfatométrica, utilizando como estímulo, volátiles de *Osyris wightiana*, la cual es una planta hospedera silvestre, que, pese a no ser un cultivo agrícola, está reportada como hospedero secundario de DS. Al utilizar compuestos volátiles obtenidos de sus frutos, se realizaron ensayos de preferencia con 10 repeticiones compuestas por 10 ejemplares hembras de DS de manera de obtener diferencias significativas en sus análisis. Estos autores informan que la atracción significativa de DS hacia los estímulos comparada con el control estuvo en un rango entre 65 – 85%, lo cual es similar a lo obtenido en este estudio (70%). En ambas investigaciones las ♀ fueron las más atraídas por los estímulos, ya que estos volátiles son característicos del proceso de fermentación (Cloonan et al. 2018). Curiosamente, DS exhibió un comportamiento repelente a los cebos SAG I y SAG II en condiciones de laboratorio, al

contrario de lo que sucede en condiciones de campo. Una posible explicación para este comportamiento podría deberse al volumen utilizado en pruebas Olfatométricas (10 ul) en comparación con las trampas utilizadas para el monitoreo, que contiene mas de 250 mL de cebo (SAG 2017c). La investigación con dípteros hace referencia al cuidado que se debe tener al replicar la concentración de compuestos en pruebas Olfatométricas a las que el insecto está acostumbrado en la naturaleza (Raji et al. 2019) y al tipo de estímulos para obtener una respuesta por parte de DS como lo reportado Revadi et al. (2015) quienes realizaron el mismo tipo de ensayos de preferencia sobre DS, utilizando para sus pruebas como estímulos frutas frescas reportadas como hospederos (frambuesa, moras, cerezas, arándanos y frutillas) obteniendo resultados significativos no sin antes tener un número de repeticiones por estímulo no menor a 100 ejemplares.

5.2 Evaluación en campo de cebos formato líquido.

Paralelamente se realizó la evaluación en campo de los tres cebos informados y que estaban siendo evaluados en los bioensayos olfatométricos (SAG I, SAG II y WVM). Luego de ser utilizados los atrayentes antes mencionados en las trampas instaladas en terreno, la mayor captura de DS se obtuvo en las trampas con el cebo WVM (vino merlot, vinagre de manzana y melaza de caña de azúcar) confirmando la preferencia de DS por el cebo que obtuvo los mejores resultados en los ensayos de preferencia realizados en laboratorio, coincidiendo con los resultados obtenidos por Wollmann et al. (2019) quienes al utilizar atrayentes reportados para DS en trampas en terreno, obtuvieron el mejor resultado con cebos a base de vino y vinagre de manzana (62% de insectos capturados).

Con respecto a la captura de ejemplares en la trampas adhesivas llama la atención que del número total de individuos capturados, el mayor número corresponde a hembras en

comparación a individuos machos, lo que toma sentido con lo reportado por Swoboda et al. (2017), quienes atribuyen al mayor número de hembras encontradas en las trampas se debe a que las hembras reproductivamente inmaduras, son las que se sienten más atraídas por los cebos a base de fermentación que por las frutas maduras y los machos encontrados es debido a que utilizan las trampas en su búsqueda de parejas para el apareamiento.

La captura de ejemplares de DS en relación al tiempo en el Campo Experimental Maquehue nos arrojó un punto de partida “cero” con respecto a la aparición de DS y la tendencia al alza en los de ejemplares capturados durante la temporada productiva de cerezos en la zona, información que se sigue recopilando en terreno con los monitoreos periódicos realizados. La información obtenida coincide con lo reportado por la estación meteorológica de Maquehue-UFRO, Freire (Red Agrometereología 2022), en donde relaciona las temperaturas medias de temporada que oscilan para la zona de estudio entre los 15 a 25°C. que son favorables para el desarrollo de la plaga en este frutal como ha sido reportado informado previamente por Kanzawa (1939) en Japón, en el primer avistamiento reportado de DS y Hamby et al. (2013) con estudios realizados en Watsonville, California (EEUU). Ambos reportes realizados en laboratorio, en latitudes totalmente distintas, ponen a prueba individuos de DS a diferentes temperaturas de manera de establecer las temperaturas de activación del insecto (10-12°C) y de mayor actividad (22°C), coincidiendo con las temperaturas medias para la zona del huerto sometido a monitoreo.

5.3 Cinética de liberación.

La realización de la cinética de liberación, permitió probar que durante un determinado periodo de tiempo existe liberación de compuestos por parte del cebo WVM, encapsulado en una matriz de alginato y validado por los modelos matemáticos de Kors-Peppas e Higuchi.

Esta liberación fue medida por medio de la diferencia de peso en un trascurso de tiempo (120 h). Esta metodología descrita se encuentran validada por estudios anteriores reportados por Fincheira et al. (2021a,b) quienes evaluaron las propiedades térmicas transportadores de lípidos nanoestructurados de compuestos orgánicos volátiles como inductores de crecimientos en hortalizas, por medio del pesaje de una cantidad de muestra conocida (20 mg) en una bandeja de cerámica tarada y posteriormente calentada de manera de medir la liberación o lo realizado por Agnich et al. (2022), que por medio del modelo de Kors-Peppas utilizando la farmacocinética de liberación a esferas de nanoemulsiones que contenían aceites esencial de *Cymbopogon pendulus* (aceite de hierba de limón), logrando una viabilidad del compuesto encapsulado de 50 días. Los trabajos Fincheira et al. (2021a,b) confirman la integridad de sus capsulas a diferentes temperaturas evidenciando estabilidad en rangos de temperaturas que van de 20° a 30 °C, coincidiendo con el experimento montado en la cámara de ambiente controlado en donde se evaluó la durabilidad del cebo a una temperatura de 21,2°C y una humedad del 75% manteniendo su integridad y liberación de compuestos sostenida en el tiempo con una proyección de 25 días, lo que confirmaría el éxito del encapsulado en comparación con los cebos líquidos. En cuanto al uso de alginato de sodio, se obtuvieron buenos resultados de conservación y duración, además de que el alginato es un hidrocoloide adecuado para la encapsulación, por ser biocompatible, no tóxico y biodegradable (Funami et al. 2009). La poca complejidad en la realización de las capsulas brinda posibilidades de poder ser realizado a gran escala, no descartando el evaluar a futuro otros materiales encapsulantes.

5.4 Evaluación en campo con el cebo WVM encapsulado.

Si bien el uso de trampas es fundamental en el monitoreo de plagas, no siempre la captura de adultos refleja con precisión las poblaciones de insectos ni predicen la infestación de los frutos (Tait et al. 2021). Las primeras trampas reportadas para DS fueron botellas plásticas con cebos líquidos seguidas de trampas comerciales tipo contenedor, también con cebos líquidos (Lee et al. 2013). Ambos tipos de trampas dificultan el recuento y posterior reconocimiento de los insectos debido al deterioro que sufren al estar en el medio líquido. Las trampas tipo delta con una lámina adhesiva en su interior como las utilizadas en este estudio o trampas adhesivas propiamente tal, son mas prácticas para agricultores y fruticultores (Kirkpatrick et al. 2018).

Por ejemplo, la evaluación en condiciones de campo del cebo microencapsulado confirmó la significativa diferencia de DS por el cebo WVM en comparación con el control (Figs. 30, 32, 34 y 36), lo que respalda investigaciones previas de Tonina et al. (2018) y Wollmann et al. (2019) en Italia y Brasil, respectivamente. En el primer caso, Tonina et al. (2018) realizaron un estudio en huertos de cerezo en tres provincias de Italia (Modena, Trento y Verona) para evaluar diferentes cebos para la captura de DS. Los autores concluyeron que uno de los cebos con mejores resultados en cuanto a “atracción” de DS y disponibilidad para su preparación fue “Droskidrink”. La composición de este cebo fue de vinagre de manzana (75%), vino tinto (25%) y 20 g/L de caña de azúcar, similar al cebo WVM, solo que en distintas concentraciones. Por su parte, Wollmann et al. (2019) evaluaron la preferencia de adultos de DS en frutos maduros de mora y diferentes cebos alimenticios. Los adultos mostraron una mayor atracción (61,9% de los insectos capturados) hacia la mezcla WVM (la misma utilizada en este estudio) que hacia Ceratrap® (1,32%), Torula® (0,52%), Biofruit® (13,15%), Suzukii Trap® (17,6%) y vinagre de manzana (5,4%). La mezcla WVM, además

de ser el cebo más atractivo para los adultos de DS, mostró una menor selectividad por parte de insectos no objetivo, en particular especies pertenecientes a las familias Drosophilidae, Nitidulidae, Tephritidae y Vespidae. Este punto es relevante debido a que la selectividad del cebo alimentario es de suma importancia para caracterizar correctamente la densidad poblacional de la plaga objetivo en condiciones de campo, según lo reportado por (Frewin et al. 2017).

Del total de individuos capturados, el 78,5% fue colectados de trampas con el cebo WVM, mientras que el restante 21,5% se encontraron en trampas control, lo cual confirma que el cebo es efectivo y puede ser utilizado para el monitoreo de DS en huertos de cerezo.

En cuanto al sexo de los individuos capturados, el 92,9% fueron hembras, mientras que solo el 7,1% fueron machos. Una posible explicación a esta diferencia radica en que las hembras reproductoras inmaduras muestran una atracción significativa por cebos fermentados que, por frutas maduras, mientras que los machos usan la trampa para aparearse, como se observa en los ensayos olfatométricos (Fig. 23). AL respecto, en estudios previos se ha reportado que las señales olfativas de frutas dañadas y fermentadas desempeñan un papel crucial en el reconocimiento de la fuente de alimento por parte de DS. Estas moscas suelen sentirse atraídas por sustratos dulces fermentados, como frutas en descomposición. Sin embargo, también se ha informado que su atracción aumenta en respuesta al aroma de vinos, vinagres y volátiles de fermentación, incluidos el ácido acético y el etanol (Cha et al. 2012, Asplen et al. (2015), Burrak et al. (2015), Swoboda – Bhattarai et al. (2017), Sato et al. (2021), Tait et al. (2021)).

En el período de monitoreo se determinó que octubre fue el mes con mayor captura de DS, coincidiendo con las condiciones de temperatura óptimas para el desarrollo de DS (20-25 °C) (Everman et al. 2018). Además, durante este mes la mayoría de las variedades de cerezo

presentes en el Campo experimental Maquehue estaban en etapa fenológica de floración, probablemente aumentando los estímulos olfativos que atraen a DS. Si bien la temperatura es un factor fundamental para el aumento de población de DS en un momento determinado, existen otros factores igualmente importantes que contribuyen a este efecto como la humedad, el fotoperiodo, la dieta disponible y la presión de depredadores o competidores (Hamby et al. 2016, wallinford et al. 2016, Guédot et al. 2018)

En cuanto al efecto de las variedades de cerezo en la captura de este díptero, se observó que la variedad Lapins registra el mayor número de individuos capturados, seguido de Regina y Stella. Estos resultados concuerdan con el estudio de Buzzetti (2020) quien reportó altas tasas de ataque de DS en las variedades Lapins y Regina en región del Ñuble (Chile), provocando pérdidas económicas considerables, equivalentes a 5.000 – 17.550 dólares/ha.

El uso del cebo microencapsulado demostró ser eficaz para presentar el cebo “alternativo” para DS. Este nuevo formato, junto con las trampas adhesivas tipo delta, proporciona una valiosa herramienta para realizar curvas poblacionales de DS en la zona sur de Chile, lo cual es fundamental para la toma de decisiones en el control de plagas (Swoboda – Bhattarai et al. 2017).

CAPITULO VI: CONCLUSIONES.

6.0 Conclusiones

Se acepta la hipótesis propuesta en esta tesis doctoral la cual plantea que “el desarrollo de un sistema de monitoreo de *Drosophila suzukii* basado en cebos microencapsulados permitirá optimizar la captura del insecto en un huerto de cerezos”.

Al ser instaladas trampas tipo delta adhesivas en terreno utilizando los tres cebos en su formato líquido, al mismo tiempo en que se llevaban a cabo los ensayos de preferencia en tubo en Y en laboratorio, DS mostró preferencias por el cebo WVM. Esta preferencia obtenida en condiciones de campo, más tarde fue ratificada por las pruebas de laboratorio mostrando diferencia significativa de manera de reafirmar estadísticamente el comportamiento mostrado en el campo experimental.

La diferencia significativa entre machos y hembras capturados en trampas tipo delta, se debe a que los cebos a base de fermentados resultan más atractivos para hembras inmaduras que para las hembras grávidas y los machos encontrados en las trampas, se debe a que se ubican en puntos cercanos a estas de manera de poder acceder a hembras juveniles con fines reproductivos.

Los resultados obtenidos de la curva de vuelo de DS al instalar las trampas desde un inicio con los cebos en su formato líquido, permitió optimizar el calendario de aplicación de productos fitosanitarios en el Campo Experimental Maquehue para su huerto de cerezos. El primer avistamiento de DS en la temporada 2021 fue el 05 de noviembre, esta información permitió tomar como referencia dicha fecha de manera de tomar medidas preventivas con

huertos ubicados más al sur aprovechando la ventana de tiempo que daría esta alerta por las diferencias en el alza de las temperaturas entre huertos ubicado en La Araucanía y otros ubicados más al sur del país.

Las pruebas realizadas en el huerto a las temperaturas promedio para la zona de acuerdo a los reportes meteorológicos dio como resultado una gran longevidad de las capsulas ante las condiciones climáticas imperantes permitiendo una proyección de durabilidad de 25 días, confirmando su éxito en la liberación controlada de compuestos a diferencia de su símil en estado líquido que solo alcanza un máximo de durabilidad de 15 días.

El cebo WVM encapsulado es principalmente atractivo para hembras no grávidas de DS, lo que es ventajoso ya que al realizar su captura e impedir su apareamiento, repercutirá en el grado de infestación de frutos maduros, que son los elegidos por las hembras grávidas para oviponer.

El cebo WVM encapsulado cumple con el objetivo de ser atractivo para DS y duradero en el transcurso del tiempo en comparación con los cebos líquidos utilizados actualmente por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

6.1 Proyecciones futuras

Las investigaciones futuras deberán centrarse en:

- Determinar la respuesta electrofisiológica de DS a los volátiles del cebo WVM.
- Evaluar este sistema de monitoreo en huertos comerciales de cerezos.
- Evaluar su eficacia en otras plantas hospedantes de DS.

- Evaluar la eficiencia de captura de DS en trampas cebadas con WVM encapsulado versus su símil en estado líquido.
- Realizar pruebas con distintos agentes encapsulantes como por ejemplo quitosano.
- Realizar pruebas de acuerdo a condiciones climáticas de otras latitudes de huertos.

CAPITULO VII: INDICADOR DE RESULTADOS

La productividad científica durante la estadía en el programa de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias y Medioambiente de la Universidad de La Frontera, fue la siguiente:

7.1 Publicaciones.

Lizama, M., F. Alves-Santos, D. Martínez-Cisterna, C. Medina, R. Rebolledo, M. Chacón-Fuentes & L. Bardehle. Use of alginate capsules in a monitoring system for *Drosophila suzukii* in cherry orchard in the Region of La Araucanía, Chile.

Journal name: Insects

Manuscript ID: insects-3243249

7.2 Otras publicaciones.

Lizama, Marcelo, Alves, Fernando & Bardehle, Leonardo. 2021. Estrategias para el control de la mosca de alas manchadas *Drosophila suzukii*. Publicación Editorial Agrícola Española S.A. 1055:54-58.

7.3 Pasantías de investigación.

1. Estancia virtual en Universidad de Valladolid, proveniente de la Universidad de la Frontera (Chile), en calidad de doctorando entre el 1 y el 31 de octubre de 2021, dirigido por el Dr. Fernando Manuel Alves Santos, Profesor Titular de Universidad, en el Departamento

de Producción Vegetal y Recursos Forestales de la Universidad de Valladolid.

2. Estancia presencial en Universidad de Valladolid, proveniente de la Universidad de la Frontera (Chile), en calidad de doctorando entre febrero a junio 2020, dirigido por el Dr. Fernando Manuel Alves Santos, Profesor Titular de Universidad, en el Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales de la Universidad de Valladolid.

7.4 Participación en publicaciones científicas.

1. Chacón-Fuentes, M., Bardehle, L., Lizama, M., Seguel, I., & Quiroz, A. 2019. Restoration of flavonols and isoflavonoids in *Ugni molinae* subjected to a reciprocal transplant experiment in a domestication framework. *Chemistry and Ecology*, 35(2), 115-127.

2. Chacón-Fuentes, M., L. Bardehle, I. Seguel, J. Espinoza, **M. Lizama** & A. Quiroz. 2023. Herbivory damage increased VOCs in wild relatives of murtilla plants compared to their first offspring. *Metabolites* 30:13(5):616. DOI: 10.3390/metabo13050616. PMID: 37233657; PMCID: PMC10222099.

3. Chacón-Fuentes, M., D. Martínez-Cisterna, C. Reyes-Quiroz, W. Vera, P. Fincheira, **M. Lizama**, A. Quiroz & L. Bardehle. 2023. Infection on perennial ryegrass (*Lolium perenne*) by an endophyte fungus (*Neotyphodium lolii*) decreases the abundance and diversity of predators and parasitoids. *Revista Brasileira de Entomologia* 67(3): e20230012. DOI: 10.1590/1806-9665-RBENT-2023-0012

4. Chacón-Fuentes, Manuel, Daniel Martínez-Cisterna, Marcelo Lizama, Valeria Asencio-Cancino, Ignacio Matamala, and Leonardo Bardehle. 2024. "A Countermeasure Strategy against Peramine Developed by *Chilesia rudis* in the Endophyte–Ryegrass–Herbivore Model" *Journal of Fungi* 10, no. 8: 512. <https://doi.org/10.3390/jof10080512>
5. Chacón-Fuentes, M., Martínez-Cisterna, D., Reyes, C., Vera, W., Fincheira, P., Lizama, M. & Bardehle, L. (2023). Infection of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) by an endophyte fungus (*Neotyphodium lolii*) decreases the abundance and diversity of predators and parasitoids. *Revista Brasileira de Entomologia*, 67(3), e20230012.
6. Martínez-Cisterna, Daniel, Olga Rubilar, Gonzalo Tortella, Lingyun Chen, Manuel Chacón-Fuentes, Marcelo Lizama, Pablo Parra, and Leonardo Bardehle. 2024. "Silver Nanoparticles as a Potent Nanopesticide: Toxic Effects and Action Mechanisms on Pest Insects of Agricultural Importance—A Review" *Molecules* 29, no. 23: 5520. <https://doi.org/10.3390/molecules29235520>
7. Chacón-Fuentes, Manuel, Gunnary León-Finalé, Marcelo Lizama, Gastón Gutiérrez-Gamboa, Daniel Martínez-Cisterna, Andrés Quiroz, and Leonardo Bardehle. 2025. "Induced Defense in Ryegrass–Epichloë Symbiosis Against *Listronotus bonariensis*: Impact on Peramine Levels and Pest Performance" *Journal of Fungi* 11, no. 1: 50. <https://doi.org/10.3390/jof11010050>
8. Espinoza J, Soto I, Arriagada J, Lizama M, Aninao N, Aniñir W, Ungerfeld EM, Chacón-Fuentes M, Quiroz A. 2025. Volatile Cues from Fresh Cattle Dung Can Drive Horn Fly

Egg-Laying and Fecal Attraction to Horn Flies, *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae). *Insects* 16, 129. <https://doi.org/10.3390/insects16020129>

7.5 Participación en proyectos.

1. Asistente de Investigación proyecto Fondecyt Iniciación N° 11220808 titulado “The role of volatile semiochemicals emitted from cattle dung in mediating the dung selection and oviposition by horn flies, *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) and their potential use to reduce the horn fly load on cattle in field”, se desempeña como asistente de investigación en el proyecto mencionado desde marzo de 2022 hasta la fecha (Dr. Javier Espinoza Maldonado, investigador responsable).

