



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
FACULTAD DE AGRONOMÍA E INGENIERÍA FORESTAL  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO  
MAGÍSTER EN FISIOLÓGÍA Y PRODUCCIÓN VEGETAL

EFFECTO DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOCs),  
PRODUCIDOS POR SALVIA (*Salvia officinalis* L.), EN VID (*Vitis vinifera*) CV  
TREBBIANO ROMAGNOLO

Tesis presentada como requisito para optar al grado de

*Magíster* en Fisiología y Producción Vegetal

por:

Chiara Barchiesi Chávez

Comité de Tesis

Profesora Guía: Claudia Bonomelli

Profesor Co-guía: Adamo Domenico Rombolà

Diciembre 2020  
Santiago-Chile

## **Agradecimientos**

A Dios por ser tan bueno y por haber creado todo perfectamente. Por lo que me recuerda volver la mirada a la naturaleza, para que, imitándola, pueda encontrar la respuesta a tantas interrogantes.

A la Pontificia Universidad Católica de Chile, por todos estos años de formación profesional y personal. A la Alma Mater Studiorum, Universidad de Bolonia, por recibirme en el intercambio para realizar la tesis.

Al profesor Adamo Domenico Rombolà, por recibirme en su equipo de Agroecología para desarrollar la tesis. A la profesora Claudia Bonomelli por apoyarme durante todo el proceso. A Silvia Pattuelli por abrir el viñedo para realizar la investigación. A los demás miembros del equipo de Agroecología, especialmente a las profesoras Alessandra Lombini y Anna Maria Bregoli, al profesor Michele di Foggia, a Luca Moretti y Andrea Tazzari.

A mi familia y amigos por su apoyo, preocupación y cariño durante todo el proceso de la tesis.

*A mi familia,  
porque siempre  
me han apoyado  
en todas mis metas.*

## Índice

<b>Abstract,</b>	4
<b>1. Introducción,</b>	5
<b>1.1. Agricultura orgánica,</b>	5
<b>1.2. Agroecología,</b>	9
<b>1.2.1. Agroecosistemas,</b>	11
<b>1.3. Intercropping,</b>	13
<b>1.4. Plantas medicinales y aromáticas (MAPs),</b>	16
<b>1.4.1. Salvia,</b>	17
<b>1.4.2. Compuestos orgánicos volátiles (VOCs),</b>	17
<b>1.5. Vid,</b>	20
<b>1.5.1. Compuestos aromáticos de la uva,</b>	21
<b>1.5.2. Uvas neutras,</b>	25
<b>1.5.3. Trebbiano Romagnolo,</b>	26
<b>1.5.4. Manejos agronómicos,</b>	28
<b>1.5.5. Principales hongos patógenos que afectan a la vid,</b>	31
<b>1.6. Hipótesis y objetivos,</b>	34
<b>2. Materiales y métodos,</b>	35
<b>2.1. Material vegetal y campo experimental,</b>	35
<b>2.2. Condiciones meteorológicas,</b>	36
<b>2.3. Tratamientos experimentales,</b>	38
<b>2.4. Intervenciones culturales,</b>	41
<b>2.5. Análisis,</b>	42
<b>2.5.2. Análisis visual con microscopio,</b>	42
<b>2.5.3. Espectroscopía,</b>	43
<b>2.5.4. Parámetros vegetativos,</b>	44
<b>2.5.4.1. Estados fenológicos,</b>	44
<b>2.5.4.4. Contenido de clorofila,</b>	45
<b>2.5.5. Parámetros productivos,</b>	45
<b>2.5.5.1. Parámetros generales,</b>	45
<b>2.5.5.2. Crecimiento de la baya y el racimo,</b>	46
<b>2.5.7. Incidencia de hongos patógenos,</b>	46
<b>2.5.8. Composición florística,</b>	47
<b>2.6. Elaboración estadística,</b>	47
<b>3. Resultados,</b>	48
<b>4. Discusión,</b>	58
<b>5. Conclusiones,</b>	63
<b>Resumen,</b>	64
<b>6. Referencias,</b>	65

Effect of Volatile organic compounds (VOCs), produced by salvia (*Salvia officinalis* L.), on vine (*Vitis vinifera*) cv Trebbiano Romagnolo

Chiara Barchiesi Chávez

Pontificia Universidad Católica de Chile

**Abstract**

**Chiara Barchiesi. Effect of volatile organic compounds (VOCs), produced by salvia (*Salvia officinalis* L.), on vine (*Vitis vinifera*) cv Trebbiano Romagnolo.**

Tesis, *Magister* en Fisiología y Producción Vegetal, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 77 pp.

The research is framed in Agroecology, so it seeks to promote the vineyard as a sustainable agroecosystem. The management used is intercropping, so sage (*Salvia officinalis*) interspersed with vines (*Vitis vinifera*) were planted. Sage, being a medicinal and aromatic plant (MAPs), emits VOCs that interact with the vines, being able to reduce the susceptibility to pathogenic fungi and improve the composition of the fruit. Productive parameters, chlorophyll content by SPAD index, foliar analysis with light microscope to observe trichomes and chlorophyll distribution, IR spectroscopy on the surface of grapes and leaves, damage by pathogenic fungi and floristic composition of the soil were measured. It was observed that the treatment with sage increases the SPAD index in vine leaves, thus increasing their chlorophyll content. It can also modify the composition of grapes and leaves, and reduces the severity of gray rot in grapes, probably due to the emission of VOCs. Further, can it affects the spontaneous vegetation of the soil. It is concluded that sage can be beneficial in the vineyard, so plant-plant relationships should continue to be studied to take advantage of its natural defenses that allow it to face the damage caused by pathogenic fungi, to reduce the use of pesticides on the grounds agricultural.

**Key words:** Agroecology, intercropping, vine (*Vitis vinifera*), sage (*Salvia officinalis*), medicinal and aromatic plants (MAPs), volatile organic compounds (VOCs) and *Botrytis cinerea*.

## 1. Introducción

### 1.1. Agricultura orgánica

La Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) en el año 1979 determinó las bases de la agricultura orgánica (Martínez et al., 2012). IFOAM (2002) ha definido la agricultura orgánica como: “Un enfoque de sistema completo basado en un conjunto de procesos que dan como resultado un ecosistema sostenible, alimentos seguros, buena nutrición, bienestar animal y justicia social. Por lo tanto, la producción orgánica es más que un sistema de producción que incluye o excluye ciertos insumos”. Sus cuatro principios son (IFOAM, 2005):

- equidad: “basada en relaciones que aseguren equidad con respecto al ambiente común y a las oportunidades de vida”;
- precaución: “gestionada de una manera responsable y con precaución para proteger la salud y el bienestar de las generaciones presentes y futuras y el ambiente”;
- salud: “sostener y promover la salud del suelo, planta, animal, persona y planeta como una sola e indivisible”;
- ecología: “basada en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos, emularlos y ayudar a sostenerlos”.

Luego, la comisión del Codex alimentarius en el año 1999, desarrolló los aspectos de producción, elaboración, etiquetado y comercialización de alimentos orgánicos. Además, determinó que la transición hacia un sistema orgánico es de al menos tres años para cultivos perennes (Martínez et al., 2012).

Los objetivos del diseño de los sistemas de producción orgánica son (FAO/WHO Codex Alimentarius Commission, 2020):

- “mejorar la diversidad biológica del sistema;
- aumentar la actividad biológica del suelo;
- mantener la fertilidad del suelo a largo plazo;
- reciclar desechos de origen animal o vegetal para devolver los nutrientes al sistema, minimizando el uso de fuentes no renovables;
- contar con recursos renovables en sistemas agrícolas localmente organizados;
- promover el uso saludable del agua, el suelo y el aire, así como minimizar todas las formas de contaminación que pueden resultar de la producción agrícola;

- manejar los productos agrícolas en su procesamiento con el cuidado de no perder la integridad orgánica y las cualidades vitales del producto en el proceso;
- establecerse en fincas después de un período de conversión, cuya duración estará determinada por factores específicos de cada sitio, tales como el historial del terreno y el tipo de cultivos y ganado producidos”.

Según el Instituto de Agricultura Orgánica (FiBL) e IFOAM (Willer y Lernoud, 2019), entre los años 1999 y 2017 la superficie mundial utilizada para la producción orgánica de alimentos aumentó de 11 a 69,8 millones de hectáreas. La distribución continental de la superficie mundial se observa en el Figura 1a. El aumento en la cantidad de productores orgánicos ha sido más pronunciado, ya que, en el mismo tiempo, ha pasado de 200 mil a 2,86 millones de productores. La distribución continental de los productores se observa en la Figura 1b.

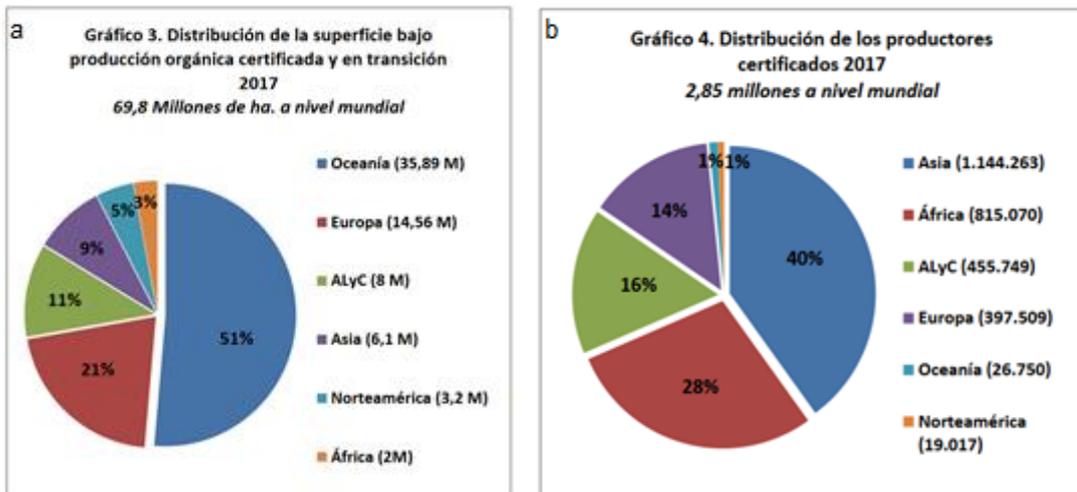


Figura 1: Distribución continental de la superficie mundial de Agricultura orgánica (a) y de los productores certificados orgánicos (b) (CIAO, 2019).

Se pronostica un aumento en la población de 9 a 10 mil millones de personas para el año 2050 (Alexandratos y Bruinsma, 2012). Para lo cual, la agricultura industrial, que nace con la revolución verde, ha podido responder a una creciente necesidad alimentaria de la población humana (Badgley et al., 2007). Pero este desarrollo tecnológico ha ocasionado también erosión de suelos, contaminación de aguas, emisión de gases de efecto invernadero, resistencia a plagas y pérdida de biodiversidad (NRC, 1989), por lo que no es sostenible en el largo plazo.