7.6 Actividades de docencia y vinculación con el medio.

1. Ayudantía en docencia en la Carrera de Agronomía, en el periodo 2022 en la asignatura Entomología Agrícola (ARN350), Impartida por el Dr. Ramón Rebolledo Ranz.

2. Ayudantía en docencia en la carrera de Agronomía, en el período 2023 en asignaturas de Entomología Agrícola (ARN350), Entomología Ambiental (ARN425), Apicultura (ARN009) y Zoología (ARN119), impartidas por el Dr. Ramón Rebolledo Ranz, Docente del Departamento de Ciencias Agronómicas y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente, de la Universidad de La Frontera.

3. Participante como profesor asistente en la actividad “Agrónomo por un día”, actividad dirigida a futuros estudiantes de la carrera de Agronomía, realizada el 21 de noviembre 2023 en el Campo Experimental Maquehue de la Universidad de La Frontera. La actividad fue organizada por la Dirección de vinculación con el Medio de la Facultad de Ciencias

Agropecuarias y Medioambiente y la dirección de Carrera Agronomía. Certifica Dr. Leonardo Bardehle Parra, director de la Carrera de Agronomía de la Universidad de La Frontera.

4. Participación como Ayudante en docencia en asignatura “Entomología Agrícola” (ARN350) durante el 2022, asignatura dirigida por el Dr. Ramón Rebolledo Ranz. Curso de formación de carácter obligatorio para estudiantes de la carrera de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente de Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

5. Participación como Ayudante en docencia en asignatura “Introducción a la Agronomía” (APA052), durante 2023, asignatura dirigida por el Dr. Leonardo Bardehle Parra, Docente del Departamento de Producción Agropecuaria. Curso de formación de carácter obligatorio para estudiantes de la carrera de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente de Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

6. Participación como monitor en actividad del Museo Entomológico de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente de la Universidad de La Frontera. Actividad dirigida por el profesor Dr. Ramón Rebolledo Ranz cuyo objetivo tiene el difundir y acercar la ciencia a distintos sectores de la región, enfocándose en alumnos de niveles básicos y medios de la región de La Araucanía.

7. Monitor en actividades de difusión de carrera para estudiantes de educación secundaria, desarrolladas en el Departamento de Ciencias químicas y Recursos Naturales, durante el primer semestre 2023. Actividad dirigida por el director de carrera de Pedagogía mención Química, Dr. Felipe Moraga Nicolás, Universidad de La Frontera.

8. Participante en la actividad “EXPOAGRO-UFRO 2023”, realizada el 21-22 de diciembre de 2023 en el Campo Experimental Maquehue de la Universidad de La Frontera. La actividad fue organizada por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente y el Departamento de Producción Agropecuaria. Certifica Dr. Leonardo Bardehle Parra, director de la Carrera de Agronomía de la Universidad de La Frontera.

9. Participante en calidad de expositor del taller de ciencias “Identificación de insectos asociados a la agricultura: ¿amigos o enemigos?”, enmarcado en el proyecto de extensión “Fortaleciendo Lazos en Ciencias: Del Colegio a la UFRO y de la UFRO al colegio”, para estudiantes de enseñanza media del Liceo Bicentenario de Lonquimay, durante los días 9-10 de agosto 2023, dictado por el Departamento de Ciencias Químicas y Recursos Naturales.

7.7 Participación en congresos y cursos.

1. **Lizama, Marcelo**; Alvez, Fernando; Martínez, Daniel; Medina, Cristian; Rebolledo, Ramón; Bardehle, Leonardo. 2022. Use of Alginate Capsules in a Monitoring System for *Drosophila suzukii* in a Cherry Plan in the región de La Araucanía. 2^{do} Congreso Agronómico Estudiantil de la Universidad de La Frontera, Centro de Estudiantes de Agronomía. Realizado el 13, 14 y 15 de julio de 2022, Temuco-Chile.

2. Parra, Pablo; **Lizama, Marcelo**; Martínez, Daniel; Bardehle, Leonardo. 2022, “Sampling and Detection of *Drosophila suzukii* in fruit Species in Los Lagos Region, Chile”. 2^{do} Congreso Agronómico Estudiantil de la Universidad de La Frontera. Centro de Estudiantes de Agronomía. Realizado el 13, 14 y 15 de julio de 2022, Temuco-Chile.

3. **Lizama, Marcelo**; Rubilar Olga; Bardehle Leonardo. 2021. Evaluación de un sistema de monitoreo de *Drosophila suzukii* Matsumura (DS) mediante el uso de microencapsulados en huertos de cerezos de la Región de La Araucanía. II Congreso de estudiantes y graduados de Posgrado de la Universidad de La Frontera. 12 y 13 de mayo de 2021. Dirección Académica de Postgrado, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad de La Frontera, Temuco-Chile.

4. Actividad formativa de carácter transversal “Open Science”, ESD Uva. Organizada por la Universidad de Valladolid, entre los días 26 y 27 de febrero de 2020. Escuela de Doctorado Universidad de Valladolid. Actividad certificada por Doña María Carmen Camarero Izquierdo - directora de la Escuela de Doctorado.

5. Curso realizado para el Máster en Tecnologías Avanzadas para el Desarrollo Agroforestal, “Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Detección Remota”, curso académico 2019-2020 impartido por Don José Luis Marcos Robles, Profesor Titular de la ETSIIAA Coordinador de la asignatura.

6. Curso Fitopatología y Entomología Agrícola, y Sanidad Vegetal, en calidad oyente, desde febrero a Julio 2020, impartido por el Dr. Fernando M. Alves Santos, Profesor Titular de Fitopatología y Entomología. Dpto. Producción Vegetal y Rec. Forestales.

7. Curso de doctorado titulado “PhD Training Course Harper Adams University – Universidad de Valladolid”, impartido en modalidad on-line desde el 30/11/2020 al 04/12/2020, impartido por las Profesoras Dra. Laura Vickers y Dra. Iona Huang de la Harper Adams University.

8. Participación en el Observatorio de Plagas de Castilla y León: Un servicio de Apoyo para los Agricultores. Impartido en modalidad on-line, 17 noviembre 2021, organizado por Itacyl y la Junta de Castilla y León.

9. II Jornadas Virtuales Internacionales sobre Potencial de las Nanotecnologías para el Desarrollo Agroambiental, Alimentario y Forestal y la Promoción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, celebradas en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Valladolid del 9 al 12 de mayo de 2022.

10. Curso Reconocimiento de Plagas Cuarentenarias Mercado México en pomáceas (manzanas y peras) y fruta de carozo (durazno, nectarina, ciruela, plumcot, cerezas y damasco), julio de 2022, impartido por MSc. Yuri Kristal Cuevas Rivas Ing. Agrónomo, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

11. Curso con aprovechamiento la actividad formativa de carácter transversal Bioclimática Y Estrategias Pasivas De Acondicionamiento, organizado por el programa de Doctorado en Ciencia e Ingeniería Agroalimentaria y de Biosistemas de la Universidad de Valladolid, impartido entre el 22 y 30 de noviembre de 2023.

7.8 ORGANIZACIÓN DE EVENTOS CIENTÍFICOS

1. Comité Organizador “XLII Congreso Nacional de Entomología” a realizar en Abril de 2025 en la Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

CAPITULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Agnish S, Sharma AD, Kaur I. 2022. Nanoemulsions (O/W) containing *Cymbopogon pendulus* essential oil: development, characterization, stability study, and evaluation of *in vitro* anti-bacterial, anti-inflammatory, anti-diabetic activities. *BioNanoScience* 12: 540–554. <https://doi.org/10.1007/s12668-022-00964-4>.

Aguilera, A. 2006. Plagas del cerezo en la zona sur de Chile. pp. 109-127. En: Cultivo del cerezo para la zona sur de Chile. Boletín INIA N°135, Temuco, Chile.

Asoex. 2023. Exportaciones de cerezas chilenas cierran con nuevo récord en volumen. Frutas de Chile.

Asoex. 2024. Industria de la cereza chilena celebra una buena temporada y se prepara para enfrentar el desafío de crecer. Frutas de Chile.

Asplen MK, Anfora G, Biondi A, Choi DS, Chu D, Daane KM, Gibert P, Gutierrez AP, Hoelmer KA, Hutchison WD, Isaacs R, Jiang Z-L, Kárpáti Z, Kimura MT, Pascual M, Philips CR, Plantamp, C, Ponti L, Véték G, Vogt H, Walton VM, Yu Y, Zappalá L, Desneux N. 2015. Invasion biology of spotted wing Drosophila (*Drosophila suzukii*): a global perspective and future priorities. *Journal of Pest Science* 88: 469-494. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0681-z>

Baroffio C, Huber B, Marazzi C, Mariethoz J, Sandrini F, Thoss H, Zurfluh M. 2015. *Drosophila suzukii*: strategie 2015 pour les petits fruits. Agroscope Fiche Technique N° 20. Ed. Agroscope, Conthey, Switzerland.

Bellamy DE, Sisterson MS, Walse SS. 2013. Quantifying host potentials: indexing postharvest fresh fruits for spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. *PLoS ONE* 8: e61227. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061227>

Benito PN, Lopes M, Silva dos Santos R. 2016. Potential spread and economic impact of invasive *Drosophila suzukii* in Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 51(5): 571-578. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000500018>

Bizama G. 2020. Invasión de *Drosophila suzukii* (Matsumura) en Chile: Utilizando los modelos de distribución de especies como herramienta de bioseguridad. *Revista Chilena de Entomología*. (46) 61–71. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Bolda M, Goodhue R, Zalom F. 2010. Spotted wing drosophila: potential economic impact of a newly established pest. *Agricultural and Resource Economics Update* 13(3): 5-8.

Brignone SG, Ravetti S, Palma SD. 2020. Microencapsulación/recubrimiento de sistemas particulados de uso farmacéutico. *Pharmaceutical Technology Sudamamerica* (165)34–37. [[Google Scholar](#)]

Buzzetti, K. 2020. The spotted wing *Drosophila* in the South of the World: chilean case and its first productive impacts. In: Invasive Species - Introduction pathways, economic impact, and possible management pptions. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91668>

Burrack HJ, Fernandez GE, Spivey T, Kraus DA. 2013. Variation in selection and utilization of host crops in the field and laboratory by *Drosophila suzukii* Matsumara (Diptera: Drosophilidae), an invasive frugivore. Pest Management Science 69: 1173–1180. <https://doi.org/10.1002/ps.3489>

Burrak HJ, Asplen M, Bahder L, Collins J, Drummond FA, Guédot C, Issacs R, Johnson D, Blanton A, Lee JC, Loeb G, Rodríguez-Saona C, Van Timmeren S, Walsh D, McPhie DR. 2015. Multistate comparison of attractants for monitoring *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in blueberries and caneberries. Environmental Entomology 44: 704-712. <http://dx.doi.org/10.1093/ee/nvv022>

CABI. 2016. *Drosophila suzukii* (spotted wing drosophila). In: Invasive species compendium data-sheets, maps, images, abstracts and full text on invasive species of the world. Disponible en <https://www.cabi.org/isc/datasheet/109283>

Cai PM, Song YZ, Yi CD, Zhang QW, Xia HM, Lin J, Zhang HH, Yang JQ, Ji QG, Chen JH. 2019. Potential host fruits for *Drosophila suzukii*: olfactory and oviposition preferences and suitability for development. Entomologia Experimentalis et Applicata 167(5): 880-890. <https://doi.org/10.1111/eea.12840>

Carroll J. 2016. Fruit IPM Coordinator, NYS IPM. Spotted Wing *Drosophila* (SWD) Monitoring Traps. Program Based on methods tested by Steven Alm, Dept. of Plant Sciences and Entomology, University of Rhode Island, Richard Cowles, Connecticut Agricultural Experiment Station and Greg Loeb, Dept. of Entomology, Cornell University. EEUU.4 p.

Cha DH, Adams T, Rogg H, Landolt PJ. 2012. Identification and field evaluation of fermentation volatiles from wine and vinegar that mediate attraction of Spotted Wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii*. Journal of Chemical Ecology 38: 1419-1431. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0196-5>

Clymans R, Van Kerckvoorde V, Bangels E, Akkermans W, Alhmedi A, De Clercq P, Beliën T, Bylemans D. 2019. Olfactory preference of *Drosophila suzukii* shifts between fruit and fermentation cues over the season: Effects of physiological status. Insects (10)200. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Cloonan KR, Abraham J, Angeli S, Syed Z, Rodríguez-Saona C. 2018. Advances in the chemical ecology of the spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*) and its applications. Journal of Chemical Ecology 44(10): 922-939. <https://doi.org/10.1007/s10886-018-1000-y>

Cini A, Ioriatti C, Anfora G. 2012. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. Bulletin of Insectology 65: 149–160.

CIREN. 2022. Catastro Frutícola, Principales resultados, Región de La Araucanía. Publicación conjunta de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA y el Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN, Santiago, Chile. 32 p.

De Oliveira JL, Campos EVR, Bakshi M, Abhilash PC, Fraceto LF. 2014. Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: prospects and promises. *Biotechnology Advances* 32(8): 1550–1561. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.010>

Del Fava E, Ioriatti C, Melegaro A. 2017. Cost–benefit analysis of controlling the spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii* (Matsumura)) spread and infestation of soft fruits in Trentino, Northern Italy. *Pest Management Science* (73)2318–2327. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Deprá JI, Schmitz HJ, De Toni DC, Valente V. 2014. Los primeros registros de la plaga invasora *Drosophila suzukii* en el continente Sudamericano. *Journal of Pest Science* 87: 379–383.

De Ros G, Conci S, Pantezzi T, Savini G. 2015. The economic impact of invasive pest *Drosophila suzukii* on berry production in the Province of Trento, Italy. *Journal of Berry Research* 5: 89–96. <https://doi.org/10.3233/JBR-150092>

De la Vega GJ, Corley JC. 2019. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) distribution modelling improves our understanding of pest range limits. *International Journal of Pest Management* 65(3): 217–227. <https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1547460>

Donatelli M, Magarey RD, Bregaglio S, Willocquet L, Whish JPM, Savary S. 2017. Modelling the impacts of pests and diseases on agricultural systems. *Agricultural Systems* 155: 213–224. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.019>

Drogoudi P, Kazantzis K, Kunz A, Blanke MM. 2020. Effects of climate change on cherry production in Naoussa, Greece and Bonn, Germany: adaptation strategies. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 5(1): 12. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-0146-5>

Dos Santos LA., Mendes MF, Krüger AP, Blauth ML, Gottschalk MS, Garcia FR. 2017. Global potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae). *PLoS ONE*, 12, e0174318. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Dzialo MC, Park R, Steensels J, Lievens B, Verstrepen KJ. 2017. Physiology, ecology and industrial applications of aroma formation in yeast. *FEMS Microbiological Reviews* (41) S95–S128. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Ellena M, Aguilera A, Ferrada S, Montenegro A, Guerrero J, Rombolá A. 2006. Cultivo del Cerezo para la Zona Sur de Chile. Editorial Centro Regional de Investigación Carillanca, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura.

Boletín INIA N° 135. 195 p.

Econex. 2020. Sanidad Agrícola Econex, S.L. Disponible en <https://www.econex.net/es/trampas-para-insectos/econex-triangular-roja-desechable-447.html>

Escudero L, Walsh D, Batlloris L. 2012. *Drosophila suzukii*, una nueva plaga de los frutales. Vida Rural 18-22.

Espinoza J, Chacón-Fuentes M, Quiroz A, Bardehle L, Escobar-Bahamondes P, Ungerfeld, E. 2021. Antifeedant Effects and Repellent Activity of Loline Alkaloids from Endophyte-Infected Tall Fescue against Horn Flies, *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae). *Molecules*. (26)817. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

EPPO. 2024. Distribution details in Argentina. Current pest situation evaluated by EPPO on the basis of information dated 2024: Present, restricted distribution. Disponible en <https://gd.eppo.int/taxon/DROSSU/distribution/AR>.

Everman ER, Freda PJ, Brown M, Schieferecke AJ, Ragland GJ, Morgan TJ. 2018. Ovary development and cold tolerance of the invasive pest *Drosophila suzukii* (Matsumura) in the Central Plains of Kansas, United States. *Environmental Entomology* 47(4): 1013-1023. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy074>

FAO/WHO 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. FAO/WHO Expert Meeting on the Application of Nanotechnologies in the Food and Agriculture Sectors: Potential Food Safety Implications: Meeting Report, Rome. 130 p.

Fincheira P, Jofré I, Tortella G, Medina C, Quiroz A, Seabra AB, Nascimento HM, Diez MC, Rubilar O. 2021a. The prospection of plant response to 2-ketones released from nanostructured lipid carriers. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 21: 1474–1483. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00454-8>

Fincheira P, Rubilar O, Tortella G, Medina C, Seabra AB, Nascimento M, Diez MC, Quiroz A. 2021b. Formulation of a Controlled-Release Carrier for 2-ketones Based on Solid Lipid Nanoparticles to Increase Seedling Growth in *Lactuca sativa* and *Solanum lycopersicum*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 21: 3002–3015. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00585-y>.

Fiore N, Zamorano A, González C, Gamboa C, Pino AM. 2021. Especies virales presentes en el cerezo en Chile. *Redagráfica* 42-45.

Forim MR, Costa ES, da Silva MF das GF, Fernandes JB, Mondego JM, Boiça Junior AL. 2013. Development of a new method to prepare nano-microparticles loaded with extracts of *Azadirachta indica*, their characterization and use in controlling *Plutella xylostella*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61(38): 9131–9. <https://doi.org/10.1021/jf403187y>

Frewin AJ, Renkema J, Fraser H, Hallett RH. 2017. Evaluation of attractants for monitoring *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Journal of Economic Entomology* 110: 1156-1163. <https://doi.org/10.1093/jee/tox081>

Funami T, Fang Y, Noda S, Ishihara S, Nakauma M, Draget K, Nishinari K, Phillips G. 2009. Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and Ca²⁺ binding. *Food Hydrocolloids* 23(7): 1746-1755. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.02.014>

Funes C, Kirschbaum D, Escobar L, Heredia A. 2018. La mosca de las alas manchadas, *Drosophila suzukii* (Matsamura) Nueva plaga de las frutas finas en Argentina. INTA. Tucumán, Argentina. 28p.

Gay, C. 1865. Historia Física y Política de Chile, Tomo II, Agricultura. Museo de Historia Natural de Santiago. 526p.

Góngora CE, Tapias J, Jaramillo J, Medina R, Gonzalez S, Casanova H, Ortiz A, Benavides P. 2020. Evaluation of terpene-volatile compounds repellent to the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Chemical Ecology* 46: 881–890. <https://doi.org/10.1007/s10886-020-01202-5>

González G, Mary AL, Goñi B. 2015. *Drosophila suzukii* (Matsumura) found in Uruguay. *Drosoph. Inf. Serv.* 98, 103–107. [[Google Scholar](#)]

Ghormade V, Deshpande MV, Paknikar KM. 2011. Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances* 29(6): 792–803. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.06.007>

Guédot C, Avanesyan A, Hietala-Henschell K. 2018. Effect of temperature and humidity on the seasonal phenology of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Wisconsin. *Environmental Entomology*. (47)1365–1375. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Hauser M, A historic account of the invasion of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) 2011. in the continental United States, with remarks on their identification. *Pest Management. Science*. 67, 1352–1357. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Hauser C, McCarthy M. 2009. Streamlining ‘search and destroy’: cost-effective surveillance for invasive species management. *Ecology Letters* 12: 683-692. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01323.x>

Hamby KA, Kwok RS, Zalom FG, Chiu JC. 2013. Integrating circadian activity and gene expression profiles to predict chronotoxicity of *Drosophila suzukii* response to insecticides. *PLoS ONE* 8(7): e68472. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068472>

Hamby KA, Bellamy DE, Chiu JC, Lee JC, Walton VM, Wiman NG, York RM. 2016.

Biondi, A. Biotic and abiotic factors impacting development, behavior, phenology, and reproductive biology of *Drosophila suzukii*. Journal Pest Science. (89)605–619. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Howard SR, Shrestha M, Schramme J, Garcia JE, Avargues-Weber A, Greentree AD, Dyer, AG. 2019. Honeybees prefer novel insect-pollinated flower shapes over bird-pollinated flower shapes. Current Zoology 65(4): 457-465. <https://doi.org/10.1093/cz/zoy095>

Ilgin P, Ozay H; Ozay O. 2019. A new dual stimuli responsive hydrogel: Modeling approaches for the prediction of drug loading and release profile. European Polymer Journal 113: 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.02.003>

INE. 2018. Estadísticas agropecuarias, Conectado el 24 de Julio de 2019. Disponible en <https://www.ine.cl/estadisticas/economicas/estadisticas-agropecuarias>.

Ioriatti C, Walton V, Dalton D, Anfora G, Grassi A. 2015. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) and its potential impact to wine grapes during harvest in two cool climate wine grape production regions. Journal of Economic Entomology 108(3):1148–1155. <https://doi.org/10.1093/jee/tov042>

Jaffe BD, Avanesyan A, Bal HK, Feng Y, Grant J, Grieshop MJ, Lee JC, Liburd OE, Rhodes E, Rodriguez-Saona C, et al. 2018. Multistate comparison of attractants and the impact of fruit development stage on trapping *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in raspberry and blueberry. Environmental Entomology (47)935–945. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Jahrome LP, Ghazali M, Ashrafi H, Azadi A. 2020. A comparison of models for the analysis of the kinetics of drug release from PLGA-based nanoparticles. Heliyon 6(2): e03451. <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03451>

Kanzawa T. 1936. Studies on *Drosophila suzukii* Mats. Journal of Plant Protection (Tokyo) 23: 66–70.

Kanzawa T. 1939. Studies on *Drosophila suzukii* Mats. Kofu, Yamanashi Agricultural Experiment Station. Review of Applied Entomology 29:622.

Khot LR, Sankaran S, Maja JM, Ehsani, R, Schuster EW. 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. Crop Protection 35: 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.01.007>

Kirkpatrick DM, Gut LJ, Miller JR. 2018. Estimating monitoring trap plume reach and trapping area for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Michigan tart cherry. Journal of Economic Entomology 111: 1285-1289. <https://doi.org/10.1093/jee/toy062/4945378>

Kirschbaum D, Funes C, Escobar L, Heredia A. 2018. La mosca de las alas manchadas:

Drosophila suzukii, Matsamura. Ediciones INTA. Primera Edición. Tucumán, Argentina. 28 p.

Kleiber JR, Unelius CR, Lee JC, Suckling DM, Qian MC, Bruck DJ. 2014. Attractiveness of fermentation and related products to spotted wing *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae). *Environmental Entomology*. (43)439–447. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Koschier E, De Kogel W, Visser J. 2000. Assessing the attractiveness of volatile plant compounds to western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology* 26: 2643-2655. <https://doi.org/10.1023/A:1026470122171>.

Lasa, R., Tadeo, E., Toledo-Hernández, R. A., Carmona, L., Lima, I., & Williams, T. 2017. Improved capture of *Drosophila suzukii* by a trap baited with two attractants in the same device. *PloS one*, 12(11), e0188350.

Leach H, Moses J, Hanson E, Fanning P, Isaacs R. 2018. Rapid harvest schedules and fruit removal as non-chemical approaches for managing spotted wing *Drosophila*. *Journal of Pest Science* 91: 219–226. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0873-9>

Lee JC, Bruck DJ, Curry H, Edwards DL, Haviland DR, Van Steenwyk RA, Brian M Yorgey BM. 2011. The susceptibility of small fruits and cherries to the spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. *Pest Management Science* 67(11):1358–1367. <https://doi.org/10.1002/ps.2225>

Lee JC, Burrack HJ, Barrantes LD, Beers EH, Dreves AJ, Hamby KA, Haviland DR, Isaacs R, Richardson TA, Shearer PW, Stanley CA, Walsh DB, Walton VM, Zalom FG, Bruck DJ. 2012. Evaluation of monitoring traps for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in North America. *Journal of Economic Entomology* 105: 1350–1357. <https://doi.org/10.1603/EC12132>

Lee, JC, Shearer PW, Barrantes LD, Beers EH, Burrack HJ, Dalton DT, Dreves AJ, Gut LJ, Hamby KA, Haviland DR, Isaacs R, Nielsen AL, Richardson T, Rodriguez-Saona CR, Stanley CA, Walsh DB, Walton VM, Yee WL, Zalom FG, Bruck DJ. 2013. Trap designs for monitoring *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Environmental Entomology* 42(6): 1348–1355. <https://doi.org/10.1603/EN13148>

Lee J, Dreves A, Cave A, Kawai S, Isaac R, Miller J, Van Timmeren S, Bruck D. 2015. Infestation of wild and ornamental noncrop fruits by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Annals of the Entomological Society of America* 108(2): 117-129. <https://doi.org/10.1093/aesa/sau014>

Lemus, G. 2005. El cultivo del cerezo. Boletín INIA N°133. Santiago, Chile. 255p.

Liu Y, Cui Z, Shi M, Kenis M, Dong W, Zhang F, Zhang J, Xiao C, Chen L. 2021. Antennal and Behavioral Responses of *Drosophila suzukii* to Volatiles from a Non-Crop Host, *Osyris wightiana*. *Insects* 12(2): 166. <https://doi.org/10.3390/insects12020166>.

Loeb G, Carroll J, Mattoon N, Rodriguez-Saona C, Polk D, McDermott L, Nielsen A. 2018. Spotted Wing *Drosophila* IPM in Raspberries and Blackberries. Northeastern IPM Center through Grant #2014-70006-22484 from the National Institute of Food and Agriculture, Crop Protection and Pest Management, Regional Coordination Program. 11 p.

Lue C, Mottern J, Walsh G, Burrington M. 2017. New record for the invasive spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera: Drosophilidae) in Anillaco, western Argentina. Proceedings of the Entomological Society of Washington 119(1): 146-150. <https://doi.org/10.4289/0013-8797.119.1.146>

Macaya C. 2024. China: Cherries import and export statistics in 2023. Smart Cherry World.

Michaelakis A, Papachristos DP, Rumbos CI, Athanassiou CG. 2018. Effect of the combined application of microencapsulated synthetic oviposition pheromone (MSP) with different larvicidal agents on the oviposition of *Culex pipiens* biotype molestus. Pest Management Science 74(2): 392–397. <https://doi.org/10.1002/ps.4719>

Montt M, Urdinez F, Aguirres I, Matamala G. 2024. El auge de las cerezas chilenas y el desafío del mercado chino. Impactos de China en América Latina (ICLAC), Iniciativa Científica Milenio de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID). 9-10 pp.

Mossa TH. 2016. Green pesticides: essential oils as biopesticides in insect-pest management. Journal of Environmental Science and Technology 9(5): 354-378. <https://doi.org/10.3923/jest.2016.354.378>

Mundoagro. 2021. *Drosophila suzukii*: Una plaga que impacta la economía frutícola del sur. Disponible en: <https://www.mundoagro.cl>. Conectado el 15 de noviembre de 2022.

Muñoz M. 2015. Cerezas: frutas en expansión. ODEPA, 1-3 pp.

Mutis A, Parra L, Manosalva L, Palma R, Candia O, Lizama M, Pardo F, Perich F, Quiroz A. 2010. Electroantennographic and behavioral responses of adults of raspberry weevil *Aegorhinus superciliosus* (Coleoptera: Curculionidae) to odors released from conspecific females. Environmental Entomology 39(4): 1276-1282. <https://doi.org/10.1603/EN10009>

Noble R, Shaw B, Walker A, Whitfield EC, Deakin G, Harris A, Dobrovin-Pennington A, Fountain MT. 2023. Control of spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*) in sweet cherry and raspberry using bait sprays. Journal of Pest Science 96(2): 623-633. <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01566-5>

ODEPA. 2024. Catastro frutícola. Disponible en https://apps.odepa.gob.cl/powerBI/boletin_fruta_2024.html

O'Gorman D, Haag P, Boulé J, Healy G, Fraser J, Walker M, Úrbez-Torres JR. 2023. Microbial communities of sweet cherry (*Prunus avium* L.) and assessment of their

association with cherry slip-skin-maceration disorder. Canadian Journal of Plant Pathology 45(1): 57-69. <https://doi.org/10.1080/07060661.2022.2097315>

Pefaur J. 2020. Evolución de la fruticultura chilena en los últimos 20 años. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – ODEPA, Ministerio de Agricultura. 18p.

Pourtalebi L, Ghazali M, Ashrafi H, Azadi A. 2020. A comparison of models for the analysis of the kinetics of drug release from PLGA-based nanoparticles. Heliyon 6, e03451. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Raji JI, Melo N, Castillo JS, González S, Saldana V, Stensmyr MC, DeGennaro M. 2019. Aedes aegypti mosquitoes detect acidic volatiles found in human odor using the IR8a pathway. Current Biology (29)1253–1262. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Red Agrometereológica de INIA. 2022. Estación Maquehue UFRO, Freire. <https://agrometeorologia.cl/#>

Renkema JM, Buitenhuis R, Hallett RH. 2014. Optimizing trap design and trapping protocols for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). Journal Economic of Entomology 107: 2107-2118. <http://dx.doi.org/10.1603/EC14254>

Revadi SV, Vitagliano S, Rossi MV, Ramasamy S, Mansourian S, Carlin S, Vrhovsek U, Becher PG, Mazzoni V, Rota-Stabelli O, Angeli S, Dekker T, Anfora G. 2015. Olfactory responses of *Drosophila suzukii* females to host plant volatiles. Physiological Entomology 40: 54-64. <https://doi.org/10.1111/phen.1208>.

Ríos-Aguirre S, Gil-Garzón MA. 2021. Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: Una revisión. TecnoLógicas (24)206–223. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Riyajan SA, Sakdapipanich JT. 2009. Development of a controlled release neem capsule with a sodium alginate matrix, crosslinked by glutaraldehyde and coated with natural rubber. Polymer Bulletin 63(4): 609–622. <https://doi.org/10.1007/s00289-009-0126-z>

Rojas O, Andrade J, Concha C, Astudillo F. 2019. Manual de Reconocimiento. Estados de desarrollo de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) y otras especies del género, comunes en el sur de Chile. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero. Primera edición. 76 pp.

Rota-Stabelli O, Blaxter M, Anfora G. 2013. Quick Guide: *Drosophila suzukii*. Current Biology 23(1): 8-9.

SAG. 2017a. Resolución Exenta N°:3672. Medidas Fitosanitarias De Emergencia Provisionales Para La Plaga Drosófila De Alas Manchadas- *Drosophila suzukii* (Matsumura). Diptera: Drosophila. Departamento de Sanidad Vegetal. División Protección Agrícola y Forestal. Ministerio de Agricultura de Chile. 2017. Available online: <http://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2017/06/20/41788/01/1229986.pdf>

SAG. 2017b. Ficha Técnica N°1. Manejo Cultural de *Drosophila suzukii*. Subdepartamento Moscas de la Fruta. Departamento de Sanidad Vegetal. División Protección Agrícola y Forestal. Ministerio de Agricultura de Chile.

SAG. 2017c. Ficha Técnica N° 2. Detección de insectos adultos de *Drosophila suzukii* por medio del uso de trampas. Subdepartamento Moscas de la Fruta. Departamento de Sanidad Vegetal. División Protección Agrícola y Forestal. Ministerio de Agricultura de Chile

SAG. 2017e. Ficha Técnica N° 7. Hospedantes y daños de *Drosophila suzukii*. Subdepartamento Moscas de la Fruta. Departamento de Sanidad Vegetal. División Protección Agrícola y Forestal. Ministerio de Agricultura de Chile

SAG. 2018. *Drosophila suzukii*. Programa moscas de la Fruta. Subdepartamento Sanidad Vegetal/División Protección Agrícola y Forestal. Ministerio de Agricultura de Chile. Disponible en <http://www.sag.cl>. Conectado el 10 de diciembre de 2022.

SAG. 2019. Resolución Exenta N°1943. Ministerio de Agricultura de Chile.

Santadino MV, Riquelme MB, Ansa MA, Bruno M, Di Silvestro G, Lunazzi EG. 2015. Primer registro de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) asociado al cultivo de arándanos (*Vaccinium* spp.) de Argentina. Revista Sociedad Entomológica Argentina. 74, 183–185. [[Google Scholar](#)]

Sasaki M, Sato R. 1995. Bionomics of the Cherry Drosophila, *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera:Drosophilidae) in Fukushima Prefecture. 2. Overwintering and Number of Generations. Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan 46: 164-172.

Sato A, Tanaka KM, Yew JY, Takahashi A. 2021. *Drosophila suzukii* avoidance of microbes in oviposition choice. Royal Society Open Science 8: 201601. <https://doi.org/10.1098/rsos.201601>

SENASICA. 2013. Mosca Del Vinagre de Alas Manchadas (*Drosophila suzukii* Matsumura); Sader: Mexico City, México. 21p. [[Google Scholar](#)]

Shawer R, Tonina L, Tirello P, Duso C, Mori N. 2018. Laboratory and field trials to identify effective chemical control strategies for integrated management of *Drosophila suzukii* in European cherry orchards. Crop Protection 103: 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.09.010>

Sorribas R, Lekunberri A. 2013. Mecanismos de control para *Drosophila suzukii*, dentro de la GIP. III Jornadas Internacionales sobre feromonas, atrayentes, trampas y control biológico: herramientas para la gestión integrada. http://www.programamoscamed.mx/EIS/biblioteca/libros/informes/Sorribas%20and%20Gomez_2013_2%20.pdf.

Spies J, Liburd O. 2019. Comparison of attractants, insecticides, and mass trapping for managing *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in blueberries. *Florida Entomologist* 102: 315-321. <https://doi.org/10.1653/024.102.0205>

Steffan SA, Lee JC, Singleton ME, Vilaire A, Walsh DB, Lavine LS. 2013. Susceptibility of cranberries to *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Journal of Economic Entomology* 106: 2424–2427. <https://doi.org/10.1603/ec13331>

Swoboda-Bhattarai KA, McPhie DR, Burrack HJ. 2017. Reproductive status of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) females influences attraction to fermentation-based baits and ripe fruits. *Journal of Economic Entomology* 110: 1648-1652. <https://doi.org/10.1093/jee/tox150>

Taits G, Mermer S, Stockton D, Lee J, Avosani S, Abrieux A, Anfora G, Beers E, Biondi A, Burrack H, Cha D, Chiu JC, Choi M-Y, Cloonan K, Crava CM, Daane KM, Dalton DT, Diepenbrock L, Fanning P, Ganjisaffar F, Gómez MI, Gut L, Grassi A, Hamby K, Loeb G, Rossi-Stacconi MV, Nieri R, Pfab F, Puppato S, Rendon D, Renkema J, Rodríguez-Saona C, Rogers M, Sassú, Schöneberg T, Scott MJ, Seagraves M, Sial A, Van Timmeren S, Wallingford A, Wang X, Yeh DA, Zalom FG, Walton VM. 2021. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): A decade of research towards a sustainable integrated pest management program. *Journal of Economic Entomology* 114(5): 1950-1974. <https://doi.org/10.1093/jee/toab158>

Tonina L, Grassi A, Caruso S, Mori N, Gottardello A, Anfora G, Giomi F, Vaccari G, Ioriatti C. 2018. Comparison of attractants for monitoring *Drosophila suzukii* in sweet cherry orchards in Italy. *Journal of Applied Entomology* 142(1-2): 18-25. <https://doi.org/10.1111/jen.12416>

Thistlewood, H.; Gill, P.; Beers, E.; Shearer, P.; Walsh, D.; Rozema, B.; Acheampong, S.; Castagnoli, S.; Yee, W.; Smytheman, P.; et al. 2018. Spatial Analysis of Seasonal Dynamics and Overwintering of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in the Okanagan-Columbia Basin, 2010–2014. *Environmental Entomology*. 47(221–232). [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Van Timmeren S, Mota-Sanchez D, Wise JC, Isaacs R. 2018. Baseline susceptibility of spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*) to four key insecticide classes. *Pest Management Science* 74:78–87. <https://doi.org/10.1002/ps.4702>

Wallingford AK, Lee JC, Loeb GM. 2016. The influence of temperature and photoperiod on the reproductive diapause and cold tolerance of spotted-wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. (159)327–337. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

Walsh DB, Bolda M, Goodhue R, Dreves A, Lee J, Bruck D, Walton V, O'Neal S, Zalom F. 2011. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. *Journal of Integrated Pest Management* 106: 289–295. <https://doi.org/10.1603/IPM10010>

Wang CJ, Wang R, Yu CM, Dang XP, Sun WG, Li QF, Wang XT, Wan JZ. 2021. Risk assessment of insect pest expansion in alpine ecosystems under climate change. *Pest Management Science* 77(7): 3165-3178. <https://doi.org/10.1002/ps.6354>

Wilson J, Gut L, Rothwell N, Haas M, Pochubay E, Powers K, Whalon M, Wise J. 2017. Managing Spotted Wing *Drosophila* In Michigan Cherry. Department of Entomology. Trevor Nichols Research Center. Northwest Michigan Horticulture Research Center MICHIGAN STATE UNIVERSITY. EE.UU. 8p.