La agricultura orgánica se enfoca en regenerar la calidad del suelo, utilizando procesos naturales de ciclos de nutrientes, es decir, no se aplican productos sintéticos. Pero la producción orgánica no se reduce a una simple sustitución de

insumos sintéticos por insumos naturales, sino que busca el equilibrio del sistema mediante el uso de cultivos de cobertura, aplicación de abonos y compost, rotación de cultivos, control biológico de plagas e intercropping (Badgley et al., 2007; Döring et al., 2019). La comparación de las características entre los sistemas productivos convencionales y orgánicos se pueden observar en la Figura 2.

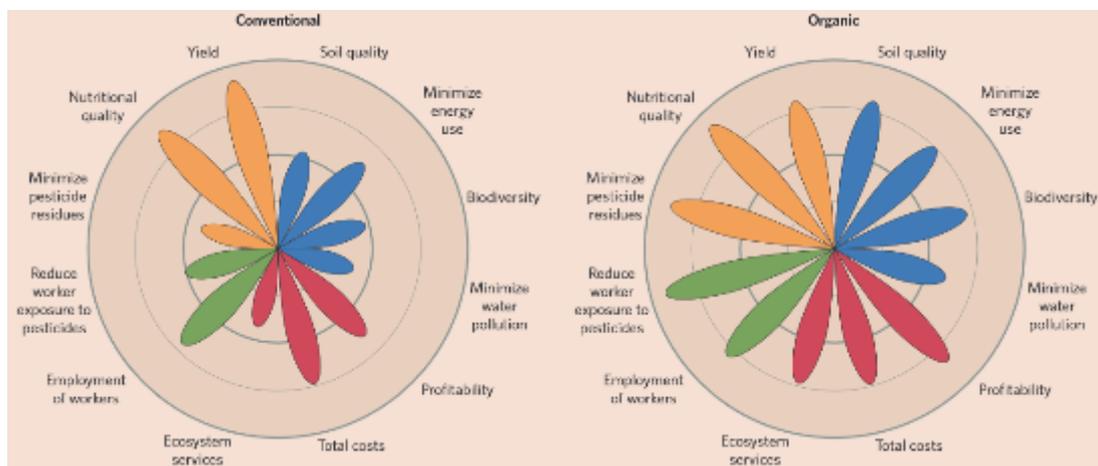


Figura 2. Comparación entre las características de los sistemas productivos convencionales, respecto a la agricultura orgánica (Reganold y Wachter, 2016).

La agricultura orgánica ha tenido un crecimiento rápido en la industria alimentaria, porque a pesar de que presenta menores rendimientos que la agricultura convencional, es más rentable, más respetuosa con el medio ambiente y nutricionalmente es igual o mejor, especialmente porque contiene menos residuos de plaguicidas. También ofrecen nuevos servicios ecosistémicos y beneficios sociales (Reganold y Wachter, 2016). El aumento en la agricultura orgánica ha sido tan pronunciado, que en la primera década del siglo XXI se presenció cómo el sector con el mayor crecimiento económico, con una tasa de 20% anual (Willer y Lernoud, 2019). Las principales críticas que recibe la agricultura orgánica son sus bajos rendimientos y la insuficiencia en la cantidad de fertilizantes nitrogenados orgánicos (Badgley et al., 2007). Porque cuenta con rendimientos promedios entre 8 y 25% más bajos que la agricultura industrializada (Ponisio et al., 2015), pero la fruticultura presenta una producción aún menor, que se encuentra entre 27 y 28% (De Ponti et al., 2012). Es importante destacar que aquellas mediciones solo consideran el cultivo principal, ya que la viticultura orgánica es más eficiente debido a su mejor rendimiento agrícola que abarca distintos productos, además presenta mejor gestión de insumos y alcanza mejores precios. Respecto a la fertilización nitrogenada, la viticultura orgánica

requiere algunos años para generar impacto en los niveles de N y en la actividad microbiana del suelo (Döring et al., 2019).

La agricultura orgánica responde precisamente a la disminución de rendimientos y al aumento de enfermedades de plantas y animales producidos por la agricultura convencional (Döring et al., 2019). Por lo que hay autores que defienden la eficiencia de los sistemas orgánicos, como Lotter (2003), quien sostiene que la conversión a gran escala no provocaría escasez alimentaria. Otro ejemplo es Badgley et al. (2007), quien concluye que la agricultura orgánica puede contribuir de forma importante a la alimentación humana, utilizando las tierras agrícolas actuales, debido a su potencial aumento de rendimientos. Además, se ha estudiado que la producción total por unidad de área suele ser mayor en policultivos respecto a cultivos individuales (Piper, 1998).

Las certificaciones permiten verificar las formas de producción, centrándose en la disminución de recursos no renovables y la entrada en mercados de alto valor, aumentando así los ingresos del predio. Los requisitos varían según el tipo de certificación, pero los principales son: mejorar la calidad del suelo, rotación de cultivos, diversidad animal y vegetal, procesos biológicos y bienestar animal. A su vez, las prohibiciones son: irradiación, fertilización con lodo de aguas residuales, ingeniería genética, uso de profiláctico de antibióticos y la gran mayoría de plaguicidas y fertilizantes sintéticos (Reganold y Wachter, 2016).

Hay empresas y asociaciones de productores que regulan las certificaciones, como: OCIA, Naturland, CCOF y Soil Association (Soto, 2020). Cada una cuenta con sellos distintivos que permiten su identificación. La Unión Europea ha desarrollado un logotipo para la producción de alimentos que cumplen con su reglamento (Figura 3).



Figura 3. Logotipo de la producción ecológica de la Unión Europea (Unión Europea, 2018).

Un factor que ha concentrado la mirada de la industria en la producción orgánica es el aumento de la demanda de alimentos saludables y respetuosos con el medio ambiente (Döring et al., 2019). La agricultura orgánica ha potenciado un gran avance en la producción sostenible de alimentos, es un input, pero no es suficiente. Por lo que se ha avanzado hacia el desarrollo de la agroecología.

## **1.2. Agroecología**

El aumento de la población humana requiere que la agricultura se base tanto en la sostenibilidad como en la alta producción. Por lo cual, la agroecología es definida por Gliessman (2002) como: “la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles”. Permitiendo así que el desarrollo agrícola presente: suficiencia productiva, viabilidad económica, adecuación ecológica y aceptación sociocultural. La agroecología busca dar soluciones innovadoras al relacionar estos cuatro aspectos multidisciplinarios (Sarandón y Flores, 2014).

El concepto Agroecología data su comienzo en el siglo XX. Surgió con Klages en el año 1928, quien relacionó aspectos fisiológicos y agronómicos de la distribución y adaptación de especies en el sistema. En el año 1942 incluyó también aspectos históricos, tecnológicos y socioeconómicos, para determinar las zonas y su cantidad de producción para cada cultivo. Además, Papadakis en el año 1938 propuso centrarse en la importancia del cultivo frente al medio ambiente (Altieri, 1999). Aunque desde el siglo XIX hubo agrónomos italianos que impulsaron el posterior desarrollo de la Agroecología. Es el caso de Pietro Cuppari y Girolamo Azzi, de las Universidades de Pisa y Perugia, respectivamente. Pietro Cuppari, en el año 1862, comenzó a considerar un predio como un cuerpo vivo (Caporali, 2015). Girolamo Azzi, en el año 1956, impulsó el estudio de la ecología agrícola (Wezel et al., 2009).

La agroecología en Chile comenzó entre fines de la década de 1970 y principios de 1980. Uno de los pioneros fue el Dr. Hernán Contreras, quien comenzó dando conferencias desde 1960, inspirando la preocupación nacional por el medio ambiente, el bienestar humano y el desarrollo del país. Otro pionero fue el Dr. Juan Gastó, quien desarrolló el pensamiento agroecológico chileno desde la década de 1960. Actualmente, uno de los líderes nacionales sobre agroecología es el Dr. Miguel Altieri (Montalba et al., 2017).

La modernización de los viñedos permite la mecanización, utiliza nuevas variedades y agroquímicos. Permite aumentar los rendimientos de la vid, pero la agroecología es más eficiente, ya que cuenta con un cultivo principal, pero también con otros productos del agroecosistema (Altieri and Nicholls, 2002). Por lo tanto, la agroecología incluye aspectos socio-productivos que trascienden los límites del predio agrícola. Para lo cual, se debe conocer las interacciones ecológicas de un sistema para poder administrarlo. Abarcando métodos de distintas disciplinas para solucionar problemas agrícolas (Altieri, 1999).

La agroecología tiene como objetivo disminuir la dependencia a agroquímicos, al potenciar las interacciones ecológicas y la sinergia entre sus individuos. Así, el mismo sistema se encarga de la fertilidad del suelo, la productividad y la protección de las plantas. Ya que el uso de estos insumos puede producir toxicidad y residuos en la producción de alimentos, dañando el ambiente y la salud de productores y consumidores. Algunas estrategias agroecológicas sobre la restauración de la biodiversidad son: rotación de cultivos, policultivos, sistemas agroforestales, cultivos de cobertura e integración animal (Altieri, 2002).

La biodiversidad permite mejorar el funcionamiento del ecosistema, por ejemplo, para la supresión de plagas. Por lo cual, la ecología propicia la fauna beneficiosa, mediante la manipulación del medio ambiente con el objetivo de potenciar la presencia de enemigos naturales (Burgio et al., 2015).

El cambio climático global que se está viviendo produce en distintas partes del mundo inundaciones, sequías y temperaturas extremas, que pueden afectar la seguridad alimentaria. La agricultura indígena y campesina está especialmente expuesta a los perjuicios producidos por el cambio climático, ya que suelen encontrarse en ecosistemas marginales. Pero a su vez, han sabido responder con innovación y resiliencia, siendo hoy una respuesta a la agricultura moderna (Altieri y Nicholls, 2013). Por lo que la agroecología valoriza el conocimiento empírico de los agricultores (Gliessman, 2002).

La agricultura familiar campesina ha potenciado estrategias de diversidad genética, cosecha de agua, conservación de suelos, entre otros. Creando también redes socio-ecológicas que fortalece las comunidades campesinas. El objetivo es aumentar la resiliencia y los retornos económicos del predio. La resiliencia hace referencia a la capacidad de un agroecosistema de resistir a un evento extremo y luego poder recuperarse (Figura 4). Para lo cual, la biodiversidad presenta un rol clave en la funcionalidad de un ecosistema y su prestación de bienes y servicios. Entonces, los sistemas agrícolas tradicionales en conjunto con estrategias agroecológicas, presenta una vía sólida para aumentar la productividad y sostenibilidad (Altieri y Nicholls, 2013).



Figura 4. Resiliencia de los agroecosistemas frente a eventos climáticos extremos (Altieri y Nicholls, 2013).

La agroecología tiene una mirada global y compleja de los agroecosistemas. No busca causas específicas a las limitantes del predio, sino que profundiza en aquellas limitaciones entendiendo que son expresión de desbalances sistémicos en el agroecosistema (Altieri, 2002).

### 2.2.1. Agroecosistemas

El agroecosistema es definido por Altieri (1999) como: “un sistema agrícola dentro de pequeñas unidades geográficas”. Se centra en las interacciones de las personas y los recursos de producción dentro de un predio agrícola. Aunque es difícil delimitar los límites del agroecosistema, ya que están abiertos, por lo que reciben insumos externos.

El agroecosistema consiste en la visión de un predio agrícola como ecosistema. Por lo que Gliessman (2002) lo define como “un sistema funcional de relaciones complementarias entre los organismos vivos y su ambiente, delimitado por criterios arbitrarios, los cuales en espacio y tiempo parecen mantener un equilibrio dinámico”. El ecosistema es el nivel de organización más global, por lo que incluye una compleja red de interacciones.

La manipulación humana en los agroecosistemas, con el objetivo de producir alimento, genera un distanciamiento de los ecosistemas naturales (Gliessman, 2002). Porque al estar semi-domesticado presenta diferencias importantes. Las principales son (Odum, 1984):

- requieren fuentes auxiliares de energía;
- diversidad reducida;
- selección artificial de especies dominantes;
- controles externos mediante retroalimentación del subsistema.

Se debe respetar la “capacidad de carga” del agroecosistema, lo que consiste en admitir los límites biofísicos del sistema, produciendo en concordancia con la potencialidad del predio (Sarandón y Flores, 2014). Por lo tanto, es necesario evaluar los componentes biológicos de los agroecosistemas, cuantificando la repercusión ambiental de la producción.

El diseño sostenible busca que el flujo de energía se asemeje a un ecosistema natural, por lo que se debe disminuir el uso de insumos antropogénicos externos el sistema como: plaguicidas, fertilizantes inorgánicos, maquinaria, entre otros. Se puede mantener un ciclo de nutrientes casi cerrado, reemplazando de forma sostenible los nutrientes que abandonan el sistema en la cosecha. Permitiendo el aumento de hábitats dentro del agroecosistema para incrementar la presencia de enemigos naturales que ejercen el control biológico de plagas. Así, la semejanza con los sistemas naturales permite generar las condiciones para un equilibrio dinámico en el tiempo (Gliessman, 2002). Proceso que se ve favorecido por la inclusión de corredores biológicos en los predios, para estimular el movimiento de especies en el paisaje (Altieri, 1999). El diseño de agroecosistemas debe considerar (Reinjtjes, 1992):

- el reciclaje de biomasa, aumentando la disponibilidad y el flujo de nutrientes;
- el cuidado del suelo mediante el manejo de la materia orgánica y la actividad biótica;
- la minimización de las pérdidas de radiación solar, aire y agua;
- la diversificación en tiempo y espacio;
- el aumento de las interacciones biológicas, promoviendo la sinergia dentro del sistema.

Los viñedos agroecológicos corresponden a sistemas agroforestales complejos que incluyen cultivos anuales, animales y árboles hospedantes (como roble portugués (*Quercus lusitanica*), olmo (*Ulmus* sp.), álamo (*Populus* sp.) y cerezo

silvestre (*Prunus* sp.)), los que protegen a las vides del viento y heladas (Altieri and Nicholls, 2002).

Al transformar los sistemas agrícolas complejos en monocultivos, pueden aumentar la presión de plagas, ya que se aumenta el uso de plaguicidas, generando resistencia. La falta de hábitats y recursos para los enemigos naturales produce el aumento de plagas. Por ejemplo, en Portugal se ha observado mayores densidades de *Lobesia botrana* y *Empoasca vitis*, que son herbívoros de la uva. También el aumento de hongos patógenos como *Botrytis cinerea*. En cambio, en los sistemas complejos se ha encontrado mayor densidad de depredadores y parasitoides. Específicamente familias depredadoras Coccinellidae y Syrphidae, también especies como *Chrysoperla carnea* y algunos del género *Orius* spp. Parasitoides en general de la familia Ichneumonidae, pero también *Trichogramma* spp. que parasita los huevos de *L. botrana* (Altieri and Nicholls, 2002).

Un agroecosistema incluye distintas especies que interaccionan entre ellas. Se ha observado que la plantación, y posterior incorporación, de ciertos cultivos en intercropping con las vides beneficia al sistema. Por ejemplo, el raps (*Brassica napus* L.) es alelopático y factible en el control del nemátodo *Xiphinema index*, en uva de mesa (Aballay e Insunza, 2002).

Los viñedos son agroecosistemas perennes ideales para la asociación con cultivos de cobertura y prácticas de cero labranzas, lo que permite mejorar su contenido de materia orgánica en el suelo y la actividad microbiológica. Los cultivos de cobertura en los viñedos se suelen sembrar en otoño, para aprovechar la época lluviosa, y se cortan o labran en la primavera, disminuyendo el daño potencial por heladas. Por lo que se abarca el período inactivo de la vid (Steenwerth y Belina 2008).

La interacción entre los componentes de los agroecosistemas permite que se potencien mutuamente. Por ejemplo, dejando el barbecho para el crecimiento de leguminosas espontáneas, que sirven como camas de ganado, y se vuelven a incorporar al viñedo como enmienda orgánica (Altieri and Nicholls, 2002).

### **1.3. Intercropping**

El intercropping corresponde al cultivo intercalado de dos o más especies que coexisten en el mismo espacio y tiempo. Generalmente se distribuyen en franjas o en las hileras. El resultado puede ser positivo o negativo. Sus ventajas potenciales son la productividad, estabilidad de los productos, resistencia a estrés y sostenibilidad

ecológica. Su principal desventaja es la competencia por recursos entre los cultivos (Wezel et al., 2014).

El intercropping ayuda a mejorar la estructura y fertilidad del suelo, disminuyendo así la compactación y erosión (Wezel et al., 2014). Además, puede aumentar la productividad del suelo, y reducir el impacto de plagas y enfermedades (Malézieux et al., 2009). Sin embargo, no se recomienda el uso de cultivos de cobertura cuando hay escasez de agua, temporadas cortas o periodos de congelación (Hallama et al., 2019).

El intercropping adecuado entre plantas emisoras de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) con cultivos puede ser muy beneficioso. Las especies emisoras de VOCs que son sensibles a algún estrés, pueden ser “plantas centinelas” que señalan y generan resistencia en los cultivos vecinos. Los cultivos permanecen cebados, es decir, en estado de alerta semanas o incluso puede ser heredada la resistencia (Crisp et al., 2016). Las combinaciones óptimas de intercropping otorgan beneficios ecológicos y económicos, como la disminución, e incluso eliminación, del uso de fertilizantes sintéticos, que pueden dañar el medio ambiente y la salud humana (Cesco y Rombolà, 2007; Rombolà y Tagliavini, 2006). El intercropping otorga beneficios adicionales a los cultivos principales. Los cereales y leguminosas son muy utilizadas debido a su importancia ecológica y a su uso como forraje. Las leguminosas interactúan con otras plantas mediante exudados de las raíces y aumentan la fijación de N (Hallama et al., 2019). Los exudados de las raíces contribuyen a la señalización química de la interacción entre plantas, y modifican sus perfiles y concentraciones de compuestos (Contreras et al., 2019). Los cultivos de cobertura interactúan con los microorganismos del suelo. Por ejemplo, los hongos micorrícicos extienden las raíces, otros microorganismos promueven el crecimiento de raíces y modifican su arquitectura, produciendo ramificaciones o pelos radicales, mediante moléculas de señalización en la rizosfera (Hallama et al., 2019).

El tipo de cultivo de cobertura afecta en la biomasa producida por el cultivo principal, y en su concentración de P en los tejidos. Por ejemplo, Fabaceae y Brassicaceae generan altas concentraciones de P, no así las Poaceas, pero produce mayor cantidad de biomasa (Hallama et al., 2019).

Algunos beneficios que otorgan los cultivos de cobertura son la exudación de aniones orgánicos y enzimas. Lo que estimula la interacción entre los cultivos de cobertura con la comunidad microbiana del suelo, permitiendo así potenciar el ciclo de fósforo (P) en el suelo (Hallama et al., 2019).

Existen distintas vías para la absorción del P (Hallama et al., 2019):

- el P no disponible se almacena en la biomasa del cultivo de cobertura (principalmente Poaceae, Brassicaceae y Fabaceae), luego se mineraliza en el suelo quedando disponible;
- el cultivo de cobertura (principalmente Poaceae y Fabaceae) mejora la comunidad microbiana del suelo y la actividad de las enzimas fosfatasa extracelulares;
- hay cultivos de cobertura como *Lupinus* sp. que modifican bioquímicamente la rizósfera, dejando el P disponible.

La práctica de intercropping en los viñedos otorga beneficios potenciales a las vides y al medio ambiente, ya que mejora la tasa de infiltración y disminuye la escorrentía del suelo (Léonard y Andrieux, 1998), limita el uso de herbicidas ya que controla las malezas, puede mejorar la utilización de los recursos hídricos por las raíces de la vid (Monteiro y Lopes, 2007) y limita los riesgos de enfermedades al disminuir el vigor de las vides (Valdés Gómez et al., 2008).

Estudios sobre intercropping con vides han observado que: el trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.) es una leguminosa que libera ácidos orgánicos, aminoácidos y flavonoides, por lo que puede aumentar los rendimientos de las vides (Contreras et al., 2019), que la festuca (*Festuca rubra*) permite prevenir la clorosis férrica en vides (Covarrubias et al., 2014), y que la alfalfa de secano (*Medicago polymorpha* L.) fija el N atmosférico, dejando disponible hasta 120 kg N/ha/año para las vides (*Vitis vinifera* L.), lo que puede duplicar el requerimiento nutricional en hojas, ramas y racimos de vid (Sulas et al., 2016).