Wollmann J, Schlesener DCH, Vieira JGA, Bernardi D, Garcia MS, Garcia FRM. 2019. Evaluation of food baits to capture *Drosophila suzukii* in the Southern of Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 91(2): e20180375. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920180375>

Yeh D, Drummond F, Gómez M, Fan X. 2020. The Economic Impacts and Management of Spotted Wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): The Case of Wild Blueberries in Maine. *Jornal of Economic Entomology* 113, 1262–1269. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Yu D, Zalom FG, Hamby KA. 2013. Host status and fruit odor response of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) to figs and mulberries. *Journal of Economic Entomology* 106: 1932–1937. <https://doi.org/10.1603/EC12480>

CAPITULO IX: ANEXOS

Anexo 1.

Tabla de plaguicidas autorizados en Chile para el control de *Drosophila suzukii* (SAG 2023).

Nº	Nº de aut.	Nombre comercial	Ingrediente activo	Empresa titular autorización	Resoluciones	Inicia vigencia
1	1841	Exirel	Ciantraniliprol	FMC Química Chile Limitada	5720/2020 - 7352/2021	24-08-2020
2	1581	Imidan 70 WP	Fosmet	Basf Chile S.A.	5926/2020	01-09-2020
3	1727	Bull	Gamma-cihalotrina	FMC Química Chile Limitada	5934/2020 - 7760/2021	01-09-2020
4	1693	Mageos	Alfa-cipermetrina	Basf Chile S.A.	6677/2020	01-10-2020
5	1706	Entrust	Espinosad	Dow Agrosciences Chile S.A.	7243/2020 - 3536/2021	21-10-2020
6	1582	Karate con tecnología zeon	Lambda-cihalotrina	Syngenta S.A.	7477/2020 - 3010/2021	30-10-2020
7	1779	Delegate	Espinetoram	Dow Agrosciences Chile S.A.	7479/2020 - 3273/2021	30-10-2020
8	1854	Minecto pro	Abamectina / ciantraniliprol	Syngenta S.A.	5997/2022	16-10-2022
9	1774	Ampligo 150 ZC	Clorantraniliprol / lambda-cihalotrina	Syngenta S.A.	7519/2020	31-10-2020
10	1560	Success 48	Espinosad	Dow Agrosciences Chile S.A.	241/2021 - 3639/2021	12-01-2021
11	1873	Acetamiprid 20% SP	Acetamiprid	Agrospec S.A.	4673/2022	12-08-2022
12	1836	Lambda cihalotrina 50 EC	Lambda-cihalotrina	Newpat Chemicals SpA	2107/2021 - 4864/2021	06-04-2021
13	1789	Knockout	Lambda-cihalotrina	Agrospec S.A.	2207/2021 - 1785/2022	12-04-2021
14	1820	Overkill	Acetamiprid	Agrospec S.A.	2208/2021 - 4840/2021	12-04-2021
15	1833	Invicto 50 CS	Lambda-cihalotrina	Point Chile S.A.	2209/2021	12-04-2021
16	1852	Quilate 700 WP	Acetamiprid	Point Chile S.A.	2210/2021	12-04-2021
17	1897-o	Grandevo WG	Chromobacterium subtsugae cepa praa4-1t	Anasac Chile S.A.	4525/2022	08-08-2022
18	1603-o	Neem-x	Azadiractina	Marketing ARM Chile S.A.	2869/2021	12-05-2021
19	1761	Karate con tecnología zeon 050 CS	Lambda-cihalotrina	Syngenta S.A.	3011/2021	17-05-2021
20	1799	Ninja	Lambda-cihalotrina	Syngenta S.A.	3009/2021	17-05-2021
21	1891-o	Nofly WP	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i> cepa fe 9901	Bioamerica S.A.	5651/2022	03-10-2022
22	1765-o	Biocap	Capsaicina	Dropco S.A.	6306/2022	28-10-2022
23	1898	Fastac duo	Alfa-cipermetrina/acetamiprid	Basf Chile S.A.	4508/2021	21-07-2021
24	1835	Acetamiprid 70% WP	Acetamiprid	Newpat Chemicals SpA	4896/2021	05-08-2021

25	1838	Predator	Acetamiprid	Arysta Lifescience Chile S.A.	6698/2021	19-10-2021
26	1546	Mospilan	Acetamiprid	Mitsui & Co. (Chile) Ltda.	6888/2021	27-10-2021
27	1853	Starkle 20 % SG	Dinotefurano	Summit Agro Chile SpA	7841/2021	01-12-2021
28	1890	Trebon 30 EC	Etofenprox	Summit Agro Chile SpA	8078/2021	15-12-2021
29	1907	Quilate 225 SL	Acetamiprid	Point Industrial y Comercial Chile S.A.	8075/2021	15-12-2021
30	1819	Cormoran EC	Acetamiprid / novalurón	Makhteshim Agan Chile SpA	1699/2022	31-03-2022
31	2843	Acute	Capsaicina (en oleorresina de <i>Capsicum</i> spp.) / isotiocianato de alilo (en aceite esencial de mostaza - <i>Brassica nigra</i>)	Adama Chile S.A.	1698/2022	31-03-2022
32	1663	Talstar 10 EC	Bifentrina	FMC Química Chile Limitada	1873/2022	11-04-2022
33	1916	Botanigard 22 WP	<i>Beauveria bassiana</i> cepa gha attc 74250	AP Consulting SpA	1871/2022	11-04-2022
34	1767	Coragen	Clorantpriliprol	FMC Química Chile Limitada	3659/2022	24-06-2022
35	1831	Colt 45 WP	Acetamiprid / lambda-cihalotrina	Anasac Chile S.A.	4354/2022	29-07-2022
36	1567	Zero 5 EC	Lambda-cihalotrina	Anasac Chile S.A.	4353/2022	29-07-2022
37	1908	Juno 45% WP	Acetamiprid / lambda-cihalotrina	Agrospec S.A.	4692/2022	16-08-2022
38	1834	Bifentrin 100 EC	Bifentrina	Newpat Chemicals SpA	5414/2022	20-09-2022

Anexo 2

a) Instalación trampas adhesivas en campo Experimental Maquehue – UFRO.



b) Revisión trampas adhesivas.

Trampa con cebo atrayente en comparación con trampa con su control respectivo.



c) Identificaciónn ejemplares en laboratorio.



d) Elaboración Encapsulados (pruebas preliminares).



e) Elaboración encapsulados (pruebas preliminares).



Anexo 3

Tablas de monitoreo de trampas, divididas en los meses correspondientes a la temporada de estudio (4 meses).

Tabla 1. Monitoreo correspondiente al mes de septiembre. Se observa claramente en la tabla la captura de individuos DS separados por sexo, variedad de cerezo y tipo de cebo.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	VARIEDAD	TRAMPAS	08-09-2022	08-09-2022	15-09-2022	15-09-2022	22-09-2022	22-09-2022
2			HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO
3	STELLA	T1 CEBO	5	0	0	0	0	0
4		T2 CONTROL	0	0	1	0	1	0
5		T3 CEBO	0	0	1	0	0	0
6		T4 CONTROL	0	0	0	0	0	0
7		T5 CEBO	1	0	2	0	0	0
8		T6 CONTROL	0	0	0	0	0	0
9								
10	REGINA	T1 CONTROL	0	0	0	0	0	0
11		T2 CEBO	3	0	2	0	0	0
12		T3 CONTROL	0	1	0	0	0	0
13		T4 CEBO	2	0	4	0	0	0
14		T5 CONTROL	0	0	1	0	0	0
15		T6 CEBO	3	0	0	0	1	0
16								
17	LAPINS	T1 CEBO	8	0	3	0	0	0
18		T2 CONTROL	2	2	3	0	2	0
19		T3 CEBO	7	0	2	0	0	0
20		T4 CONTROL	1	1	0	0	0	1
21		T5 CEBO	5	0	4	0	1	0
22		T6 CONTROL	1	1	3	0	2	0

Tabla 2. Monitoreo correspondiente al mes de octubre. Se observa el número de individuos recolectados según sexo, variedad de cerezo y tipo de cebo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	VARIEDAD	TRAMPAS	06-10-2022	06-10-2022	13-10-2022	13-10-2022	19-10-2022	19-10-2022	26-10-2022	26-10-2022
2			HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO
3	STELLA	T1 CEBO	4	0	1	0	2	0	0	1
4		T2 CONTROL	0	0	1	0	0	0	0	2
5		T3 CEBO	5	0	0	0	0	0	0	2
6		T4 CONTROL	0	0	0	0	0	0	0	0
7		T5 CEBO	5	0	1	0	4	0	0	0
8		T6 CONTROL	1	0	0	0	0	0	0	0
9										
10	REGINA	T1 CONTROL	0	0	0	0	0	0	0	0
11		T2 CEBO	4	0	1	0	4	0	0	1
12		T3 CONTROL	0	0	1	0	0	0	0	1
13		T4 CEBO	1	0	4	0	2	0	0	0
14		T5 CONTROL	0	0	1	0	0	0	0	0
15		T6 CEBO	2	0	0	0	6	0	0	0
16										
17	LAPINS	T1 CEBO	1	0	3	0	0	0	0	0
18		T2 CONTROL	0	0	0	0	0	0	0	0
19		T3 CEBO	1	0	14	0	7	0	0	2
20		T4 CONTROL	0	0	0	0	0	0	0	1
21		T5 CEBO	2	0	6	0	3	0	0	0
22		T6 CONTROL	0	0	1	0	0	0	0	0

Tabla 3. Monitoreo DS correspondiente al mes de noviembre.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	TRAMPAS	02-11-2022	02-11-2022	09-11-2022	09-11-2022	16-11-2022	16-11-2022	23-11-2022	23-11-2022
2		HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO
3	T1 CEBO	2	0	0	0	1	0	0	0
4	T2 CONTROL	1	0	0	0	0	0	1	0
5	T3 CEBO	1	0	0	0	0	0	1	0
6	T4 CONTROL	0	0	0	0	0	0	0	0
7	T5 CEBO	2	0	1	0	1	0	1	0
8	T6 CONTROL	0	0	0	0	0	0	2	0
9									
10	T1 CONTROL	0	0	0	0	0	0	0	0
11	T2 CEBO	0	2	0	0	0	0	0	0
12	T3 CONTROL	0	0	0	0	0	0	0	0
13	T4 CEBO	0	0	0	0	0	0	1	0
14	T5 CONTROL	0	0	0	0	0	0	1	0
15	T6 CEBO	0	0	0	0	8	0	0	0
16									
17	T1 CEBO	0	0	0	0	3	0	1	0
18	T2 CONTROL	0	0	0	0	0	0	0	0
19	T3 CEBO	2	0	0	0	1	0	0	0
20	T4 CONTROL	1	0	0	0	0	0	0	0
21	T5 CEBO	0	0	0	0	0	0	0	0
22	T6 CONTROL	0	0	0	0	1	0	0	0

Tabla 4. Monitoreo DS correspondiente al mes de diciembre.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	VARIEDAD	TRAMPAS	06-12-2022	06-12-2022	14-12-2022	14-12-2022	22-12-2022	22-12-2022
2			HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO	HEMBRA	MACHO
3	STELLA	T1 CEBO	0	0	0	0	0	0
4		T2 CONTROL	0	0	0	0	0	0
5		T3 CEBO	0	0	1	0	1	0
6		T4 CONTROL	2	0	0	0	0	0
7		T5 CEBO	1	0	0	0	0	0
8		T6 CONTROL	1	0	0	0	1	0
9								
10	REGINA	T1 CONTROL	0	0	0	0	0	0
11		T2 CEBO	2	0	0	0	0	0
12		T3 CONTROL	0	0	0	0	0	0
13		T4 CEBO	0	0	1	0	1	0
14		T5 CONTROL	0	0	0	0	1	0
15		T6 CEBO	0	0	3	0	0	0
16								
17	LAPINS	T1 CEBO	0	0	0	0	2	0
18		T2 CONTROL	1	0	3	0	1	0
19		T3 CEBO	1	0	0	0	0	0
20		T4 CONTROL	0	0	0	0	1	0
21		T5 CEBO	1	0	0	0	1	0
22		T6 CONTROL	0	0	0	0	1	0

Anexo 4

Agricultura

Núm. 1055 • Noviembre 2021

REVISTA AGROPECUARIA • DESDE 1929



**EL CAMPO
ESPAÑOL
TAMBIÉN SE RIEGA
CON DATOS**

SANIDAD VEGETAL
Estrategias de control de
la mosca de alas manchadas

DOSIER
Digitalización

DIGITALAGRI
MASTER EN TRANSFORMACIÓN DIGITAL
DEL SECTOR AGROALIMENTARIO Y FORESTAL

"NUEVOS TIEMPOS. NUEVAS RESPUESTAS"

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
www.digitalagri.es

SANIDAD VEGETAL

Estrategias de control para la mosca de alas manchadas *Drosophila suzukii*

La mosca de las manchadas, *Drosophila suzukii* (DS), es una plaga que se ha expandido en los últimos años por Asia, Europa y América del Sur afectando a diversas especies de frutales. El monitoreo de sus poblaciones y modelos predictivos son el punto de partida de cualquier programa de control. En este artículo se revisan algunos métodos de control que se aplican actualmente en España y en Chile.

Marcelo Lizama^{1,2}, Fernando M. Alves-Santos³, Leonardo Bardehle^{1,3}

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

² Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia (Universidad de Valladolid), Palencia, España.

³ Centro de Investigación Biotecnológica Aplicada al Medio Ambiente (CIBAMA), Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

La mosca de alas manchadas, *Drosophila suzukii* (DS) es una mosca polífaga de la familia de las moscas del vinagre.

El macho posee manchas oscuras en los extremos de sus alas (**Figura 1A**) y un tamaño entre 2 y 3,5 mm mientras que la hembra (2,2-4 mm) se caracteriza por su abdomen pronunciado y su aparato ovopositor aserrado (**Figura 1B y 1C**) que le permite introducir sus huevos en los frutos incluso con la epidermis intacta. Descrita hace más de cien años

en Japón como mosca del cerezo, se ha extendido por toda Asia, diseminándose luego por Europa en países como Francia, Italia y en España a partir del 2008, por el continente americano, comenzando en EE. UU. y posteriormente en América del Sur, primero en Brasil en 2014 y después en Uruguay, Argentina y Chile en el año 2017.

El daño es producido por la larva que se alimenta de la pulpa, disminuyendo con esta acción el valor comercial de la fruta (**Figura 1D y 1E**). El perjuicio

económico ha sido estimado en países como Estados Unidos en más de 500 millones de dólares en 2008 y en Italia unos 3 millones de euros en cerezos, frambuesas y arándanos solo en gastos asociados al aumento de mano de obra e infraestructura.

Debido a la importancia de esta plaga, el monitoreo de sus poblaciones y modelos predictivos son el punto de partida de cualquier programa de control. El control químico sigue siendo el más utilizado, aunque las limitaciones en su uso son cada vez más estrictas y se recomienda el control cultural, biológico, mecánico o etológico. Se espera que el productor pueda, de manera informada, tomar una decisión de qué método aplicar y hacer frente a este problema.

Hospedadores de *D. suzukii*

Una especie vegetal se considera como hospedador de DS cuando la hembra del insecto ovipone sus huevos en el fruto y en este la mosca puede completar todo su desarrollo. Esta plaga ha sido citada en numerosos hospedadores, dentro de los cuales se encuentran especies tales como frambuesa, vid, zarzamora, cerezo, albaricoque, melocotón, nectarina, ciruelo, pera, manzano, fresas, arándano, mora, kiwi, caqui e higo. Los daños por esta plaga polífaga en especies frutales son graves para cualquier economía en que la producción frutal sea una de sus explotaciones. Si bien el insecto es de reciente introducción en América del Sur, en los últimos años ha tenido una notable expansión en países como Argentina y Chile.

Debido a la importancia de esta plaga, el monitoreo de sus poblaciones y modelos predictivos son el punto de partida de cualquier programa de control. El control químico sigue siendo el más utilizado aunque las limitaciones en su uso son cada vez más estrictas y se recomienda el control cultural, biológico, mecánico o etológico. Se espera que el productor pueda de manera informada, tomar una decisión de qué método aplicar y hacer frente a este problema.

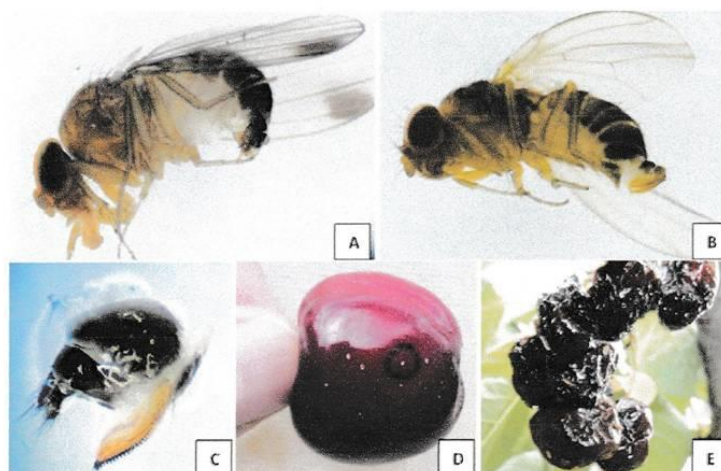


Figura 1.
Estado Adulto
Drosophila suzukii
y daños a frutos de
Cerezo. (A) Macho
adulto - (B) Hembra
Adulta - (C) Aparato
Ovipositor Aserrado
-(D, E) Daño en fruto
de cerezo (SAG, 2017).

Estrategias de control de *D. suzukii*

- Control químico

Si bien el uso de pesticidas presenta una solución de manera rápida y localizada para fines del control en el caso de DS, las restricciones son cada vez mayo-

res sobre todo en la Unión Europea. El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) ha ido disminuyendo las formulaciones permitidas para el control de la mosca de las alas manchadas hasta llegar a un total de nueve (**Tabla 1**). Similar situación se ha observado, por ejemplo, en Chile, donde los productos permitidos han

disminuido considerablemente. Lo anterior se debe a las regulaciones de este método de control que son cada vez más severas debido al abuso en su uso ante el ataque de DS ya que su ciclo de vida es polivoltino (más de tres generaciones anuales) y, por tanto, se requieren varias aplicaciones a los frutos sobre todo próximos a su

Tabla 1.
Formulaciones aceptadas por la Unión Europea y utilizadas en Chile para el control de *D. suzukii* (MAPA 2020).

FORMULADO	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Acetate de Parafina (CAS [64742-46-7]) 79% [EC] P/V	EC	Concentrado emulsionable	Líquido homogéneo para ser aplicado como emulsión, luego de ser diluido en agua.
Deltametrin 1,5% [EW] P/V	EW	Emulsión aceite en agua	Fluido heterogéneo por dispersión de finos glóbulos de un líquido orgánico con activo, en fase continua en agua.
Fosmet 50% [WG] P/P	WG	Granulado dispersable	Gránulos para aplicación en forma de suspensión, luego de su desintegración y dispersión en agua.
Fosmet 50% [WP] P/P	WP	Polvo mojable	Polvo para aplicar como suspensión, luego de ser dispersado en agua.
Lambda Cihlotrin 10% [CS] P/V	CS	Suspensión de encapsulado	Suspensión estable de cápsulas, conteniendo substancia(s) activa(s), en líquido, para aplicar diluida en agua.
Piretrinas 4,65% (como extracto de pelitre) [EC] P/V	EC	Concentrado emulsionable	Líquido homogéneo para ser aplicado como emulsión, luego de ser diluido en agua.
Sales potásicas de ácidos grasos vegetales 48% [EW] P/V	EW	Emulsión aceite en agua	Fluido heterogéneo por dispersión de finos glóbulos de un líquido orgánico con activo, en fase continua en agua.
Spinetoram 2,5% [SC] P/V	SC	Suspensión concentrada	Líquido con el activo en suspensión estable, para aplicar diluido en agua.
Spinetoram 25% [WG] P/P	WG	Granulado dispersable	Gránulos para aplicación en forma de suspensión, luego de su desintegración y dispersión en agua.
Spinosaad 48% [SC] P/V	SC	Suspensión concentrada	Líquido con el activo en suspensión estable, para aplicar diluido en agua.

sanidad vegetal

Tabla 2.
Parasitoides y depredadores de *D. suzukii*.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	TIPO DE ACCIÓN	ORDEN	FAMILIA	AUTOR
<i>Forficula auricularia</i>	Tijereta	Depredador	Dermaptera	Forficulidae	Bourne (2019)
<i>Pachicrepadeus vindemmiae</i>		Parasitoide	Hymenoptera	Pteromalidae	
<i>Trichoplia drosophilae</i>	Avispa	Parasitoide	Diptera	Diapriidae	Gabarra (2015)
<i>Orius laevigatus</i>		Depredador	Hemiptera	Anthocoridae	
<i>Labidura riparis</i>		Depredador	Dermaptera	Labiduridae	
<i>Muscidifurax raptorellus</i>	Avispa	Parasitoide	Hymenoptera	Pteromalidae	
<i>Pachicrepadeus vindemmiae</i>		Parasitoide	Hymenoptera	Pteromalidae	
<i>Chrysoperla carnea</i>	Crisopa	Depredador	Neuroptera	Chrysopidae	Bonneau (2019); Renkena (2018)
<i>Orius insidiosus</i>	Chinche	Depredador	Hemiptera	Anthocoridae	
<i>Dalotia coriaria</i>			Coleoptera	Staphylinidae	
Varios				Forficulidae, Anthocoridae, Nabidae, Formicidae, Coccinellidae, Canthoridae, Staphylinidae, Aranea, Opiliones	Woltz (2017)

etapa de maduración, lo que genera problemas de resistencia en el insecto y acumulación de residuos en los frutos, superando los máximos permitidos y afectando a enemigos naturales y polinizadores.

Medidas culturales

Son prácticas habituales de cultivo para el control por medio de la modificación de algunas labores agronómicas o evitando otras, haciendo desfavorables las condiciones para el desarrollo de la plaga. Algunos ejemplos son los calendarios de cosecha de no más de dos días, que permiten gestionar las cuadrillas de operarios, la retirada de fruta dañada para ser embolsada en polietileno o enterrada para su eliminación, evitando efectos adversos de los insecticidas en la salud de los consumidores, trabajadores agrícolas y medio ambiente.

El riego es un factor preponderante a la hora de la proliferación de DS. La aspersión genera un aumento en la humedad relativa y una disminución de la temperatura ya que su aplicación es

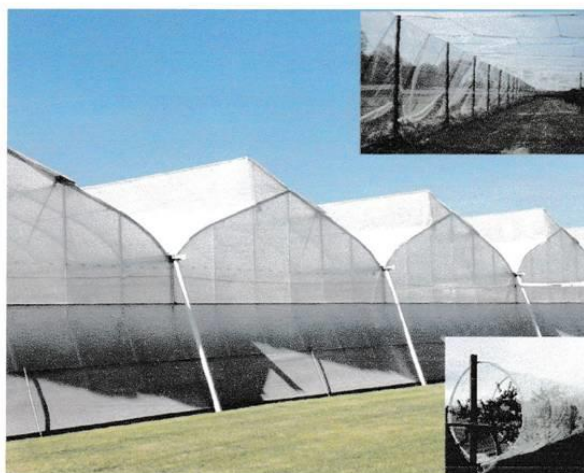
ejercida sobre el dosel de las plantas, generando un microclima favorable para la proliferación de la plaga que puede evitarse con un sistema de goteros individuales.

Control biológico

Este control fue originalmente definido como "la acción de parásitos, depredadores o patógenos que mantienen

poblaciones de otros organismos a un nivel más bajo de lo que pudiera ocurrir en su ausencia". Es una alternativa interesante para el control de DS, que se supone debe su éxito a la falta de enemigos naturales en los lugares donde se ha expandido. Dependiendo del insecto, estos pueden tener distinto modo controlador con respecto a DS ya sea parasitando el insecto o ejerciendo una acción depredadora (**Tabla 2**).

Figura 2
Barreras físicas parciales y totales
(Arrigoni 2020; McDermott 2014)



Es indispensable conocer la ubicación exacta de DS para el desarrollo de programas de control basados en enemigos naturales, y hacer capturas en campo para conocer los enemigos naturales presentes en la zona. Otra alternativa es el uso de agentes obtenidos comercialmente como *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) y *Dalotia coriaria* (Coleoptera: Staphylinidae), buscando aumentar la riqueza de depredadores en fresas (frutillas) y arándanos en los estados inmaduros.

Control mecánico: uso de barreras físicas

Este tipo de infraestructura puede ser considerada para cultivos que tengan una rentabilidad importante ya que la inversión inicial es un factor determinante. Dicha inversión puede ser recuperada al hacer el balance en el ahorro de productos fitosanitarios y

Debido a la importancia de esta plaga, el monitoreo de sus poblaciones y modelos predictivos son el punto de partida de cualquier programa de control

el aumento de fruta disponible comercialmente por la protección que ofrece esta barrera ante condiciones climáticas y la presencia de aves. El mercado al cual esté destinada la producción será uno de los factores preponderantes a la hora de optar por este sistema, siendo aplicable a pequeñas extensiones o que la producción sea orgánica. Reportes recientes han llevado a evaluar el uso de túneles altos y su efectividad como

barrera para alejar a DS de la fruta potencialmente madura (**Figura 2**), o la utilización de cubiertas que producen un microclima poco favorable para el desarrollo del díptero y pueden disminuir el uso de insecticidas.

Control etológico

Está basado en estudios de comportamiento que median las acciones de un



Figura 3
Modelos de trampas utilizadas para el monitoreo y captura de *Drosophila suzukii*. A) Droso-Trap (Biobest), B) Moskizan (Koppert), C) Pherocon SWD (Trécé), D) Cera Trap (Bioberica), E) HemiTrap (Probedelt), F) Riga (Andermatt) y G) Maxitrap (Probedelt), todos estos de origen comercial y un gran número de variaciones manufacturadas de manera artesanal (H).

insecto, en este caso DS y su huésped a través de señales químicas, denominadas semioquímicos, los cuales son compuestos químicos volátiles que pueden ser de origen natural o sintético. Al hacer uso de atrayentes, el insecto orienta su desplazamiento hacia la fuente que emite el volátil, el cual puede estar relacionado con olores de alimentos o con olores de atracción sexual entre los insectos. Ejemplos de volátiles encontramos los provenientes del vino, vinagre de manzana, ácido acético, néctares de frutos o uso de feromonas basadas en componentes químicos que atraen a DS como Pherocon SWD, Dros'attract, formulados por Biobest o Trécé. Los colores también juegan importante rol al momento de su captura o de realizar un monitoreo por su atracción a ciertos colores. Esa es la razón de coloraciones como el amarillo o el rojo en trampas, que pueden ser usadas de manera masiva sin causar repercusiones al medio ambiente, como la acumulación de residuos tanto en frutos como en el suelo y sin efectos

adversos para la salud de operador. En cuanto a los modelos (**Figura 3**) son variados tanto comerciales como confeccionados de manera artesanal: A) Droso-Trap (Biobest), B) Moskizan (Koppert), C) Pherocon SWD (Trécé), D) Cera Trap (Bioberica), E) HemiTrap (Probedelt), F) Riga (Andermatt) y G) Maxitrap (Probedelt) (**Figura 3**), todos estos de origen comercial y un gran número de variaciones manufacturadas de manera artesanal (H) que son derivaciones de los modelos antes mencionados.

Conclusiones

El reconocimiento de *Drosophila suzukii*, su ciclo de vida, hospederos y los daños que ha provocado, es el primer paso para poder abordar un problema que afecta a la fruticultura a nivel mundial. Países exportadores de frutales reportados como hospederos de DS requieren protección y medidas de control por lo que esta revisión entrega las primeras herramientas para apoyar la toma de decisiones oportuna o sirva como refe-

rencia de cómo abordar o adaptar alguno de los controles que son los más usados a las necesidades y realidades de cada productor del área frutícola.

Agradecimientos

Este trabajo se realiza bajo el amparo de los Programas de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias y Medio Ambiente, Universidad de La Frontera (Chile) y Ciencia e Ingeniería Agroalimentaria y Biosistemas, Universidad de Valladolid (España) y se financia con Beca de Manutención y Beca de Exención de arancel (R.E. N°2775 del 2010, título III, art. 12) de Universidad de La Frontera y el Programa ERASMUS+ KA 107 – International Credit Mobility.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en los correos electrónicos de los autores: fmlsa@uva.es y leonardo.bardehle@ufrontera.cl



Article

The Use of Novel Alginate Capsules in a Monitoring System for *Drosophila suzukii* in a Cherry Orchard in the Region of La Araucanía, Chile

Marcelo Lizama ^{1,2,3}, Fernando Manuel Alves-Santos ^{4,5}, Luis Manuel Navas-Gracia ⁶, Daniel Martínez-Cisterna ^{3,7}, Cristian Medina ⁸, Ramón Rebolledo ³, Manuel Chacón-Fuentes ⁹ and Leonardo Bardehle ^{3,10,*}

- ¹ Program of Doctorado en Ciencias Agroalimentarias y Medioambiente, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente, Universidad de La Frontera, Av. Francisco Salazar 01145, Casilla 54-D, Temuco 4811230, Chile; m.lizama04@ufromail.cl
- ² Program of Doctorado en Ciencias e Ingeniería Agroalimentarias y de Biosistemas, University of Valladolid, 34004 Palencia, Spain
- ³ Applied Entomology Laboratory, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente, Universidad de La Frontera, Temuco 4811230, Chile; d.martinez11@ufromail.cl (D.M.-C.); ramon.rebolledo@ufrontera.cl (R.R.)
- ⁴ Departament of Vegetal Production and Forest Resources, University of Valladolid, 34004 Palencia, Spain; fmalsa@uva.es
- ⁵ Sustainable Forest Management Research Institute, University of Valladolid-La Yutera Campus, 34004 Palencia, Spain
- ⁶ TADRUS Research Group, Departament of Agricultural and Forestry Engineering, University of Valladolid, 34004 Palencia, Spain; luismanuel.navas@uva.es
- ⁷ Program of Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales, Universidad de La Frontera, Temuco 4811230, Chile
- ⁸ Department of Physics and Chemistry, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chile, Av. Pedro de Valdivia 425, Providencia 7500000, Chile; cristian.medina@uaautonoma.cl
- ⁹ Agriaquaculture Nutritional Genomic Center, CGNA, Temuco 4781158, Chile; manuel.chacon@cgna.cl
- ¹⁰ Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente, Universidad de La Frontera, Temuco 4811230, Chile
- * Correspondence: leonardo.bardehle@ufrontera.cl



Academic Editor: Lukasz L. Stelinski

Received: 12 November 2024

Revised: 17 December 2024

Accepted: 24 December 2024

Published: 27 December 2024

Citation: Lizama, M.; Alves-Santos, F.M.; Navas-Gracia, L.M.; Martínez-Cisterna, D.; Medina, C.; Rebolledo, R.; Chacón-Fuentes, M.; Bardehle, L. The Use of Novel Alginate Capsules in a Monitoring System for *Drosophila suzukii* in a Cherry Orchard in the Region of La Araucanía, Chile. *Insects* **2025**, *16*, 13. <https://doi.org/10.3390/insects16010013>

Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Simple Summary: This study addresses the pest spotted wing drosophila (SWD), known for causing damage by laying eggs under the skin of ripe fruit, leading to fruit collapse and loss of commercial value. Monitoring SWD populations is critical for control efforts, but current management lacks early detection systems and the optimization of traps and baits. This research evaluates a monitoring system using encapsulated baits and adhesive traps for effective pest control. Laboratory olfactometric tests identified WVM bait as the most attractive, with 70% of visits compared to 30% for the control, outperforming SAG I and SAG II, which showed less than 40% attraction. The study aims to provide a new bait format for SWD with improved release rates over time and generate population curves for the area, essential for decision-making. The research contributes to advancements in nanomaterials, insect biology, agricultural entomology, and pest monitoring.

Abstract: Spotted wing drosophila (SWD) is a pest that causes damage due to the female laying eggs under the skin of ripe fruit, from which a larva emerges, causing its collapse and reducing its commercial value. Due to the importance of this pest, monitoring its population is the starting point for any control program; however, there is no early monitoring plan within management tasks, nor are there studies on behavior, the optimization of traps, or their baits. This research proposes the evaluation of a monitoring system with encapsulated baits and adhesive traps that allow effective control. The encapsulated bait was selected after evaluating three options in olfactometric tests in the laboratory; the most attractive bait was WVM, with 70% of visits to the stimulus and 30% to its control, unlike SAG I and SAG II, whose values did not exceed 40% attraction. Among the expected results is

the availability of a new format of attractive bait for SWD with a better release rate over time, and the information obtained will allow the generation of SWD population curves for the area, which is essential for decision-making. This study will contribute from the perspective of nanomaterials, insect biology, agricultural entomology, and pest monitoring.

Keywords: pest; microencapsulated; attraction; optimization; fruit trees

1. Introduction

Drosophila suzukii (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae), commonly known as the spotted wing drosophila (SWD), is a dipteran insect belonging to the family Drosophilidae. This species was first reported in Japan, causing damage to cherries in 1916, but it was not formally described by Matsumura until 1931, when it was named SWD or cherry fruit fly [1,2]. The first record of this dipteran outside Asia was in 1980, specifically in Oahu, Hawaii (USA) [3]. By 2008, its presence was recorded in North America and Europe. In North America, it was reported in the state of California, and by 2010, it was invading different states such as Utah, Louisiana, North Carolina, South Carolina, Wisconsin, and Michigan [4] before reaching British Columbia (Canada). Subsequently, in 2011, it was detected in the state of Michoacán, Mexico [5]. In Europe, the first records of SWD were in Spain (Cataluña) and Italy (Toscana), expanding in 2012 to the Iberian Peninsula [3]. Only one year later, the first records of SWD in South America occurred. In 2013, the presence of SWD was reported in the Brazilian states of Santa Catarina and Rio Grande [6]. Later in the same year, it was detected in Uruguay (Montevideo and in the rural area of Empalme Maldonado) [7]. For Argentina, the presence of SWD was recorded in 2014 in blueberries, in the town of Lobos, province of Buenos Aires [8]. Bizama et al. [9] report interesting background information on the presence of SWD in Chile. The first record of this occurrence was in 2016; however, this identification was erroneous, which was corrected in time by EPPO [10], confirming its absence in the country for that year. However, in 2017, the Agricultural and Livestock Service (SAG), through the specific surveillance system for the pest, detected SWD for the first time in Chile through the capture of adult specimens in traps installed at the border crossing with Argentina, Mamuil Malal (Villarrica–Pucón path, 39°34'43" S, 71°29'16" W) in the La Araucanía Region, southern Chile [11].

The damage caused by this species is attributed to the oviposition of eggs beneath the skin of ripe or ripening fruits. For example, females lay 1–3 eggs per fruit in up to 7–16 fruits per day [12]. Larvae hatch and feed on the fruit pulp, resulting in a loss of turgor, which leads to fruit collapse and a reduction in its commercial value [13]. In the USA, SWD caused annual losses estimated at USD 511 million in 2008, affecting crops such as strawberries, cherries, raspberries, blueberries, and blackberries [14]. In Maine (USA), studies have projected that the economic impact of SWD on wild blueberries could amount to approximately USD 6.8 million, with a 30% reduction in production [15].