Se han realizado diversos estudios que observan como el intercropping entre diversas especies permite que los VOCs de un cultivo mejoren la nutrición y la tolerancia del cultivo principal frente a plagas de insectos y patógenos. Algunos ejemplos son:

- el lupino (*Lupinus* sp.) moviliza P (Hallama et al., 2019);
- el maíz (*Zea mays*) mejora la nutrición de Fe del maní (*Arachis hypogaea*) (Hallama et al., 2019);
- algunas plantaciones entre centeno (*Hordeum vulgare*) y avena (*Avena sativa*) permiten resistir mejor al invierno (Hallama et al., 2019);
- los VOCs de cebolla (*Allium cepa*) aumentan los terpenoides (E)-nerolidol y TMTT en papa (*Solanum tuberosum*), disminuyendo la incidencia del pulgón alado *Myzus persicae*, respecto al monocultivo de papa (Ninkovic et al., 2013);

- el intercropping de sésamo (*Sesamum indicum*) con falso sésamo (*Ceratotheca sesamoides* cv Gogoro), disminuye la población de la polilla *Antigastra catalaunalis* Endl., respecto al monocultivo de sésamo (Uddin and Osagie, 2017);
- los VOCs de las plantas aromáticas león chino (*Leonurus artemisia*) y la leguminosa *Cassia tora* repelen al saltamonte verde del té (*Empoasca onukii* Matsuda), que es una plaga del té (*Camellia sinensis* L.) (Zhang et al., 2017);
- el trigo (*Triticum* spp.) asociado con trébol (*Trifolium* spp.) duplica la cantidad de lombrices en el suelo (Wezel et al., 2014);
- algunas especies de Brassica cuentan con propiedades biofumigantes (Hallama et al., 2019);
- el intercropping entre el banano (*Musa* spp.) con el cebollín chino (*Allium tuberosum* Rottler), controla el crecimiento de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4, que produce la enfermedad panameña del banano;
- Los VOCs producidos por el cebollín chino que controlan el hongo patógeno son: 2-metil-2-pental y los compuestos organosulfurados: dimetil trisulfuro, dimetil disulfuro, dipropil disulfuro y dipropil trisulfuro (Zhang et al., 2013).

#### **1.4. Plantas medicinales y aromáticas (MAPs)**

Las plantas medicinales y aromáticas (MAPs) presentan características organolépticas y antioxidantes, por lo que son comúnmente utilizadas como saborizantes alimentarios y otorgan beneficios a la salud de los consumidores. Específicamente, sus capacidades antioxidantes permiten la prevención de enfermedades como el cáncer, trastornos inflamatorios, degeneración neurológica y enfermedades coronarias. Algunos ejemplos son el romero (*Rosmarinus officinalis*), el orégano (*Origanum vulgare*) y el tomillo (*Thymus vulgaris*) (Perestrelo et al., 2017).

La presente tesis se centra en el uso de la salvia (*Salvia officinalis*), que corresponde a una MAP. El aceite de salvia contiene cuatro aceites esenciales que cuentan con un rol principal en el alivio de dolores, corresponden a: acetato de linalilo, linalool, eucaliptol y  $\beta$ -cariofileno. Por lo cual, la Comisión E, que es una cooperativa científica alemana sobre fitoterapia, ha aprobado el uso medicinal de la salvia por los beneficios médicos que producen sus VOCs. Específicamente, se permite su uso para malestar gastrointestinal leve, gingivitis, faringitis e hiperhidrólisis. Ya que cuenta con diterpenos que poseen capacidad antiinflamatoria (Devansh, 2012).

La salvia cuenta con un potencial antidiabético, ya que la tuyoona corrige el perfil lipídico, y tanto el ácido oleanólico como el ácido  $\alpha$ -linolénico, actúan sobre factores de transcripción. También se ha estudiado que la salvia cuenta con propiedades antinociceptiva, anticancerígena y antiangiogénica. Además, es eficaz contra el Alzheimer, la Demencia y la Dermatitis, en parte porque la salvia presenta un potencial antioxidante, otorgado por el ácido rosmarínico (Devansh, 2012).

La salvia contiene fenoles con actividad antimicrobiana; se ha observado su eficacia en *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica*, *Salmonella infantis* y *Escherichia coli*. Y actividad antifúngica sobre *Candida albicans*, *Aspergillus niger* y *Penicillin* spp (Devansh, 2012).

#### 1.4.1. Salvia

El género *Salvia* (Lamiaceae) incluye casi 1000 especies diversas (Walker and Sytsma, 2007). La *Salvia officinalis* Linn es un arbusto perenne que alcanza una altura de 60 cm. Presenta tallos leñosos, hojas grisáceas y flores de color azul – púrpura, que se agrupan en inflorescencias que corresponden a racimos de 10-30 cm de largo (Figura 5) (Devansh, 2012).



Figura 5. *Salvia officinalis* Linn en floración.

La salvia es una planta nativa del sur de Europa; de la zona mediterránea (Craft et al., 2017), por lo que no sobrevive a heladas extremas (Devansh, 2012).

Los aceites esenciales de salvia varían en su composición química durante el día, por lo que también cambian sus potenciales antioxidantes, insecticidas y antifúngicos. Se ha observado que a las 7 am presenta una alta actividad antirradical y controla de mejor manera la *Spodoptera littoralis*, entre las 12 y 5 pm es más eficiente en el control de *Botrytis cinerea*, y a las 5 pm ocurre el mejor control de *Fusarium sambucinum* (Rguez et al., 2019).

#### 1.4.2. Compuestos orgánicos volátiles (VOCs)

Los VOCs son metabolitos secundarios de las plantas, constituyen aproximadamente el 1% de aquellos metabolitos. En general corresponden a moléculas lipofílicas, que se pueden difundir en el medio ambiente y atravesar

membranas biológicas debido a su bajo peso molecular y alta presión de vapor (Lazazzara et al., 2018). Son compuestos importantes de las plantas porque están implicados en diversas funciones como la resistencia y defensa de las plantas frente a estrés, apagan las especies reactivas de oxígeno (ROS), presentan efectos antimicrobianos y alelopáticos, y regulan el crecimiento, desarrollo y senescencia de las plantas, ya que interactúan con distintas fitohormonas. Los VOCs pueden emitirse por las hojas de las plantas en cualquier momento, producto de un estrés biótico o abiótico (Brilli et al., 2019).

Los VOCs median la comunicación entre las plantas, tanto aérea como subterráneamente. Así también, las interacciones de las plantas con microorganismos, polinizadores, dispersores de semillas, herbívoros y sus enemigos naturales. Estimulan mecanismos de alerta y competencia entre las plantas como: la identificación y el estado de una planta vecina, el camuflaje químico adquirido ambientalmente y la alelopatía que afecta la germinación o el crecimiento de semillas. Afectan directamente en la salud, crecimiento y reproducción de las plantas, e indirectamente en el comportamiento de animales y microorganismos que interactúan con las plantas (Effah et al., 2019).

Las plantas que emiten VOCs tienen la capacidad de atraer insectos beneficiosos, como enemigos naturales. Las plantas receptoras pueden responder pasiva o activamente a los VOCs exógenos; pasivamente al adsorber y liberar los VOCs a las plantas vecinas, y activamente al cambiar su expresión genética (Effah et al., 2019). Los VOCs emitidos por daños de herbívoros ayudan a que los depredadores y parasitoides puedan localizar a dichos herbívoros. La exposición a los VOCs, de las plantas sin ataque previo de una plaga, aumenta su producción de defensas. Específicamente, aumentan la producción de VOCs y acumulan jasmonatos (Baldwin et al., 2006).

Algunos ejemplos que se han estudiado sobre las funciones que producen los VOCs en las plantas son (Brilli et al., 2019):

- repelen a los herbívoros y atraen a sus parasitoides;
- el hexenal y algunos isoprenoides producen efectos alelopáticos, ya que inhiben la germinación de semillas y el crecimiento de raíces;
- los isoprenoides otorgan protección frente a los estreses abióticos, ya que apagan los ROS y fortalecen las membranas celulares;
- inducen la síntesis de proteínas y metabolitos de defensa, como fitoalexinas, para combatir la colonización de microorganismos;

- inducen cambios epigenéticos y acumulan factores de transcripción, por lo que aceleran la defensa de las plantas;
- el salicilato de metilo (MeSA) y los monoterpenos canfeno y pineno participan activamente en la resistencia sistémica adquirida (SAR) (Dempsey y Klessig, 2012).

Los VOCs, dado su naturaleza, son volátiles, por lo que se ven influenciados fuertemente por los factores meteorológicos, especialmente a la velocidad y dirección del viento, la humedad y precipitaciones, y la temperatura del aire (Brilli et al., 2019). Otros estimuladores son: la salud de la planta, su ecosistema, la época del año y la duración del día (Krstic et al., 2015). La composición de los VOCs producidos por la salvia varía según el órgano analizado. Es por esto que se muestran los porcentajes de concentración de los principales VOCs presentes en las flores, hojas y tallos de la salvia (Veličković et al., 2003) (Tabla 1).

Tabla 1

*Porcentaje de los principales VOCs presentes en la flor, hoja y tallo de salvia.*

<b>Constituyentes</b>	<b>KI</b>	<b>Rlexp</b>	<b>Flor</b>	<b>Hoja</b>	<b>Tallo</b>
$\alpha$ -Pineno <sup>m</sup>	939	938	2,1	1,6	0,2
$\beta$ -Pineno <sup>m</sup>	979	976	1,8	0,9	0,8
<i>p</i> -Cimeno <sup>m</sup>	1025	1029	tr.	tr.	tr.
Limoneno <sup>m</sup>	1029	1033	tr.	0,1	tr.
1,8-Cineol <sup>m</sup>	1031	1036	7,3	3,1	1,7
$\gamma$ -Terpineno <sup>m</sup>	1060	1060	0,1	0,1	tr.
<i>cis</i> -Tuyona <sup>m</sup>	1102	1105	0,6	4,5	2,1
Alcanfor <sup>m</sup>	1146	1141	0,5	1,3	0,6
Isobornil acetato <sup>m</sup>	1286	1280	0,1	0,1	1,5
Carvacrol <sup>m</sup>	1299	1303	tr.	tr.	0,3
<i>n</i> -Tridecano	1300	1304	tr.	1,1	
Eugenol <sup>m</sup>	1359	1356	tr.	0,2	
( <i>E</i> )-Cariofileno <sup>s</sup>	1419	1414	4,7	5,3	1,9
$\alpha$ -Humuleno <sup>s</sup>	1455	1449	4,0	5,6	1,9
$\delta$ -Cadineno <sup>s</sup>	1523	1519	0,2	1,3	0,3
Viridiflorol <sup>s</sup>	1593	1591	3,6	3,7	2,7
Manool <sup>s</sup>	2057	2050	11,1	9,0	9,9
Metil octadecanoato	2125	2154		2,8	0,6
<i>trans</i> -Totarol <sup>d</sup>	2314	2299	0,6	0,4	4,0
<i>trans</i> -Ferruginol <sup>d</sup>	2332	2317	4,8	0,1	1,1
<i>cis</i> -Ferruginol <sup>d</sup>	2371	2340	4,4		
<i>n</i> -Pentacosano	2500	2477	0,1	tr.	8,3

*Nota.* Elaboración propia basada en Veličković et al., 2003. Donde KI corresponde al índice de retención de Kovats y RI al índice de retención experimental determinado. tr = trazas, m = monoterpenos, s = sesquiterpenos y d = diterpenos.

La actividad antimicrobiana de los VOCs es un gran potencial para la agroecología, ya que permite disminuir el uso de plaguicidas sintéticos. Pero se debe tener cuidado con posibles efectos secundarios, ya que, por ejemplo, el exceso de  $\alpha$ -tuyona puede provocar neurotoxicidad y carcinogenicidad en personas que se expongan crónicamente (Craft et al., 2017).