In Chile, predictive models have been developed to estimate the potential impacts of SWD on grapevines and cherry trees, indicating that infestation levels could reach 56% and 79%, respectively [9]. Before implementing any pest management plan, it is crucial to understand the behavior and life cycle of the pest throughout the season [16]. Integrated Pest Management (IPM) programs for SWD commonly use commercially available traps and lures for monitoring [17]. Various attractants, such as apple cider vinegar, wine, yeasts, and their mixtures, have been evaluated to identify the most effective components for characterizing SWD pest pressure, yielding mixed results [18–23]. Another widely used method is the use of liquid baits and mass trapping. However, both methods have some

drawbacks due to the need for timely bait replacement, difficulty in SWD identification due to the need for sifting, and the presence of microorganisms (fungi) [24–27].

Thus, the search for new alternatives becomes essential to support the work carried out by the SAG, the state agency responsible for environmentally friendly quarantine surveillance, and to apply new technologies. The FAO/WHO emphasizes the importance of new studies and applications, particularly those exploring the interaction of nanomaterials with biological systems, dose–response relationships, and life cycle attractant products. These innovations could improve efficiency by preventing the rapid degradation of substances or mitigating low capture rates due to problems in the release rate of attractants [28–30].

Based on the above, encapsulation offers a promising approach for developing new formulations and systems capable of enhancing the efficiency of such products [30]. Encapsulation systems are used for the controlled release of agents for pest control and the delivery of nutrients to plants, making them a valuable tool for the application of bioactive natural products to control economically significant pests [31]. This technique involves depositing a coating material in liquid form onto the material to be encapsulated, which is dispersed as small particles or droplets [32,33]. Encapsulation technology has numerous applications in fields such as drug development, cosmetics, food technology, phytosanitary products, and agriculture [34]. Therefore, this study aims to determine the effectiveness of encapsulated bait within an alginate matrix, in the monitoring and capture of SWD in a cherry orchard in the La Araucanía region, southern Chile.

2. Materials and Methods

2.1. Insect Collection

Pupae of SWD were obtained from Biofuturo Ltd. (Fundo Alianza Km 11, Camino Traiguén—Galvarino, La Araucanía Region, Chile) and transported to the Laboratory of Applied Entomology at the Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of La Frontera (Temuco, Chile). The pupae were placed in cubic acrylic containers (45 × 45 × 45 cm) on moistened absorbent paper to prevent dehydration. They were kept at a temperature of 22 ± 5 °C, with $65 \pm 5\%$ relative humidity and a photoperiod of 14:10 h (L:D). Upon adult emergence, the insects were captured immediately using a mouth aspirator and individually confined in vials for subsequent bioassays [35]. Only 48 h old virgin females were used in the olfactometric bioassays. Males were discarded because they do not cause damage to the fruit.

2.2. Monitoring Traps for SWD

A “delta”-type trap exclusively designed for SWD (Sanidad Agrícola ECONEX, S.L., Murcia, Spain) was used in this study. The trap consists of a 0.3 mm thick sheet of red polyethylene terephthalate (PET) coated on its inner surface with an adhesive layer for insect retention. It is also equipped with a hanger and features holes at the corners for hanging when folded (Figure 1). The color red was chosen based on studies by Lee et al. and Renkema et al., which identified red as one of the most attractive colors for SWD [20,36].

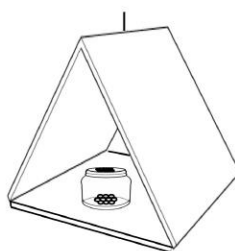


Figure 1. Diagram of the delta-type trap used in this study. The plastic container where the microencapsulated bait and control are deposited is shown in the center of the trap.

2.3. Development of Baits for SWD

The baits were prepared following the methodologies outlined in their respective formulations under laboratory conditions (Table 1). SAG I and SAG II were prepared according to the methods proposed by Lasa et al. and Carroll, which are currently utilized by the SAG [37–39]. WVM, commonly used for monitoring and capture in Brazil, was also included [40].

Table 1. Detailed formulation table for each of the baits used in field trials to attract spotted wing drosophila adults.

Bait	Ingredients
SAG I	Apple cider vinegar: 900 mL Ethyl alcohol 95°: 100 mL
SAG II	Sugar: 2 g Yeast: 0.325 g Wheat flour: 17.25 g Apple cider vinegar: 1 mL Water: 25 mL
WVM	Merlot wine: 600 mL Apple cider vinegar: 400 mL Sugar cane molasses: 20 g

2.4. Y-Tube Olfactometric Bioassays

The Y-olfactometer has an inner diameter with a central zone 11 cm long and 2 arms 9 cm long. The central zone is connected through a silicone hose to a vacuum pump, a regulator, and a flowmeter to generate a constant flow of 1.8 L min^{-1} in both arms. The arms are connected to glass tubes tapered at their ends, similar to a Pasteur pipette, containing filter paper impregnated with $10 \mu\text{L}$ of each bait and $10 \mu\text{L}$ of distilled water as a control. A piece of gauze was used in both arms of the tube to prevent the insect from escaping. The insects were individually introduced through the hole located at the end of the neck of the tube, and the insect's response was evaluated for a maximum time of 3 min. If the insect made a decision, either control or stimulus (baits), the test was considered successful and terminated at that time. Conversely, insects that showed no response and did not make a decision were eliminated, and the test was considered unsuccessful [41]. After each test, the olfactometer was washed with neutral soap and every five repetitions, the position of the stimulus and control was changed in order to eliminate any factor that could intervene in the preference of the insects. Approximately 120 olfactometries were carried out, of which 90 were successful (30 per bait).

2.5. Encapsulation Process Development

The encapsulation of the bait that elicited the strongest attraction response from SWD in the olfactometer bioassays (Section 2.4) was performed following the methodology described by Riyajan et al. [42]. A 100 mL sample of the attractive bait was mixed with 3% sodium alginate (3 g/100 mL), giving the solution a thick and viscous consistency. The sample was then placed on a magnetic stirrer (SCI LOGEX MS-H-PRO, Rocky Hill, CT, USA) at 100 rpm and 40 °C. Once the alginate was fully homogenized, the solution was allowed to cool to room temperature. Using a peristaltic pump (FPP-LabV3, Drifton, Hvidovre, Denmark), the mixture was transferred by gravity into another container, which was continuously stirred with a calcium chloride solution in distilled water (1 g/100 mL), facilitating the formation of microcapsules. The mixture was left to rest for 12 h to ensure the integrity of the microencapsulated bait pearls. The same procedure was followed for the control bait, in which 3 g of sodium alginate was added to 100 mL of distilled water, and the solution was pipetted through the peristaltic pump into the calcium chloride and distilled water mixture.

2.6. Release Rate of the Selected Encapsulation

After selecting the baits based on the parameters outlined in the previous section, the WVM treatment demonstrated the best response and was subsequently chosen to evaluate the release rate within an alginate matrix. For this evaluation, 12 g of the bait was weighed and placed in an environmental chamber (Biobase®, model BJPX-A250II, Biobase Biodustry, Jinan, China), which controls temperature, light, and humidity. To gather further information on the bait's behavior and durability over time, references were made to studies by Kanzawa and Hamby [1,43]. The behavior of SWD at its optimal proliferation temperatures (15° to 25 °C) was compared with the average temperatures and relative humidity recorded between September and December 2022 (Table 2), corresponding to the cherry season in the La Araucanía region [44]. Additionally, to determine the release range and encapsulation capacity of the alginate, a solid-phase microextraction (SPME) assay was conducted. Briefly, 12 g of alginate beads designed with the WVM bait was placed in a glass vial. A SPME fiber (DVB/CAR/PDMS, 120 µm × 20 mm) was attached to this vial, allowing it to capture volatile compounds for 2 h. The volatile compounds emitted by these capsules were determined every 24 h, up to a total of 120 h. The major compounds, as well as the total emission of volatiles, were analyzed using a gas chromatograph (GC-2030 Nexis®; Shimadzu, Kyoto, Japan) equipped with a mass spectrometer detector. The capillary column used was an Rtx-5MS (30 m × 0.25 mm, 0.25 µm df; Restek GC Columns, Bellefonte, PA, USA). Helium was used as the carrier gas. The column temperature profile was set as follows: 40 °C for 1 min, which was then increased to 280 °C at a rate of 20 °C/min and held at this temperature for 3 min. The injector and interphase were set to 280 °C, and the detector was held at 230 °C. The electron impact ionization energy was set at 75 eV. A 1 µL aliquot from all agri-food byproducts was injected into the GC-MS.

Table 2. Agroclimatic parameters for the 2022 season. Agro-meteorological Network INIA, Maquehue Station, Freire, La Araucanía Region.

Date	Temperature (°C)	Minimum Temperature (°C)	Maximum Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Accumulated Precipitation (mm)
Sep-2022	9	2.8	15.2	88.1	44
Oct-2022	11.1	5.2	16.9	83.3	116.5
Nov-2022	15.2	9	21.5	80.1	38.2
Dec-2022	16.6	9.6	23.7	71.9	14

In light of the above, a release rate test was conducted at 21.2 °C and 75% humidity to assess the bait's weight loss over time. Weight measurements were taken every 2 h during the first 24 h, and then at 48, 72, 96, and 120 h, using an analytical balance (Precisa, model XB 220, Precisa Gravimetrics AG, Dietikon, Switzerland). The collected data were used to perform release kinetics analysis, applying the mathematical models of Korsmeyer–Peppas and Higuchi [45,46].

The release data were processed in triplicate for each time point, allowing for the construction of the release profile of the matrices containing the volatiles for further analysis.

2.7. Field Trial with Traps and Encapsulated Bait

The traps were installed at the Maquehue Experimental Field, located 17 km south of Temuco, in the La Araucanía Region, which belongs to the Faculty of Agricultural and Environmental Sciences at the University of La Frontera. The evaluated orchard is divided into three continuous zones, containing Stella, Regina, and Lapins cherry varieties, with planting distances of 4 × 3 m. The trees are approximately 25 years old and are trained in a vase or multi-axis system, which is a common training system in Chile. Drip irrigation is employed, utilizing irrigation tapes and drippers for each unit, and each tree is watered daily. No cherry orchard was subjected to the application of agrochemicals (pesticides or fertilizers) during the season related to the experiment.

The control bait (pure alginate) was alternately placed with the WVM attractive bait across the three cherry varieties mentioned previously. To minimize edge effects potentially caused by adjacent factors, the first planting rows were discarded during installation. The traps were hung on the cherry trees with a wire and with a distance of 4 m between trees. This was repeated in the three varieties of cherry trees mentioned above [47]. Trap density was adjusted following the guidelines of Groupe de travail Baies and SAG, with three rows of six traps each, totaling eighteen units (six per variety). The height of trap placement followed SAG's recommendations, specifying that traps be placed within the plant/tree foliage, near the presence of fruit, and should not be directly exposed to the sunlight [24,48]. Once the traps were installed, the bait and control were placed. The microencapsulates of each treatment were placed in a 30 mL plastic container in quantities of 12 g/container. Small perforations were made in the lid of each container to allow the dispersion of the bait and control odor. Each container was placed in the central area of the trap to allow individual SWD to enter through any of its entrances (Figure 1).

The installation period began in August 2022, and the traps remained in place until the end of the orchard's productive season (December 2022). This month was selected because it coincides with the increase in average temperatures to 10 °C, the threshold at which SWD has been reported to initiate its activity [1,43]. Starting at this zero-visit point allowed for the analysis of the insect's peak population.

The microencapsulated baits were replaced every 25 days, and the traps were inspected weekly. Insects captured in the traps were collected every 7 days and transferred to the Applied Entomology Laboratory at the University of La Frontera for identification using entomological keys [49].

2.8. Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using Statistix 10 (Tallahassee, FL, USA). To compare the olfactometric responses between the stimulus and the control in female SWD, a generalized linear model (GLM) using the Poisson distribution with a logarithmic link function was performed. To measure the release rate in baits, the Korsmeyer–Peppas model was applied, plotting the logarithmic function of measurement time (hours) on the *x*-axis and the logarithmic function of release percentage on the *y*-axis. For the Higuchi model,

the same raw data were processed by converting the number of hours into the percentage of the square root of the corresponding hours for the x -axis, and the release percentage was plotted on the y -axis [50,51]. Finally, SPME compounds and the field capture data were analyzed using the GLM described above ($p \leq 0.05$).

3. Results

3.1. Olfactometric Bioassays

The results from the olfactometry tests revealed significant differences in SWD preferences (Figure 2). In both SAG I and SAG II treatments, SWD females preferred the control over the stimulus (17 and 20 visits, respectively) ($p = 0.0005$ and $p = 0.001$, respectively). In contrast, with the WVM treatment, females significantly preferred the stimulus (21 visits) compared to the control (9 visits), i.e., there was a preference of 70% versus 30%, respectively ($p = 0.0097$). Based on these results, WVM was selected for encapsulation and further evaluation under field conditions.

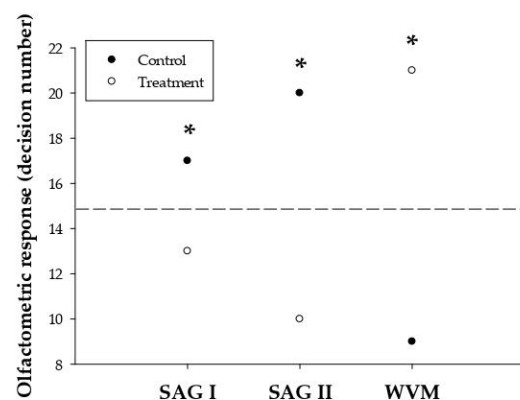


Figure 2. The olfactometric response of female *Drosophila suzukii* to three different attractive baits in a Y-tube olfactometer. SAG I (apple cider vinegar with 95% ethyl alcohol); SAG II (sugar, yeast, wheat flour, apple cider vinegar, and water); and WVM (Merlot wine, apple cider vinegar, and sugarcane molasses). * Indicates a statistically significant difference between treatment and control, according to Poisson distribution.

3.2. Release Rate

The selected WVM bait shows a similar behavior, independent of the model, in terms of the release of compounds over time and subject to the average temperature and relative humidity conditions of the area during the cherry season, which runs from September to December (average temperature of 21.2 °C with 75% relative humidity) (Figure 3). Both models, Korsmeyer–Peppas ($r^2 = 0.97$) and Higuchi ($r^2 = 0.99$), indicated that the release of compounds from the WVM bait reached 20% at 120 h. By projecting the bait's durability under the conditions mentioned, it is estimated that the complete loss of encapsulated compounds will occur within 25 days.

Figure 4A shows the following values at different time points: 293,305,351 at 24 h; 292,312,663 at 48 h; 276,440,152 at 72 h; 192,811,652 at 96 h; and 216,009,183 at 120 h. Despite these fluctuations, statistical analysis revealed no significant differences between the groups ($p = 0.998$), indicating that the observed variations were not large enough to be considered statistically significant. This suggests that the passage of time did not have a substantial impact on the measured variable. In addition, Figure 4B shows the relative abundance percentage of each compound at different time points. For ethanol,

the abundance fluctuates slightly, with values of 14.93% at 24 h, 15.52% at 48 h, 14.64% at 72 h, 11.68% at 96 h, and 12.99% at 120 h ($p = 0.0768$), indicating no significant difference in its relative abundance over time. Acetic acid, with percentages of 28.60% at 24 h, 28.54% at 48 h, 27.78% at 72 h, 32.51% at 96 h, and 31.06% at 120 h ($p = 0.121$), also shows small fluctuations, and no significant difference is observed. For 1-butanol, the abundance starts at 36.95% at 24 h, decreases slightly to 36.26% at 48 h, and further declines to 34.90% at 72 h before rising to 40.99% at 96 h and then dropping back to 36.92% at 120 h ($p = 0.342$), suggesting no significant change in its relative abundance. Lastly, phenylethyl alcohol shows a more pronounced variation, starting at 4.21% at 24 h, increasing to 4.89% at 48 h, peaking at 9.17% at 72 h, dropping to 0% at 96 h, and rising again to 5.72% at 120 h ($p = 0.342$), indicating no significant difference in its relative abundance across time, despite the clear temporal fluctuations.

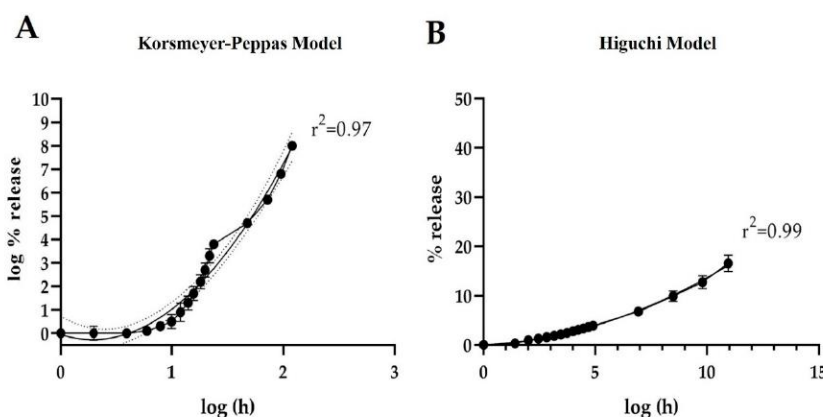


Figure 3. The release rate of the WVM bait in a controlled environment chamber is at the average temperature and humidity for the area (21.2 °C and 75% RH). Mathematical modeling was employed using Korsmeyer–Peppas with the logarithm of time (Log (h)) (A) and Higuchi through the square root of time ($\sqrt{h}$) (B).

3.3. Field Trials

The adhesive traps with the corresponding microencapsulated baits were deployed on 31 August 2022, at the Maquehue Experimental Field, and 14 monitoring visits were conducted throughout the season to track the SWD population. Subsequently, the first record of SWD capture was in the week of 8 September, in traps located in the three varieties of cherry. SWD capture in the Stella variety is shown in Figure 5A. It can be seen that there was generally a higher capture in the traps containing the WVM bait compared to the control. In the weeks of 8 September, 6 October, and 20 October, this difference was significant (100% vs. 0%, $p = 0.014$; 93% vs. 7%, $p = 0.0007$; and 100% vs. 0%, $p = 0.014$, respectively). In the Regina variety, there was a greater number of weeks with significant captures of SWD. In total, there were six weeks where the WVM bait captured significantly more flies than the control: 8 September, 15 September, 6 October, 20 October, 17 November, and 15 December (89% vs. 11%, $p = 0.019$; 86% vs. 14%, $p = 0.05$; 100% vs. 0%, $p = 0.008$; 100% vs. 0%, $p = 0.0005$; 100% vs. 0%, $p = 0.004$; and 100% vs. 0%, $p = 0.045$, respectively) (Figure 5B). In the case of the Lapins variety, significant differences were obtained in four weeks regarding the capture of SWD, in which there was again a higher percentage in the WVM bait traps compared to the control. The weeks with this significance were 8 September, 6 October, 13 October, and 20 October (71% vs. 29%, $p = 0.023$; 100% vs. 0%,

$p = 0.045$; 96% vs. 4%, $p = 0.000004$; 100% vs. 0%, $p = 0.001$, respectively) (Figure 5C). Interestingly, when analyzing the weeks with significant captures, most are concentrated in October, after the first bait change (30 September).

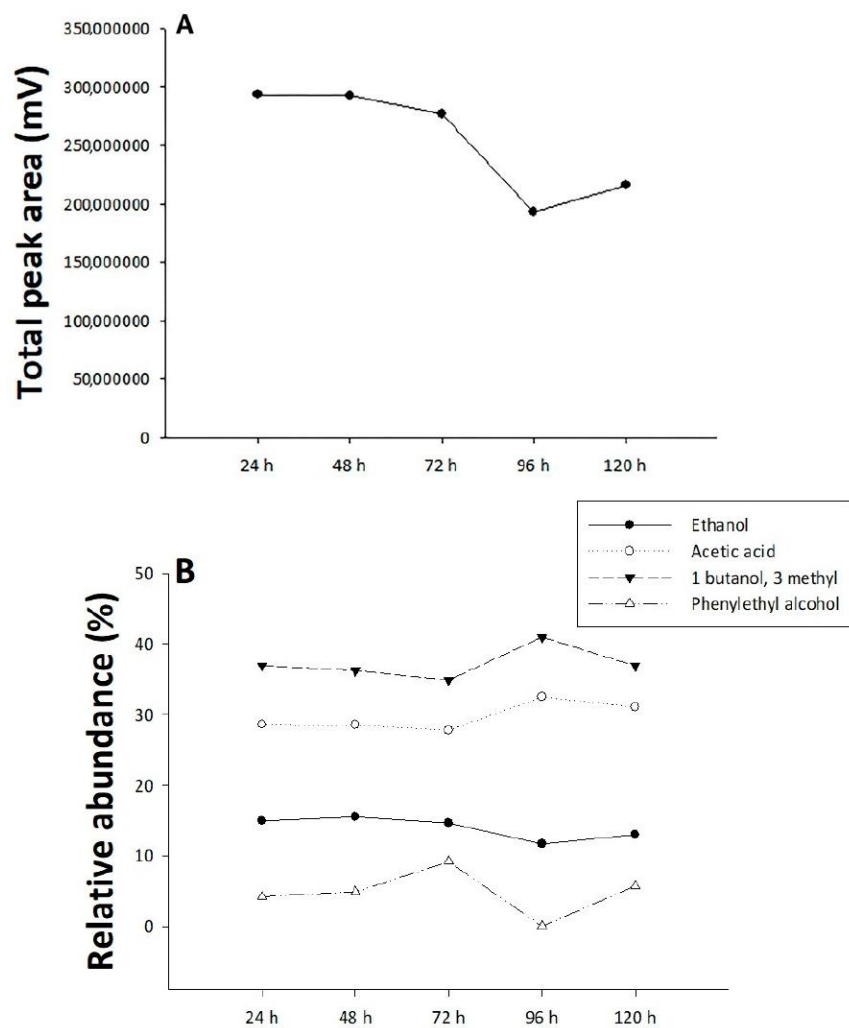


Figure 4. Volatile compound analysis over time. (A) Total peak area (mV) for all detected volatiles at different time points (24, 48, 72, 96, and 120 h). (B) Relative abundance (%) of individual compounds: ethanol (●), acetic acid (○), 1-butanol, 3-methyl (▲), and phenylethyl alcohol (△). The data points represent the relative abundance of each compound at the specified times. The absence of letters indicates no significant differences in the compounds in relation to time.

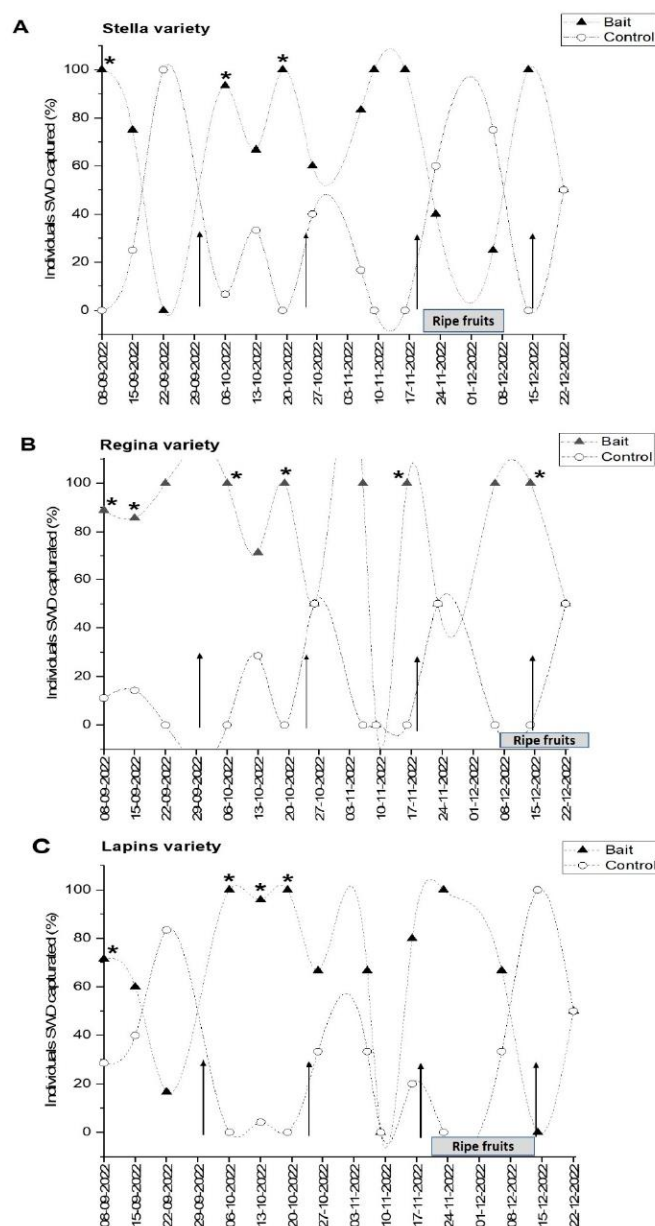


Figure 5. Weekly capture of *Drosophila suzukii* (%) in the period September–December 2022 in a cherry orchard in the La Araucanía region, Chile. (▲) Corresponds to the microencapsulated bait and (○) corresponds to the control. Weekly captures (%) of *D. suzukii* in the Stella variety (A). Weekly captures (%) of *D. suzukii* in the Regina variety (B). Weekly captures (%) of *D. suzukii* in the Lapins variety (C). Black arrows indicate the dates of change of bait and control. * Indicates a significant difference between treatment and control according to the t-student test ($p \leq 0.05$).

When analyzing the total SWD capture in relation to the varieties, it can be observed that Stella ($p < 0.001$), Regina ($p = 0.008$), and Lapins ($p < 0.001$) had a significant effect on the attraction of the dipteran in relation to the control (Figure 6A). However, when analyzing the preference of SWD for any particular variety, no differences were found between them ($p = 0.6101$). Regarding the sexual proportion of SWD, this was significant ($p < 0.001$) because the capture of females in the WVM bait in the three cherry varieties reached 95.3% compared to the control (4.7%) (Figure 6B).

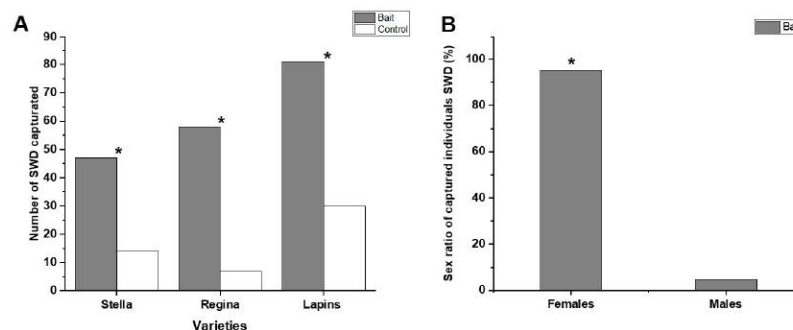


Figure 6. Total number of individual *Drosophila suzukii* captured with the WVM bait in delta-type traps placed in different cherry varieties (Stella, Regina, and Lapins) at the Maquehue Experimental Field, La Araucanía region. * Indicates a significant difference between treatment and control according to Student's t-test ($p \leq 0.05$) (A). Sex ratio of females and males captured with the WVM bait during the duration of the trial. * Indicates a significant difference between females and males captured, according to the Poisson distribution ($p \leq 0.05$) (B).

Furthermore, when these results are extrapolated to one hectare (using a planting framework of 4×3 m, resulting in a density of 8333 cherry trees/ha), the results show the number of flies per hectare (flies/ha) captured in traps with bait (WVM bait) compared to the control for three cherry tree varieties: Regina, Lapins, and Stella. In all varieties, a significantly higher number of flies were captured with the bait compared to the control ($p \leq 0.05$). Regina captured an average of 16,104 flies/ha with the bait and 1944 flies/ha in the control. Lapins recorded the highest number of flies captured with bait, reaching 22,491 flies/ha, while 8330 flies/ha were recorded in the control. Finally, Stella showed captures of 13,050 flies/ha with bait and 3887 flies/ha in the control. This demonstrates the effectiveness of the bait in attracting flies compared to the control treatment across the three varieties (Table 3).

Table 3. Number of flies captured per hectare (flies/ha) in traps with WVM bait and in the control for three fruit tree varieties (Regina, Lapins, and Stella). The asterisk (*) indicates significant differences ($p < 0.05$) between the bait treatment and the control within each variety.

Variety	WVM Bait (fly/ha)	Control (fly/ha)
Regina	16,104 *	1944
Lapins	22,491 *	8330
Stella	13,050 *	3887

4. Discussion

4.1. Olfactometric Bioassays

Previous studies have demonstrated that olfactory signals from damaged and fermented fruits play a crucial role in food source recognition by SWD [52,53]. These flies are

typically attracted to fermented sweet substrates, such as decaying fruits. However, their attraction has also been reported to increase in response to the aromas of wines, vinegars, and fermentation volatiles, including acetic acid and ethanol [23,54,55].

For instance, studies employing gas chromatography coupled with electroantennographic detection (GC-EAD), along with laboratory bioassays and field capture experiments, were conducted to identify the volatile compounds from wine and vinegar involved in the attraction of SWD [22,52]. In addition to acetic acid and ethanol, consistent GC-EAD responses were observed for 13 volatile compounds from wine and 7 from vinegar, with all active GC-EAD compounds from vinegar also present in wine. In a field capture experiment, both the 9-component vinegar blend and the 15-component wine blend were equally attractive when compared to a blend of acetic acid and ethanol, but they were less attractive than the combined wine and vinegar blend [52]. The above is consistent with the results obtained in the olfactometric assays presented in this study, where flies exhibited a significant preference for the WVM stimulus (Figure 1), a blend of wine and vinegar. Furthermore, this attraction response is consistent with findings reported by Liu et al. [56], who studied the same dipteran species using olfactometric techniques and volatiles from *Osyris wightiana*, a wild host plant classified as a secondary host of SWD. The authors reported a significant attraction of SWD to the fruits and volatile extracts of *O. wightiana* compared to the control (65–85%), which aligns with the attraction range observed in this study (70%). In all cases, as in our study, SWD were strongly attracted to the stimuli, likely due to the characteristic fermentation aromas [57]. Interestingly, SWD exhibited a “repellent” behavior to SAG I and SAG II baits under laboratory conditions, contrary to what happens under field conditions. A possible explanation for this behavior could be due to the volume used in the olfactometric tests (10 µL) compared to the traps used for monitoring, which contain over 250 mL of bait [48]. Research with mosquitoes (Diptera) refers to the care that must be taken when replicating the concentration of compounds in olfactometric tests to which the insect is accustomed in nature [58]. In addition, SWD’s olfactory receptors may not adapt to these baits in such low volumes or concentrations. On the contrary, SWD may be able to adapt its olfactory receptors to the WVM bait because this bait is also composed of wine, which has a high content of volatile organic compounds, increasing the possibility of receiving them. However, these hypotheses need to be investigated and verified in future work.

4.2. Release Rate

Fincheira et al. assessed the thermal properties of nanostructured lipid carriers containing volatile organic compounds as growth inducers in vegetables. This was accomplished by weighing a known sample (20 mg) on a tared ceramic tray and subsequently heating it to measure compound release [45,46]. Their study is complemented by the release kinetics results obtained in this study, which demonstrated the release of compounds from the encapsulated WVM bait in an alginate matrix over a period of 120 h. Furthermore, recent reports by Agnich et al. [59] employed the Korsmeyer–Peppas model to investigate the release pharmacokinetics of nanoemulsions containing *Cymbopogon pendulus* (lemongrass) essential oil, achieving compound viability for 50 days. Similarly, the studies by Fincheira et al. [45,46] demonstrated the integrity of their capsules across different temperature ranges, with stability observed between 20 °C and 30 °C. This is consistent with the results from the controlled environment chamber experiment, where the bait’s durability was evaluated at a temperature of 21.2 °C and a humidity of 75%, maintaining integrity and compound release over a period of 25 days. These findings confirm the success of encapsulation compared to liquid baits. Finally, the use of sodium alginate demonstrated promising results in terms of conservation and durability, in addition to being biocompatible, non-toxic, and biodegradable [60]. The simplicity of capsule manufacturing suggests the potential for

large-scale production, with the future exploration of alternative encapsulating materials not excluded.

4.3. Field Trial

Traps are essential for pest monitoring, but adult captures do not always accurately reflect insect population densities or predict fruit infestation levels [55]. The earliest traps for SWD consisted of plastic bottles with liquid bait, followed by commercial container-type traps using the same bait [20]. Both designs pose challenges for counting and identification, as flies often degrade in the liquid medium.

For instance, our field evaluation of encapsulated bait confirmed the strong preference of SWD for the WVM bait compared to the control (Figure 5), supporting previous research conducted in Brazil and Italy [40,61]. A total of 78.5% of flies were captured in traps baited with WVM bait, while only 21.5% were caught in control traps. These findings reinforce the effectiveness of this bait for monitoring SWD in cherry orchards. In addition, these results become even more remarkable when the fly population on the plants is extrapolated to one hectare, making the bait's attraction power much more numerically evident. In terms of sex distribution, 95.3% of the captured flies were females, while only 4.7% were males. This disparity can be attributed to the greater attraction of immature reproductive females to fermented baits rather than ripe fruits, whereas males use traps primarily to locate mates [62]. Monitoring data revealed that October had the highest SWD captures. Additionally, during this month, most varieties at the Maquehue Experimental Field were in bloom, likely enhancing olfactory stimuli that attract SWD. Although temperature is a fundamental factor for the increase in the SWD population in a given time, there are other equally important factors that contribute to this effect such as humidity, photoperiod, available diet, and pressure from predators or competitors [63–65].

With respect to the effect of cherry varieties on SWD capture, the Lapins variety showed the highest number of captured individuals, followed by Regina and Stella. These findings align with the study by Buzzetti [66], which reported high SWD infestation rates in Lapins and Regina varieties in the Ñuble Region, leading to significant economic losses. Preliminarily, the use of microencapsulated bait proved effective in preserving the bait's attractiveness and enhancing SWD capture. This new format, combined with delta-type adhesive traps, offers a valuable tool for generating SWD population curves in southern Chile, which is crucial for informed pest control decision-making [62].

5. Conclusions

These results indicate that it is feasible to optimize a system for monitoring and capturing a pest insect such as SWD. The use of a microencapsulated attractant (WVM) in delta-type traps allowed for the capture of a significantly higher number of females compared to males. This is advantageous because capturing females and preventing their mating can reduce infestation levels in ripe fruits, which are preferred by gravid females for oviposition. Additionally, measuring the release rate of the attractant enabled us to estimate its durability under specific weather conditions for a given area. Future research should focus on (1) determining the electrophysiological response of SWD to volatiles from WVM bait, (2) evaluating this monitoring system in commercial cherry orchards, (3) assessing its efficacy in other SWD host plants, and (4) evaluating the capture efficiency of SWD in traps baited with encapsulated WVM versus WVM in liquid format. This information will help to better understand the behavior of SWD in our country, particularly in generating SWD flight curves in areas where it is already established, which is a critical component of an effective integrated pest management (IPM) program for this economically significant dipteran.

Author Contributions: M.L.: conceptualization, investigation, methodology, and writing—original draft preparation. F.M.A.-S.: validation and writing—review and editing. L.M.N.-G.: validation and writing—review and editing. D.M.-C.: methodology, investigation, and writing—original draft preparation. C.M.: methodology, investigation, and writing—original draft preparation. R.R.: validation and writing—original draft preparation. M.C.-E.: software, formal analysis, and writing—review and editing. L.B.: conceptualization, writing—review and editing, and supervision. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was supported by Programa de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias y Medioambiente de la Universidad de La Frontera (Temuco-Chile) and by Programa de Doctorado en Ciencia e Ingeniería Agroalimentaria y de Biosistemas de la Universidad de Valladolid (Valladolid-España). The authors also thank the Laboratorio de Entomología Aplicada and Laboratorio de Química Ecológica, both of Universidad de La Frontera (Temuco-Chile).