### 1.5. Vid

La viticultura orgánica corresponde al 4,5% de la superficie mundial de viticultura, está concentrada principalmente en España, Italia y Francia (Döring et al., 2019). En Italia la producción orgánica de vid ha aumentado, entre 2010 y 2018, de 52.273 a 106.447 ha (SINAB, 2019).

La viticultura orgánica aumenta la actividad biológica del suelo, respecto a la producción convencional. Además, presenta mayor biomasa microbiana, lo que puede causar el aumento de K y P en el suelo. Aumenta la materia orgánica del suelo, incrementando así la eficiencia metabólica microbiana, ya que presenta bajos valores de  $qCO_2$ . También incrementa el N mineralizado en la capa superficial del suelo, gracias al compost y cultivos de leguminosas. Pero es importante señalar que se requiere algunos años de estabilización del sistema orgánico para presentar estos resultados.

La viticultura orgánica aumenta la biodiversidad en la mayoría de los niveles tróficos del sistema. Además, al ser un cultivo perenne y por sus características climáticas, permite las condiciones para ser hábitat de especies raras y en peligro de extinción.

Los recursos florísticos de los viñedos orgánicos permiten una mayor riqueza de plantas y una mayor biodiversidad de depredadores de artrópodos, especialmente carábidos y arañas. Lo que se debe a que en la producción convencional hay lixiviación de productos químicos y fertilizantes. La diversidad del paisaje, como la cercanía a zonas de conservación, es un factor importante en la diversidad de arañas en los viñedos. Además, en Italia se ha observado una mayor biodiversidad de ácaros depredadores (Phytoseiidae y Tydeidae) (Döring et al., 2019).

La viticultura orgánica aumenta la biodiversidad bacteriana y fúngica, la abundancia de hongos micorrizos y la colonización por hongos endófitos en las raíces de las vides y malezas. También mejora la diversidad microbiana en las uvas y vides, incluso es común la presencia de *Aureobasidium pullulans*, hongo que tiene la capacidad de metabolizar S inorgánico y absorber Cu (Döring et al., 2019). Se ha

observado que algunas cepas de *A. pullulans* mejoran la composición del leño en manzano, al aumentar la celulosa y hemicelulosa (Rusin et al., 2019) y producen VOCs que controlan el crecimiento de hongos patógenos como *Monilia* spp. y mejora la composición de frutos de carozo, ya que complejiza sus ceras (Di Francesco et al., 2020).

### 1.5.1. Compuestos aromáticos de la uva

Los compuestos aromáticos son metabolitos secundarios que se pueden biosintetizar en las bayas o durante la vinificación y el envejecimiento del vino, concluyendo en la producción de vinos que pueden presentar más de mil compuestos volátiles diferentes. Los VOCs varían según el cultivar de vid (Alem et al., 2019); los distintos cultivares se pueden agrupar según las concentraciones de compuestos aromáticos que presentan. Las clasificaciones son (Mateo et al., 2000):

- moscatel de sabor intenso;
- no moscatel pero aromática;
- neutral.

Los precursores de aromas específicos de la uva son inodoros, ya que son moléculas no volátiles. Pero, mediante la hidrólisis de un enlace o el reordenamiento químico espontáneo, puede producir moléculas odoríferas específicas (Ferreira y Lopez, 2019).

Los principales compuestos aromáticos que se encuentran presente en la uva son (Tabla 2): terpenos o isoprenoides,  $C_{13}$ -norisoprenoides, fenoles y alcoholes no terpénicos, pueden están como volátiles libres o moléculas glicoconjugadas (Alem et al., 2019).

Tabla 2

*Principales compuestos aromáticos de la vid (Vitis vinifera).*

Table 1. Aroma compounds concentrations				
Molecule group	Compound	Typical conc.	Variety	Reference
Norisoprenoids	$\beta$ -damascenone	10 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Riesling	Kwasniewski et al. <sup>2</sup>
	TDN	71 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Riesling	Kwasniewski et al. <sup>2</sup>
C6 compounds	$\alpha$ -ionone	17 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Cabernet Sauvignon	Bindon et al. <sup>3</sup>
	Total glycosylated	357.71 ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	Merlot	Song et al. <sup>4</sup>
	Hexanol	338.57 ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	Merlot	Song et al. <sup>4</sup>
Thiols	(S) 3MHCys	5–9 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Riesling	Roland et al. <sup>5</sup>
	(R) 3MHCys	4–6 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Riesling	Roland et al. <sup>5</sup>
	(S) 3MHGlu	97–119 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Riesling	Roland et al. <sup>5</sup>
	(R) 3MHGlu	35–38 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Riesling	Roland et al. <sup>5</sup>
Terpenes	Total glycosylated	1899 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Riesling	Friedel et al. <sup>6</sup>
	Linalool	862 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Riesling	Friedel et al. <sup>6</sup>
	Geraniol	121 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Riesling	Friedel et al. <sup>6</sup>

Nota. Recuperado de Alem et al. (2019).

El aroma de las uvas incluye tres categorías de compuestos (Ferreira y Lopez, 2019):

- aroma libre, que corresponde a moléculas que se ubican en la película y pulpa de las bayas;
- moléculas formadas por procesos enzimáticos/catalíticos;
- moléculas formadas en la cavidad bucal, producidas por la interacción con enzimas salivales y bacterianas.

Las moléculas formadas por procesos enzimáticos/catalíticos incluyen aldehídos, cetonas y alcoholes formados por peroxidación de ácidos grasos. Los aldehídos son los compuestos más potentes en aromas, pero presentan umbrales de olor de cientos de veces más pequeños que los alcoholes correspondientes. La mayoría son compuesto de seis átomos de carbono ( $C_6$ ), pero también se presenta un grupo de compuestos aromáticos potentes que contienen nueve átomos de carbono ( $C_9$ ), como E-2-nonenal y (E,Z)-2,6-nonadienal. Derivan de la oxidación enzimática de ácidos grasos en el procesamiento del mosto, y se caracterizan por presentar olor a hojas verdes (Ferreira y Lopez, 2019). Los compuestos glicosilados presentan poco o ningún olor, pero al hidrolizarse los glucósidos, los compuestos pueden volatilizarse, produciendo olores activos. Las moléculas de aroma en uvas son: terpenos, norisoprenoides, metoxipirazinas, compuestos  $C_6$  y tioles (Alem et al., 2019).

Los terpenos conforman uno de los grupos de metabolitos secundarios más grande en las plantas. Se encuentran en forma libre o glicosilada, en el último caso, se suelen conjugar con glucosa, arabinosa, ramnosa o apiosa. Cuentan con un rol clave en la resistencia de las plantas frente a hongos y bacterias. Se presentan principalmente en la película de las bayas. Los terpenos glicosilados son moléculas no volátiles e inodoras. En cambio, cuando se presentan libres son muy volátiles y olorosos, presentándose generalmente como monoterpenos ( $C_{10}$ ) o sesquiterpenos ( $C_{15}$ ) (Alem et al., 2019). Los monoterpenos y sesquiterpenos están involucrados en las interacciones planta-planta, planta-insecto y planta-patógeno (Carlomagno et al., 2012).

Los sesquiterpenos se ubican en la cera epicuticular de las bayas. Los monoterpenos consisten en hidrocarburos, aldehídos y alcoholes. Los alcoholes con mayor impacto olfativo, pero bajo umbral de percepción son: linalool, terpenol, nerol,  $\alpha$ -terpineol, geraniol y citronelol (Alem et al., 2019). Pueden acumularse en la baya en niveles perceptibles sensorialmente. El 1,8-cineol es un terpineol (monoterpeno) que otorga notas verdes y mentoladas en el vino, con olor a eucalipto. Generalmente es un VOCs exógeno, que viene de árboles de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) (Ferreira

y Lopez, 2019), o plantas invasoras como *Artemisia verlotiorum* (Poitou et al., 2017). Está directamente relacionado con la proximidad de los eucaliptos respecto al viñedo. Es importante señalar que las mayores concentraciones del 1,8-cineol (eucaliptol) en la vid se hallaron en las hojas, luego en los tallos y finalmente en la película de las bayas. Pero existe variabilidad dentro del viñedo, lo que se puede deber al vigor, al tamaño de las copas y a la sanidad de las vides (Capone et al., 2012). Los norisoprenoides son compuestos aromáticos que presentan estructuras cíclicas, y se encuentran generalmente en la película de las bayas. Los  $C_{13}$ -norisoprenoides son los más abundantes en las uvas, y posteriormente los más importantes en los aromas de los vinos tintos y blancos. Algunos de los norisoprenoides más importantes son: TCH (2,2,6-trimetilciclohexanona),  $\beta$ -damascenona,  $\beta$ -ionona, vitispirano, actinidiol y TDN (1,1,6-trimetil-1,2-dihidronaftaleno). Los norisoprenoides derivan de la biodegradación de los carotenoides, puede ser de carácter química, fotoquímica u oxidativa. Otorgan aromas florales y frutales en el vino. Presentan un umbral de detección muy bajo. Los norisoprenoides presentes en el jugo de las uvas se encuentra principalmente derivados de sus precursores glicosilados (Alem et al., 2019).

Las metoxipirazinas son VOCs libres que producen aromas a pimiento y espárragos en el vino, por lo que son indeseables en altas concentraciones. Derivan del metabolismo de los aminoácidos, por lo que presentan nitrógeno en su estructura. Los más importantes son: IBMP (3-isobutil-2-metoxipirazina), IPMP (3-isopropil-2-metoxipirazina) y SBMP (3-sec-butil-2-metoxipirazina) (Alem et al., 2019).

Los compuestos  $C_6$  corresponden principalmente a alcoholes y aldehídos, pero también a cetonas, ácidos, ésteres y lactonas. Derivan de ácidos grasos, produciéndose mediante la vía de la oxidación de la lipoxigenasa. Otorgan aromas verdes en las uvas y el vino (Alem et al., 2019). Los productos de la lipoxigenasa en las plantas se relacionan con el grado de madurez de las uvas (Gómez et al., 1995).

La enzima lipoxigenasa actúa sobre algunos ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linoleico y  $\alpha$ -linoleico (Lin et al., 2019). El hexanol es el principal alcohol  $C_6$ , cuando interactúa con sulfuro de dimetilo y metanetiol, podría producir notas herbáceas en el vino, al contrario de lo que ocurre con acetaldehídos y ácidos grasos lineales (Ferreira y Lopez, 2019). Otros compuestos formados por las lipoxigenasas son: Z-3-hexenal, E-2-hexenal, hexanal, E, Z-2,6-nonadienal, Z y E-3-hexenol, E-2-hexenol, que presentan actividad en la defensa de las plantas contra patógenos (Carlomagno et al., 2012). Los tioles son VOCs de azufre, que se encuentran de forma unida en las uvas, generalmente ligados a cisteína o glutatión, derivan de

ácidos grasos y son inodoros hasta su liberación enzimática. En bajas concentraciones otorga aromas de grosella negra, cítricos y maracuyá en los vinos, pero en altas concentraciones produce características indeseables (Alem et al., 2019).

La caracterización de los compuestos volátiles permite estudiar la influencia del ambiente en las vides, el estado hídrico de las plantas, y la gestión del dosel y del suelo (Carlomagno et al., 2012).

Los árboles frutales pueden absorber compuestos volátiles presentes en la atmósfera. Se ha observado en vid que, al absorber humo de incendios forestales, se contaminan las bayas, y posteriormente el vino, debido a la formación de fenoles volátiles organolépticos, producidos por oxidación durante la combustión de biomasa lignocelulósica, alterando el metabolismo endógeno de la síntesis de fenoles volátiles, mediante la vía del ácido shikímico/fenilpropanoide (Noestheden et al., 2018b). Se almacenan libremente o como conjugados lábiles (Noestheden et al., 2018a), formando glicoconjugados de fenol volátiles, como pentosa-glucósidos de guaiacol, cresoles y fenoles, y gentiobiósidos de guaiacol y siringol (Munguia et al., 2019).

El ingreso de fenoles volátiles a la vid se logra mediante tres vías (Krstic et al., 2015):

- difusión pasiva directa a través de la cutícula y epidermis de la baya;
- entrada por los estomas de las hojas, para luego ser traslocados mediante el sistema vascular a los frutos;
- absorción radical, seguido de la traslocación a las uvas.

Los incendios forestales y la quema controlada de pastizales producen sabores indeseados en el vino, como: ahumado, quemado, medicinal, ceniciento y excesivamente seco en el paladar. Los incendios producen VOCs, además de la combustión y pirólisis de lignina, hemicelulosa y celulosa (Krstic et al., 2015).

El vino con humo presenta una concentración significativa de guaiacol, 4-metilguaiacol, 4-etilguaiacol, 4-etilfenol, eugenol y furfural. Se analizó mediante GC-MS (Gas chromatography–mass spectrometry), comparando con compuestos ausentes en el vino sin humo. Además, se observó que la remoción de la cutícula cerosa de las bayas aumenta la absorción de guaiacol en la película, frente a la exposición al humo (Krstic et al., 2015).

### 1.5.2. Uvas neutras

La mayoría de los cultivares de vid presentan una pequeña fracción de aromas libres, por lo que cuentan con olores y sabores débiles. Se debe considerar que las uvas son frutas ricas en agua, por lo que los compuestos aromáticos, que suelen ser hidrófobos, forman enlaces covalentes con moléculas polares de la pulpa y película del fruto, correspondientes a azúcares y aminoácidos (Ferreira y Lopez, 2019).

En las variedades no aromáticas, como Trebbiano Romagnolo, los monoterpenos se presentan en bajas concentraciones, por lo que no se perciben olfativamente (Alem et al., 2019). Las variedades neutras requieren catálisis ácida de los precursores de moléculas de aroma, como los norisoprenoides, para producir olor. En consecuencia, se degradarán las moléculas de aroma lábiles, como linalool y geraniol (Ferreira y Lopez, 2019).

En cv Nebbiolo, que también es neutro, en uvas blancas, se identificaron cinco moléculas “prefermentativas”, que corresponden a: benzenoides, terpenoides,  $C_{13}$ -norisoprenoides, aldehídos y alcoholes (los dos últimos derivan de lípidos  $C_6$ ). Se distinguen de las moléculas “constituyentes” de la baya (libres y glicosiladas), porque al romper la baya, ésta entra en contacto con enzimas y sustratos, transformando los precursores inodoros (Carlomagno et al., 2012). Las uvas neutras presentan sabores sutiles, a pesar de que contienen una gran cantidad de compuestos aromáticos, pero se encuentran en concentraciones inodoras (Ferreira y Lopez, 2019).

Los aromas de las uvas neutras se pueden clasificar en siete series aromáticas (Ferreira y Lopez, 2019):

- frutal: isobutirato de etilo, butirato de etilo, 3-metilbutirato de etilo, hexanoato de etilo, octanoato de etilo, entre otros;
- fruta muy dulce: furaneol, homofuraneol,  $\beta$ -damascenona,  $\gamma$ -nonalactona y massoia lactona;
- floral-dulce: vainilla etil vanillato,  $\beta$ -ionona,  $\beta$ -feniletilo de acetato y fenilacetaldehído;
- floral-cítrico: linalool, geraniol, limonene, nonanal, entre otros;
- herbáceo: hexanal, (Z)-3-hexenal, (E)-2-hexenal, (Z)-3-hexenol, (E)-2-nonenal y (E,Z)-2,6-nonadienal;
- pimienta: rotundona;
- inespecífico: 3-metilbutanal, acetato de etilo y diacetilo.

Generalmente las uvas neutras contienen bajas cantidades de terpenos, como furaneol libre, limoneno, linalool y geraniol, de norisoprenoides, como  $\beta$ -damascenona y  $\beta$ -ionona, ésteres de etilo, como butirato de etilo y hexanoato de etilo,

de fenoles volátiles y vainillina. Los compuestos recién mencionados, en conjunto con los derivados de la oxidación de ácidos grasos, otorgan el sabor sutil de las uvas neutras (Ferreira y Lopez, 2019).

Los cv neutros presentan bajos umbrales de percepción. En consecuencia, los  $C_{13}$ -norisoprenoides, que derivan de carotenoides, modifican su estructura química durante la vinificación, tomando formas activas sensorialmente (Carlomagno et al., 2012).

Las vides blancas no presentan una correspondencia entre el máximo de azúcares con la mayor acumulación de compuestos volátiles, durante la maduración. Ya que la acumulación de los compuestos volátiles depende del genotipo y del ambiente del viñedo. La mayor producción de compuestos volátiles en cv Nebbiolo ocurre 20 días después del envero. Luego se estabiliza en 2700  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de compuestos volátiles por kg de fruto, desde 35 días después del envero hasta la cosecha (Carlomagno et al., 2012).

Para producir vinos con poco alcohol, se puede aprovechar de aumentar el potencial aromático al cosechar anticipadamente o utilizando antitranspirantes que reducen la fotosíntesis (Carlomagno et al., 2012).

### 1.5.3. Trebbiano Romagnolo

El cv Trebbiano Romagnolo, uva blanca (Figura 6), y se utiliza tanto en uva de mesa como para la elaboración de vinos con denominación, dentro de la región Emilia-Romaña (Baldi et al., 2017). Presenta brotación, floración y envero medio, y una maduración de la uva en la IV época (previo a octubre). Además, un vigor notable y producción abundante y constante. El cultivar suele tolerar al mildiú de la vid, un poco menos al oídio y presenta cierta tolerancia a la pudrición gris (Pecile et al., 1970).



Figura 6. Racimo de vid cv Trebbiano Romagnolo (Cosmo y Polsinelli, 1965).

Actualmente se cultiva en las regiones italianas de Lombardia, Emilia-Romagna, Molise y Sardegna. En el año 1970 contaba con 22.316 hectáreas de superficie, las

que han disminuido a 15.893 hectáreas en el año 2010 (Pecile et al., 1970). La principal región de producción es Emilia-Romagna, donde el 28% de la superficie de vid corresponde al cv Trebbiano Romagnolo, valor equivalente a 15.500 ha en 2018. Es importante señalar que este número ha disminuido, ya que en el año 2000 habían 20.000 ha del cv Trebbiano Romagnolo en la región (Consorzio Vini di Romagna, 2018).

El cv Trebbiano Romagnolo se caracteriza por presentar brotes de 10 a 20 cm de largo, con hojas apicales de color verde con reflejos dorados intensos, y hojas basales de color verde que toman reflejos dorados desde la floración (Figura 7). Las ramas herbáceas son verdes con una tonalidad rojiza. Presenta 1 a 2 inflorescencias por brote, las cuales son elongadas, piramidales y compactas, con flores hermafroditas regulares. El racimo presenta un tamaño medio, correspondiente a 20 cm al momento de la madurez. Se caracteriza por tener forma cilíndrica-piramidal, ser un poco compacto, pedicelo delgado, cortos y de color verde claro. La baya es de tamaño medio, la película es de color ámbar que puede tornar a rojiza, un poco astringente, la pulpa es jugosa, con un sabor simple y dulce. Las semillas son pequeñas y suelen encontrarse dos semillas por baya. En la maduración adquieren un color amarillo-dorado característico. Los sarmientos leñosos presentan longitud y robustez media, entrenudos cortos y yemas medias. El tronco es robusto (Pecile et al., 1970).



Figura 7. Hojas de vid cv Trebbiano Romagnolo (Cosmo y Polsinelli, 1965).

#### 1.5.4. Manejos agronómicos

Los manejos agrícolas pueden afectar, tanto directa como indirectamente, en el contenido de metabolitos secundarios. Se ha observado, en compuestos fenólicos, que se afectan directamente al provocar cambios en la biosíntesis de la molécula, e indirectamente al cambiar el volumen y peso del fruto.

Las prácticas agronómicas que pueden afectar el perfil aromático de las bayas son: el raleo de hojas, el sistema de conducción, la fertilización foliar, el riego, la pulverización de compuestos exógenos y el adelgazamiento de racimos, ya que pueden impactar en el metabolismo primario y secundario de la vid. Es importante considerar que la biosíntesis de VOCs se ve afectada en plantas estresadas, por lo que disminuye la calidad de la uva.

El raleo de hojas produce cambios en el microclima de las plantas, afectando la composición final del fruto. Lo que ocurre en general con todos los manejos que controlen el vigor de las vides, para determinar la sombra que reciben los racimos. Tanto la luz como la temperatura producen efectos en la concentración de flavonoides de las bayas. La remoción de hojas es una práctica muy efectiva para mejorar los aromas y evitar pudriciones de las bayas.

La exposición al sol de los racimos produce un aumento en los  $C_{13}$ -norisoprenoides en bayas y vino de cv Riesling y Chenin. También se ha observado aumento en los monoterpenos glicoconjugados, carotenoides y terpenol en las bayas de cv Sauvignon y en los fenoles glicoconjugados en bayas de moscatel. El efecto varía entre diversos norisoprenoides. Por ejemplo, la exposición al sol produce un aumento de TDN y vitispirano, se debe considerar que la sobreexposición al sol produce un gran aumento de TDN que es indeseable, ya que otorga aromas a queroseno.

Los sistemas de conducción de la vid, los métodos de poda y la orientación de las hileras influyen la recepción de luz solar de los racimos. Estudios que han comparado distintos sistemas de conducción, han concluido que la Doble cruceta alternativa (ADC), Smart-Dyson hacia arriba y Doble cortina Ginebra presentan altos niveles de terpenos libres y glicoconjugados en bayas de cv Riesling y Viognier. Se ha observado que la práctica de poda mínima produce una mayor concentración de VOCs que el posicionamiento vertical de brotes en cv Viognier, específicamente compuestos  $C_6$ , alcoholes aromáticos y  $C_{13}$ -norisoprenoides. Pero es importante señalar que la poda mínima disminuyó el peso y volumen de las bayas, por lo que aumenta la concentración de precursores de aromas.