Data Availability Statement: The data presented in this study are available upon request from the corresponding author.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Kanzawa, T. Studies on *Drosophila suzukii* Mats. *Rev. Appl. Entomol.* **1939**, *29*, 622.
2. Kanzawa, T. Studies on *Drosophila suzukii* Mats. *J. Plant Prot.* **1936**, *23*, 66–70.
3. Dos Santos, L.A.; Mendes, M.F.; Krüger, A.P.; Blauth, M.L.; Gottschalk, M.S.; Garcia, F.R. Global potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae). *PLoS ONE* **2017**, *12*, e0174318. [CrossRef] [PubMed]
4. Hauser, M. A historic account of the invasion of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) in the continental United States, with remarks on their identification. *Pest Manag. Sci.* **2011**, *67*, 1352–1357. [CrossRef]
5. SENASICA. *Mosca Del Vinagre de Alas Manchadas (Drosophila suzukii Matsumura)*; Sader: Mexico City, México, 2013; 21p.
6. Deprá, M.; Poppe, J.L.; Schmitz, H.J.; De Toni, D.C.; Valente, V.L.S. The first records of the invasive pest *Drosophila suzukii* in the South American continent. *J. Pest Sci.* **2014**, *87*, 379–383. [CrossRef]
7. González, G.; Mary, A.L.; Goñi, B. *Drosophila suzukii* (Matsumura) found in Uruguay. *Drosoph. Inf. Serv.* **2015**, *98*, 103–107.
8. Santadino, M.V.; Riquelme, M.B.; Ansa, M.A.; Bruno, M.; Di Silvestro, G.; Lunazzi, E.G. Primer registro de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) asociado al cultivo de arándanos (*Vaccinium* spp.) de Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Arg.* **2015**, *74*, 183–185.
9. Bizama, G. Invasión de *Drosophila suzukii* (Matsumura) en Chile: Utilizando los modelos de distribución de especies como herramienta de bioseguridad. *Rev. Chil. Entomol.* **2020**, *46*, 61–71. [CrossRef]
10. European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). *Drosophila suzukii* Does Not Occur in Chile. 2016. Available online: <https://gd.eppo.int/reporting/article-5875> (accessed on 12 December 2024).
11. SAG Resolución Exenta N°3672: Medidas Fitosanitarias de Emergencia Provisionales Para la Plaga Drosófila de Alas Manchadas-*Drosophila suzukii* (Matsumura) Diptera: Drosophilidae. División Protección Agrícola y Forestal, Ministerio de Agricultura de Chile/Departamento de Sanidad Vegetal. 2017. Available online: <http://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2017/06/20/41788/01/1229986.pdf> (accessed on 20 January 2024).
12. Walsh, D.B.; Bolda, M.P.; Goodhue, R.E.; Dreves, A.J.; Lee, J.C.; Bruck, D.J.; Walton, V.M.; O’Neal, S.D.; Zalom, F.G. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. *J. Integr. Pest Manag.* **2011**, *1*, G1–G7. [CrossRef]
13. Rota-Stabelli, O.; Blaxter, M.; Anfora, G. Quick Guide: *Drosophila suzukii*. *Curr. Biol.* **2013**, *23*, R8–R9. [CrossRef]
14. Bolda, M.; Goodhue, R.; Zalom, F. 2010. Spotted wing drosophila: Potential economic impact of a newly established pest. *Agric. Resour. Econ.* **2010**, *13*, 5–8.
15. Yeh, D.; Drummond, F.; Gómez, M.; Fan, X. The Economic Impacts and Management of Spotted Wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): The Case of Wild Blueberries in Maine. *J. Econ. Entomol.* **2020**, *113*, 1262–1269. [CrossRef] [PubMed]
16. Thistlewood, H.; Gill, P.; Beers, E.; Shearer, P.; Walsh, D.; Rozema, B.; Acheampong, S.; Castagnoli, S.; Yee, W.; Smytheman, P.; et al. Spatial Analysis of Seasonal Dynamics and Overwintering of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in the Okanagan-Columbia Basin, 2010–2014. *Environ. Entomol.* **2018**, *47*, 221–232. [CrossRef] [PubMed]
17. Cini, A.; Toriatti, C.; Anfora, A. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bull. Insectol.* **2012**, *65*, 149–160.

18. Jaffe, B.D.; Avanesyan, A.; Bal, H.K.; Feng, Y.; Grant, J.; Grieshop, M.J.; Lee, J.C.; Liburd, O.E.; Rhodes, E.; Rodriguez-Saona, C.; et al. Multistate comparison of attractants and the impact of fruit development stage on trapping *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in raspberry and blueberry. *Environ. Entomol.* **2018**, *47*, 935–945. [\[CrossRef\]](#)
19. Lee, J.C.; Bruck, D.J.; Curry, H.; Edwards, D.L.; Haviland, D.R.; Van Steenwyk, R.A.; Yorgey, B.M. The susceptibility of small fruits and cherries to the spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. *Pest Manag. Sci.* **2011**, *67*, 1358–1367. [\[CrossRef\]](#)
20. Lee, J.C.; Shearer, P.W.; Barrantes, L.D.; Beers, E.H.; Burrack, H.J.; Dalton, D.T.; Dreves, A.J.; Gut, L.J.; Hamby, K.A.; Haviland, D.R.; et al. Trap Designs for Monitoring *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Environ. Entomol.* **2013**, *42*, 1348–1355. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
21. Lee, J.C.; Burrack, H.J.; Barrantes, L.D.; Beers, E.H.; Dreves, A.J.; Hamby, K.A.; Haviland, D.R.; Isaacs, R.; Richardson, T.A.; Shearer, P.W.; et al. Evaluation of monitoring traps for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in North America. *J. Econ. Entomol.* **2012**, *105*, 1350–1357. [\[CrossRef\]](#)
22. Kleiber, J.R.; Unelius, C.R.; Lee, J.C.; Suckling, D.M.; Qian, M.C.; Bruck, D.J. Attractiveness of fermentation and related products to spotted wing *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae). *Environ. Entomol.* **2014**, *43*, 439–447. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Burrack, H.J.; Asplen, M.; Bahder, L.; Collins, J.; Drummond, F.A.; Guédot, C.; Issacs, R.; Johnson, D.; Blanton, A.; Lee, J.C.; et al. Multistate Comparison of Attractants for Monitoring *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Blueberries and Caneberries. *Environ. Entomol.* **2015**, *44*, 704–712. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Groupe de Travail Baies. *Drosophila suzukii*: Stratégie 2015 pour les petits fruits. In *Agroscope Fiche Technique N° 20*; Agroscope: Conthey, Switzerland, 2015.
25. Kirkpatrick, D.M.; McGhee, P.S.; Gut, L.J.; Miller, J.R. Improving monitoring tools for spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. *Entomol. Exp. Appl.* **2017**, *164*, 87–93. [\[CrossRef\]](#)
26. Clymans, R.; Van Kerckvoorde, V.; Bangels, E.; Akkermans, W.; Alhmedi, A.; De Clercq, P.; Beliën, T.; Bylemans, D. Olfactory preference of *Drosophila suzukii* shifts between fruit and fermentation cues over the season: Effects of physiological status. *Insects* **2019**, *10*, 200. [\[CrossRef\]](#)
27. Del Fava, E.; Ioriatti, C.; Melegaro, A. Cost-benefit analysis of controlling the spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii* (Matsumura)) spread and infestation of soft fruits in Trentino, Northern Italy. *Pest Manag. Sci.* **2017**, *73*, 2318–2327. [\[CrossRef\]](#)
28. Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO/WHO). *FAO/WHO Expert Meeting on the Application of Nanotechnologies in the Food and Agriculture Sectors: Potential Food Safety Implications*; Meeting Report; FAO/WHO: Rome, Italy, 2010; 130p.
29. Mutis, A.; Parra, L.; Manosalva, L.; Palma, R.; Candia, O.; Lizama, M.; Pardo, F.; Perich, F.; Quiroz, A. Electroantennographic and behavioral responses of adults of raspberry weevil *Agorhinus superciliosus* (Coleoptera: Curculionidae) to odors released from conspecific females. *Environ. Entomol.* **2010**, *39*, 1276–1282. [\[CrossRef\]](#)
30. Khot, L.R.; Sankaran, S.; Maja, J.M.; Ehsani, R.; Schuster, E.W. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. *Crop Prot.* **2012**, *35*, 64–70. [\[CrossRef\]](#)
31. Ghormade, V.; Deshpande, M.V.; Paknikar, K.M. Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnol. Adv.* **2011**, *29*, 792–803. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
32. Brignone, S.G.; Ravetti, S.; Palma, S.D. Microencapsulación/recubrimiento de sistemas particulados de uso farmacéutico. *Pharm. Technol. Ed. Sudam.* **2020**, *165*, 34–37.
33. Ríos-Aguirre, S.; Gil-Garzón, M.A. Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: Una revisión. *Tecnológicas* **2021**, *24*, 206–223. [\[CrossRef\]](#)
34. De Oliveira, J.; Ramos Campos, E.; Bakshi, M.; Abhilash, P.C.; Fernandes Fraceto, L. Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: Prospects and promises. *Biotechnol. Adv.* **2014**, *32*, 1550–1561. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
35. Koschier, E.; De Kogel, W.; Visser, J. Assessing the attractiveness of volatile plant compounds to western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *J. Chem. Ecol.* **2000**, *26*, 2643–2655. [\[CrossRef\]](#)
36. Renkema, J.M.; Buitenhuis, R.; Hallett, R.H. Optimizing Trap Design and Trapping Protocols for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *J. Econ. Entomol.* **2014**, *107*, 2107–2118. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
37. Lasa, R.; Tadeo, E.; Toledo-Hernández, R.A.; Carmona, L.; Lima, I.; Williams, T. Improved capture of *Drosophila suzukii* by a trap baited with two attractants in the same device. *PLoS ONE* **2017**, *12*, e0188350. [\[CrossRef\]](#)
38. Carroll, J. Spotted Wing *Drosophila* (SWD) Monitoring Traps; Program Based on Methods Tested by Steven Alm, Dept. of Plant Sciences and Entomology, University of Rhode Island, Richard Cowles, Connecticut Agricultural Experiment Station and Greg Loeb, Dept. of Entomology, Cornell University; EEUU. 2016; 4p. Available online: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.cornell.edu/dist/0/7265/files/2017/01/SWDTraps_CornellFruit-1vwi4oo.pdf&ved=2ahUKewjFz-Mqr-KAxUB4jQHHzUnN4EQFnoECBoQAQ&usq=AOvVaw3nE2rk2VV_RkxMwh-F3O5 (accessed on 20 September 2020).

39. Manejo Cultural de *Drosophila suzukii*; SAG Ficha Técnica N°1; Subdepartamento Moscas de la Fruta/Departamento de Sanidad Vegetal/División Protección Agrícola y Forestal/SAG/Ministerio de Agricultura de Chile: Santiago, Chile. 2017; 4p. Available online: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/ficha_drosophila_n1.pdf&ved=2ahUKewiYi8OhvL-KAxUioK8BHVqFCLMQFnoECB0QAQ&usq=AOvVaw0a46DohqqdHzdJP5Id2iQj (accessed on 15 December 2022).
40. Wollmann, J.; Schlesener, D.C.H.; Vieira, J.G.A.; Bernardi, D.; Garcia, M.S.; Garcia, F.R.M. Evaluation of Food Baits to Capture *Drosophila suzukii* in the Southern of Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* **2019**, *91*, e20180375. [CrossRef] [PubMed]
41. Espinoza, J.; Chacón-Fuentes, M.; Quiroz, A.; Bardehle, L.; Escobar-Bahamondes, P.; Ungerfeld, E. Antifeedant Effects and Repellent Activity of Loline Alkaloids from Endophyte-Infected Tall Fescue against Horn Flies, *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae). *Molecules* **2021**, *26*, 817. [CrossRef]
42. Riyajan, S.-A.; Sakdapipanch, J. Encapsulated neem extract containing Azadiractin-A within hydrolyzed poly(vinyl acetate) for controlling its release and photodegradation stability. *Chem. Eng. J.* **2009**, *152*, 591–597. [CrossRef]
43. Hamby, K.A.; Kwok, R.S.; Zalom, F.G.; Chiu, J.C. Integrating circadian activity and gene expression profiles to predict chronotoxicity of *Drosophila suzukii* response to insecticides. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e68472. [CrossRef]
44. Red Agrometeorológica de INIA. Estación Maquehue UFRO, Freire. 2022. Available online: <https://agrometeorologia.cl/> (accessed on 7 January 2024).
45. Fincheira, P.; Jofré, I.; Tortella, G.; Medina, C.; Quiroz, A.; Seabra, A.B.; Nascimento, H.M.; Diez, M.C.; Rubilar, O. The Prospection of Plant Response to 2-Ketones Released from Nanostructured Lipid Carriers. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* **2021**, *21*, 1474–1483. [CrossRef]
46. Fincheira, P.; Rubilar, O.; Tortella, G.; Medina, C.; Seabra, A.B.; Nascimento, M.; Diez, M.C.; Quiroz, A. Formulation of a Controlled-Release Carrier for 2-ketones Based on Solid Lipid Nanoparticles to Increase Seedling Growth in *Lactuca sativa* and *Solanum lycopersicum*. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* **2021**, *21*, 3002–3015. [CrossRef]
47. Spies, J.; Liburd, O. Comparison of attractants, insecticides, and mass trapping for managing *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in blueberries. *Fla. Entomol.* **2019**, *102*, 315–321. [CrossRef]
48. Detección de Insectos Adultos de *Drosophila suzukii* por Medio del uso de Trampas; SAG Ficha Técnica N°2; Subdepartamento Moscas de la Fruta/Departamento de Sanidad Vegetal/División Protección Agrícola y Forestal/SAG/Ministerio de Agricultura de Chile: Santiago, Chile. 2017; 12p. Available online: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/ficha_drosophila_n2.pdf&ved=2ahUKewjf3YHKvb-KAxXLhq8BFHbVEFp0QFnoECB0QAQ&usq=AOvVaw0JwEQemqpbHedOgv9q0Ma5 (accessed on 17 December 2022).
49. Rojas, O.; Andrade, J.; Concha, C.; Astudillo, F. *Estados de Desarrollo de Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) y Otras Especies del Género, Comunes en el sur de Chile; Ministerio de Agricultura/Servicio Agrícola y Ganadero/Primera edición: Osorno, Chile, 2019; 76p.
50. Ilgin, P.; Ozay, H.; Ozay, O. A new dual stimuli responsive hydrogel: Modeling approaches for the prediction of drug loading and release profile. *Eur. Polym. J.* **2019**, *113*, 244–253. [CrossRef]
51. Pourtalebi, L.; Ghazali, M.; Ashrafi, H.; Azadi, A. 2020. A comparison of models for the analysis of the kinetics of drug release from PLGA-based nanoparticles. *Heliyon* **2020**, *6*, e03451. [CrossRef]
52. Cha, D.H.; Adams, T.; Rogg, H.; Landolt, P.J. Identification and Field Evaluation of Fermentation Volatiles from Wine and Vinegar that Mediate Attraction of Spotted Wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii*. *J. Chem. Ecol.* **2012**, *38*, 1419–1431. [CrossRef]
53. Asplen, M.K.; Anfora, G.; Biondi, A.; Choi, D.S.; Chu, D.; Daane, K.M.; Gibert, P.; Gutierrez, A.P.; Hoelmer, K.A.; Hutchison, W.D.; et al. Invasion biology of spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): A global perspective and future priorities. *J. Pest Sci.* **2015**, *88*, 469–494. [CrossRef]
54. Dzialo, M.C.; Park, R.; Steensels, J.; Lievens, B.; Verstrepen, K.J. Physiology, ecology and industrial applications of aroma formation in yeast. *FEMS Microbiol. Rev.* **2017**, *41*, S95–S128. [CrossRef]
55. Tait, G.; Mermer, S.; Stockton, D.; Lee, J.; Avosani, S.; Abrieux, A.; Anfora, G.; Beers, E.; Biondi, A.; Burrack, H.; et al. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): A Decade of Research Towards a Sustainable Integrated Pest Management Program. *J. Econ. Entomol.* **2021**, *114*, 1950–1974. [CrossRef]
56. Liu, Y.; Cui, Z.; Shi, M.; Kenis, M.; Dong, W.; Zhang, F.; Zhang, J.; Xiao, C.; Chen, L. Antennal and Behavioral Responses of *Drosophila suzukii* to Volatiles from a Non-Crop Host, *Ostrya wightiana*. *Insects* **2021**, *12*, 166. [CrossRef] [PubMed]
57. Cloonan, K.R.; Abraham, J.; Angeli, S.; Syed, Z.; Rodríguez-Saona, C. Advances in the chemical ecology of the spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*) and its applications. *J. Chem. Ecol.* **2018**, *44*, 922–939. [CrossRef]
58. Raji, J.I.; Melo, N.; Castillo, J.S.; González, S.; Saldana, V.; Stensmyr, M.C.; DeGennaro, M. *Aedes aegypti* mosquitoes detect acidic volatiles found in human odor using the IR8a pathway. *Curr. Biol.* **2019**, *29*, 1253–1262. [CrossRef]
59. Agnish, S.; Sharma, A.D.; Kaur, I. Nanoemulsions (O/W) containing *Cymbopogon pendulus* essential oil: Development, characterization, stability study, and evaluation of in vitro anti-bacterial, anti-inflammatory, anti-diabetic activities. *Bionanoscience* **2022**, *12*, 540–554. [CrossRef] [PubMed]

60. Funami, T.; Fang, Y.; Noda, S.; Ishihara, S.; Nakauma, M.; Dragnet, K.; Nishinari, K.; Phillips, G. Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and Ca^{2+} binding. *Food Hydrocoll.* **2009**, *23*, 1746–1755. [\[CrossRef\]](#)
61. Tonina, L.; Grassi, A.; Caruso, S.; Mori, N.; Gottardello, A.; Anfora, G.; Giomi, F.; Vaccari, G.; Ioriatti, C. Comparison of attractants for monitoring *Drosophila suzukii* in sweet cherry orchards in Italy. *J. Appl. Entomol.* **2018**, *142*, 18–25. [\[CrossRef\]](#)
62. Swoboda-Bhattarai, K.A.; McPhie, D.R.; Burrack, H.J. Reproductive Status of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) Females Influences Attraction to Fermentation-Based Baits and Ripe Fruits. *J. Econ. Entomol.* **2017**, *110*, 1648–1652. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
63. Hamby, K.A.; Bellamy, D.E.; Chiu, J.C.; Lee, J.C.; Walton, V.M.; Wiman, N.G.; York, R.M.; Biondi, A. Biotic and abiotic factors impacting development, behavior, phenology, and reproductive biology of *Drosophila suzukii*. *J. Pest Sci.* **2016**, *89*, 605–619. [\[CrossRef\]](#)
64. Wallingford, A.K.; Lee, J.C.; Loeb, G.M. The influence of temperature and photoperiod on the reproductive diapause and cold tolerance of spotted-wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii*. *Entomol. Exp. Appl.* **2016**, *159*, 327–337. [\[CrossRef\]](#)
65. Guédot, C.; Avanesyan, A.; Hietala-Henschell, K. Effect of temperature and humidity on the seasonal phenology of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Wisconsin. *Environ. Entomol.* **2018**, *47*, 1365–1375. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
66. Buzzetti, K. The Spotted Wing *Drosophila* in the South of the World: Chilean Case and Its First Productive Impacts. In *Invasive Species—Introduction Pathways, Economic Impact, and Possible Management Options*; IntechOpen: London, UK, 2020. [\[CrossRef\]](#)

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.