La fertilización foliar afecta el perfil aromático de los vinos, especialmente de los vinos blancos. Se ha estudiado que el nitrógeno y azufre pueden aumentar la concentración de tioles en las bayas. También se ha observado que la aplicación foliar de prolina, fenilalanina o fertilizantes nitrogenados produce una disminución de terpenos en la baya y no presentan efecto sobre los norisoprenoides. La fenilalanina produce efectos en el aumento de 2-feniletanol y 2-feniletanal, y en la disminución de compuestos.

El cobre se suele utilizar en viñedos orgánicos por su efecto anticriptogámico. Se ha estudiado que produce disminución en la concentración de tioles, específicamente de 3-mercaptohexanol en cv Sauvignon, Cabernet Sauvignon y Merlot, y de 4MMP (4-mercapto-4-metilpentan-2-ona) en cv Sauvignon.

El riego influencia las concentraciones de los compuestos aromáticos en las plantas, ya que el agua afecta su metabolismo primario y secundario. Es importante considerar que en la producción vitivinícola es común la práctica de estrés hídrico controlado, ya que mejora la calidad de las uvas y permite ahorrar agua. Pero el estrés severo afecta negativamente el potencial de aroma. Se ha estudiado el aumento de la 3-hidroxi- $\beta$ -damascenona unida, que es precursor de la  $\beta$ -damascenona. También se ha observado disminución de linalool libre en plantas sin riego. Se ha observado también que el secado parcial de raíces produce un aumento de en  $C_{13}$ -norisoprenoides, pero debido a la disminución en el peso y volumen de las bayas, ya que no hay variación en los precursores en cv Cabernet Sauvignon.

El déficit de agua aumenta la cantidad de enzimas que producen precursores de aroma, por ejemplo, se mejora la abundancia de transcripción de terpenoide sintetasa durante la madurez en cv Chardonnay. Se ha observado que el riego deficitario ha provocado la disminución de compuestos  $C_6$ , que son indeseables en el vino, y aumento de la concentración de algunos terpenoles unidos como nerol y geraniol en cv Merlot. Se ha presentado aumento de metoxipirazinas debido a estrés hídrico en cv Carménère, lo que es indeseable porque otorga sabores herbáceos indeseables al vino. En vino se ha observado que el estrés hídrico produce aumento en la concentración de monoterpenos (hotrienol, linalool, nerol y  $\alpha$ -terpineol).

La aplicación de productos exógenos también afecta el perfil aromático de las bayas, ya que las hojas pueden absorben las moléculas volátiles de la atmósfera y trasladarlas a las bayas.

Se ha observado también que la aplicación de reguladores de crecimiento como ácido abscísico (ABA) y metil jasmonatos (MeJA) provocan un aumento en la concentración de compuestos  $C_6$  en cv Cabernet Sauvignon. También la aplicación

de ABA y ácido giberélico en cv Malbec ha aumentado los monoterpenos y sesquiterpenos en las bayas.

La corrección de la relación fuente/sumidero en las plantas permite regular la acumulación de metabolitos secundarios en los frutos. El adelgazamiento temprano de los racimos permite mejorar los aromas y sabores de cv Cabernet Sauvignon. También se ha observado aumento de los terpenos volátiles libres y glicocogugados en cv Sauvignon (Alem et al., 2019).

La gestión del suelo de los viñedos genera implicancias importantes en la producción de vides. Se ha estudiado que el uso de herbicidas, que presentan ingredientes activos: flazasulfuron, glufosinato o glifosato, disminuyen la micorrización de la raíz de la vid, en comparación con el desmalezado mecánico. Y los microorganismos del suelo se ven especialmente afectados bajo el uso de glifosato (Zaller et al., 2018).

La descomposición de ballica (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) entrega nutrientes a las vides, ya que presentan rápida descomposición de K, N, Ca, P, Mg y S. Aunque las vides absorbieron bajas cantidades de N, debido a la alta movilidad del nutriente en el suelo, ya que en ocho semanas se puede perder el 70% del N inicial (Brunetto et al., 2011).

Los cultivos de cobertura producen VOCs que se transmiten a las vides por el suelo o la atmósfera. La señal requiere de cuatro pasos: su liberación por la planta emisora, el transporte, y la absorción y percepción por la planta receptora. Hay propiedades fisicoquímicas que afectan el proceso, por ejemplo, la volatilidad, el tamaño de la molécula y la apertura de los estomas. El transporte depende de la temperatura y transporte convectivo, además del viento para el transporte aéreo, o del agua para el transporte subterráneo. Los compuestos más pesados, que presentan menos volatilidad, sirven para transporte de señales en distancias más largas, ya que son más lentos (Baldwin et al., 2006).

La *Salvia leucophylla* produce monoterpenoides volátiles como alcanfor, 1,8-cineol,  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -pineno y canfeno, que son aleloquímicos potenciales. Se ha observado que alcanfor, 1,8-cineol,  $\beta$ -pineno inhiben la germinación de las semillas de *Brassica campestris*. Además, los cinco monoterpenos inhiben el crecimiento de la raíz, pero no afectan el tamaño de las células de la raíz. Disminuyeron el índice mitótico del ápice de la raíz, pero no de los brotes. También inhiben la síntesis de ADN de las células del meristema apical de la raíz. Por lo que tiene el potencial de modificar la composición florística cercana (Nishida et al., 2005).

Los cultivos de cobertura pueden reducir la acidez titulable, aumentar los sólidos solubles, el pH, el extracto seco y los fenoles de la piel de las bayas, y mejorar las propiedades sensoriales (Xi et al., 2011).

Xi et al. (2011) analizó el uso de trébol blanco (*Trifolium repens* L.), alfalfa (*Medicago sativa*) y festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) como cultivos de cobertura. El análisis sensorial concluyó que los cultivos de cobertura mejoran las características visuales, aromáticas, de sabor y armonía del vino. La mayor cantidad de VOCs se encontraron en el vino producido en intercropping con alfalfa, pero varía según la especie. Específicamente los compuestos encontrados son:

- ésteres de acetato: la alfalfa aumenta el acetato de etilo (afrutado y dulce) y la festuca aumenta el acetato de isoamilo (fresco y plátano);
- ésteres etílicos: la festuca aumenta el octanoato de etilo (dulce, afrutado y anís), decanoato de etilo (afrutado, graso y vinagre agradable), hexanoato de etilo (manzana verde, frutilla y anís) y acetato de feniletilo (agradable y floral). La alfalfa también aumentó las concentraciones de decanoato de etilo y acetato de feniletilo;
- alcoholes superiores: la alfalfa y la festuca aumentan el alcohol isoamílico (fuerte y amargo), alcohol isobutílico (alcohol de fusel) y feniletanol (rosa, polen y florido). Además, la alfalfa aumenta el 1-hexanol (verde e hierba);
- terpenos y norisoprenoides: la alfalfa aumenta el citronelol (clavo y anís) y el *trans*-Nerolidol;
- ácidos grasos: la festuca disminuye el ácido decanoico y el ácido hexanoico. La alfalfa y el trébol blanco también disminuyen las concentraciones de ácido hexanoico en el vino. Es importante señalar que los ácidos grasos se presentaron en concentraciones menores al umbral de olor, pero son necesarios en la obtención de ésteres aromáticos con cultivos de cobertura.

#### **1.5.5. Principales hongos patógenos que afectan a la vid**

##### Pudrición gris o botritis

La pudrición gris es causada por el hongo *Botrytis cinerea*. Sus síntomas pueden aparecer durante la primavera en yemas y brotes, produciendo lesiones café-rojizas en los bordes de las hojas.

Los períodos críticos son la floración, y entre envero y cosecha, ya que daña las inflorescencias y racimos. La inoculación puede producirse por el viento o desde restos florales que quedan como tejidos saprofitos en medio del racimo. En primera instancia las bayas se vuelven oscuras, en segunda instancia, aparece una masa gris aterciopelada (Figura 8), que le da el nombre a la enfermedad, y en tercera instancia las bayas se secan y arrugan (Cruz, 2004).



Figura 8. Sintomatología de la pudrición gris (*Botrytis cinerea*) en un racimo de vid (Ellis, 2008).

La germinación de las conidias puede ocurrir entre 1 y 30 °C, pero su óptimo se encuentra a 18 °C. Requiere además una humedad relativa de 90%, y presencia de agua libre (Cruz, 2004).

La presencia de hongos y otros factores exógenos puede afectar fuertemente el aroma de las uvas y del mosto. La pudrición gris, causada por la *Botrytis cinerea*, produce 1-octen-3-ol, y aumenta la concentración de 3MH, furaneol, sotolon, metional y fenilacetaldehído. Además, produce cambios en algunas enzimas, como esterasa y  $\beta$ -glucosidasa, que afectan el aroma. Los malos olores producidos por la podredumbre son causados por 3-octanona, 1-octen-3-ona, (E) -2-octenol, 1-octen-3-ol, 2-metil isoborneol, TCA, geosmina, TBA y pentacloroanisol (Ferreira y Lopez, 2019).

Se ha estudiado la sensibilidad de la *Botrytis cinerea* a monoterpenos como limoneno. El problema en este caso es que el limoneno además estimula el crecimiento de *Penicillium digitatum*, pero este hongo es inhibido por el citral (Simas et al., 2017).

### Mildiú

El mildiú polvoriento de la vid, causado por el oomicete *Plasmopara viticola*, daña los tejidos verdes de las plantas (Figura 9). Además, puede afectar las inflorescencias y racimos, por lo que afecta los rendimientos, y produce una defoliación temprana de las vides, que daña la calidad del vino. El hongo produce cambios en la composición

química de las bayas; por ejemplo, se ha observado aumento en los niveles de IBMP (Pons et al., 2018).



Figura 9. Sintomatología foliar del mildiú polvoriento de la vid (*Plasmopara viticola*) (Ash, 2017).

Las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad son: en primer lugar, la alta humedad ambiental, y en segundo lugar la temperatura, que es óptima a 25 °C, pero su rango ocurre entre 10 y 30 °C. Es importante señalar que se requiere de agua libre para germinar (Cruz, 2004).

Se han encontrado VOCs que participan en los mecanismos de defensa de las plantas. Los principales VOCs que presentan actividad inhibitoria frente al mildiú son: 2-etilfurano, 2-feniletanol,  $\beta$ -ciclocitral y trans-2-pentenal. Son producidos por portainjertos resistentes como: BC4, Kober 5BB, SO4 y Solaris, no así en el cv Pinot noir que es susceptible (Lazazzara et al., 2018).

El azufre controla adecuadamente al mildiú, pero debe ser suficiente y oportuno (Altieri and Nicholls, 2002). Otra opción en la agricultura orgánica es la aplicación de cobre, que es una estrategia de protección contra el mildiú, pero hay que considerar que el cobre se acumula en el suelo (Döring et al., 2019). El extracto de salvia controla el mildiú de la vid de forma más eficaz que el cobre. Pero presenta menor resistencia al lavado por precipitaciones (Dagostin et al., s.f.).

### Oídio

El oídio de la vid, causado por el hongo *Erysiphe necator*, infecta los tejidos verdes, comúnmente las colonias se encuentran en la cara abaxial de las hojas más cercanas a la corteza.

La sintomatología consta de Se producen manchas cloróticas en las hojas. Las inflorescencias y bayas jóvenes son más sensibles, y se cubren de moho blanquecino (Figura 10) (Gadoury et al., 2012). Las bayas se pueden agrietar y secar, por lo que muchas caen, pero otras quedan en el racimo (Cruz, 2004).



Figura 10. Sintomatología del oídio de la vid (*Erysiphe necator*) en un racimo de vid (Garrison, 2020).

Las colonias crecen y esporulan óptimamente con temperaturas entre 23 y 30°C (Gadoury et al., 2012), y con humedad relativa mayor a 40%, aunque al ser un hongo xerofítico, puede germinar incluso con 20% de humedad relativa. Es importante señalar que no requiere de agua libre para germinar (Cruz, 2004).

Se disemina mediante el viento. Cuando el hongo se ubica sobre las flores, puede afectar el tamaño y contenido de azúcares de las bayas. Se deben eliminar los sarmientos infectados, y mantener las vides aireadas e iluminadas. El uso de azufre es preventivo, para controlar los micelios latentes. Se utiliza desde brotación, pero no durante la floración, porque afectaría la cuaja (INIA, 2016).

### 1.6. Hipótesis y objetivos

La salvia (*Salvia officinalis* L.), que es una planta oficial (MAPs), produce compuestos orgánicos volátiles (VOCs), que pueden mejorar la composición del fruto y la susceptibilidad a patógenos, en vides. Los objetivos de la investigación son: disminuir el uso de plaguicidas, y mejorar la composición del fruto.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Material vegetal y campo experimental

La prueba experimental se realizó en un viñedo que presenta una extensión de 1,2 ha, ubicado en la hacienda Agrícola Orgánica “Podere Casetta” (Sant’Agata sul Santerno, RA, Italia), que se encuentra en la llanura y a una distancia de 50 m del río Santerno (Figura 11).



Figura 11. Imagen satelital del área geográfica de Podere Casetta (Sant’Agata sul Santerno, RA, Italia), para el año 2020. Correspondiente a latitud 44°26’11”N y longitud 11°52’04”E. El rectángulo rojo indica la localización del viñedo experimental ([www.earth.google.it](http://www.earth.google.it)).

El viñedo presenta orientación suroeste/noreste, está constituido por plantas de la cv Trebbiano Romagnolo, sobre portainjerto Kober 5BB y conducida en sistema “Doppio Capovolto” (Figura 12). El viñedo fue plantado en el año 2005, con un marco de plantación de 3,5 x 1,5 m (1900 pl/ha). Presenta un suelo de textura franco limosa, con pH cercano a 8. Corresponde a agricultura de secano.



Figura 12. Sistema de conducción “Doppio Capovolto”.

Las vides presentan un tronco vertical de 1,2 m, con 4 sarmientos bilaterales, que se disponen curvamente, al amarrarse a los alambres de abajo. El sistema de

conducción “Doppio Capovolto” se caracteriza por presentar sarmientos largos; de 6 a 12 nudos. La densidad foliar es relativamente baja, por lo que es útil en viñedos con baja fertilidad de yemas basales y entrenudos largos. La brotación es desuniforme, ya que produce exceso de vigor en los extremos del sarmiento, y el peso del racimo en el centro es menor. Lo anterior se puede mejorar con sarmientos más cortos o menor curvatura. Es importante señalar que es mecanizable la vendimia, pero no la poda (Palliotti et al., 2018).

## 2.2. Condiciones meteorológicas

La información sobre las condiciones meteorológicas se ha obtenido mediante una estación meteorológica ubicada en Sant’Agata sul Santerno, correspondiente a latitud 44°26’54”N y longitud 11°52’00”E (Arpae-SIMC, Emilia-Romagna), ubicada a 11 msnm. La estación meteorológica se encuentra a una distancia de 1250 m del viñedo.

Se consideró los datos desde que se plantaron las salvias en julio de 2019, hasta que se terminó la investigación en agosto de 2020. Los datos recopilados corresponden a temperatura mínima, media y máxima, y humedad relativa media del aire (Figura 13), además de las precipitaciones diarias (Figura 14).

Temperaturas y Humedad relativa 2019-2020

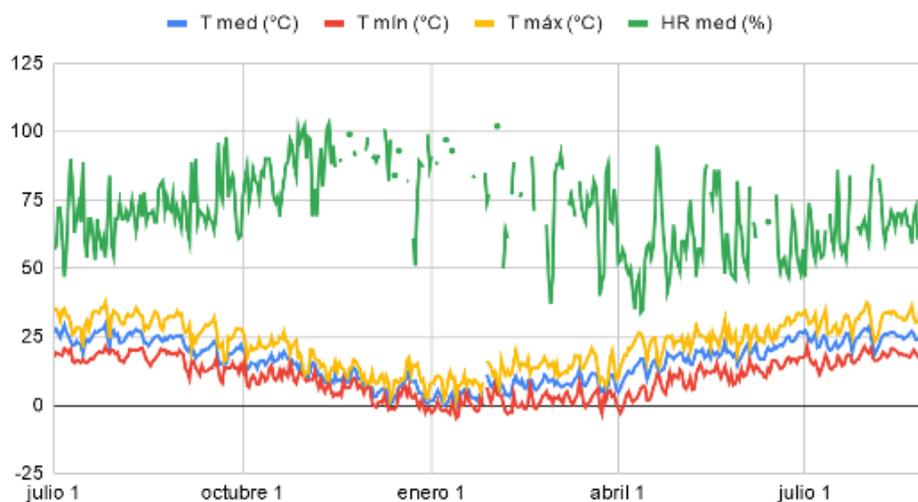


Figura 13. Datos meteorológicos, correspondientes a temperatura mínima, media y máxima, y humedad relativa, registrados en la estación meteorológica de Sant’Agata sul Santerno (Latitud 44°26’54”N; Longitud 11°52’00”E – Arpae-SIMC, Emilia-Romagna, 11 msnm).

Una semana luego de la brotación se presenciaron las primeras heladas de la temporada, las que alcanzaron  $-2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ocurrieron durante tres días consecutivos, por lo que produjeron la muerte de brotes. Es importante añadir que la temperatura señalada de la helada se registró en la estación meteorológica cercana, pero en el viñedo registraron  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  el día 2 de abril de 2020.

No hubo heladas posteriores, por lo que la época de floración no presentó heladas, pero sí precipitaciones. Las temperaturas durante los días de floración y cuaja variaron entre  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente. Durante el envero aumentaron a rangos entre  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La mayor temperatura se registró el día 31 de julio, correspondiente a  $37,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Durante los meses de verano, las temperaturas máximas suelen superar los  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a excepción de los días lluviosos, en que la temperatura máxima diaria rodea los  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La humedad relativa media diaria del aire durante la floración varió entre 48% y 86%, con valores sobre 70% durante los días lluviosos. Durante la época posterior al envero, cuando las bayas son más susceptibles al daño por hongos patógenos como botritis (*B. cinerea*), la humedad relativa media del aire varió entre 58% y 88%.

Precipitaciones 2019-2020

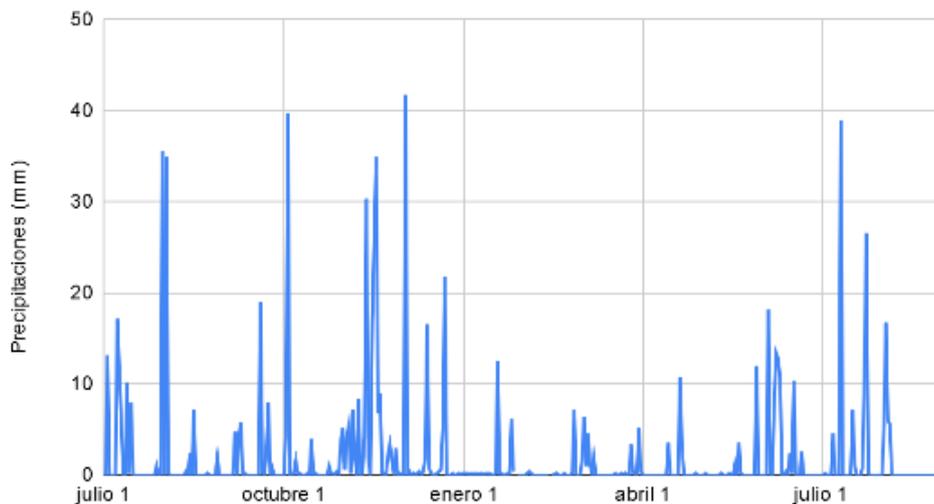


Figura 14. Datos meteorológicos, correspondientes a las precipitaciones diarias, registrados en la estación meteorológica de Sant'Agata sul Santerno (Latitud  $44^{\circ}26'54''\text{N}$ ; Longitud  $11^{\circ}52'00''\text{E}$  – Arpae-SIMC, Emilia-Romagna, 11 msnm).

Hubo lluvias débiles en las fechas de brotación y floración. Durante los 10 días posteriores a la cuaja, se registraron 60 mm de precipitaciones. La zona en que se

ubica el viñedo presenta lluvias estivas, por lo que hubo lluvias ocasionales luego del envero. La lluvia más fuerte ocurrida en post envero alcanzó 16 mm diario.

Las condiciones de temperatura y agua libre favorecen el desarrollo de hongos patógenos, por lo que se hicieron aplicaciones preventivas de cobre y azufre antes de las lluvias, en 10 ocasiones entre abril y julio de 2020.

### 2.3. Tratamientos experimentales

La disposición del diseño experimental en el viñedo (Figura 15) y su esquematización (Figura 16), presentan la disposición de las hileras en dirección suroeste/noreste, con tres bloques cruzados en dirección noroeste/sudeste. Los bloques presentan características fisicoquímicas de suelo similares y se distribuyeron aleatoriamente. En cada uno se presentan los dos tratamientos:

- Control, que corresponde a vegetación espontánea.
- Salvia, que corresponde a un intercropping con *S. officinalis*.



Figura 15. Disposición del diseño experimental en el viñedo. El cuadro rojo delimita el viñedo objeto de la prueba experimental. Los cuadros celestes señalan la ubicación de los tres bloques. Los cuadros verdes indican la posición de los tratamientos: Control (C) y Salvia (S).

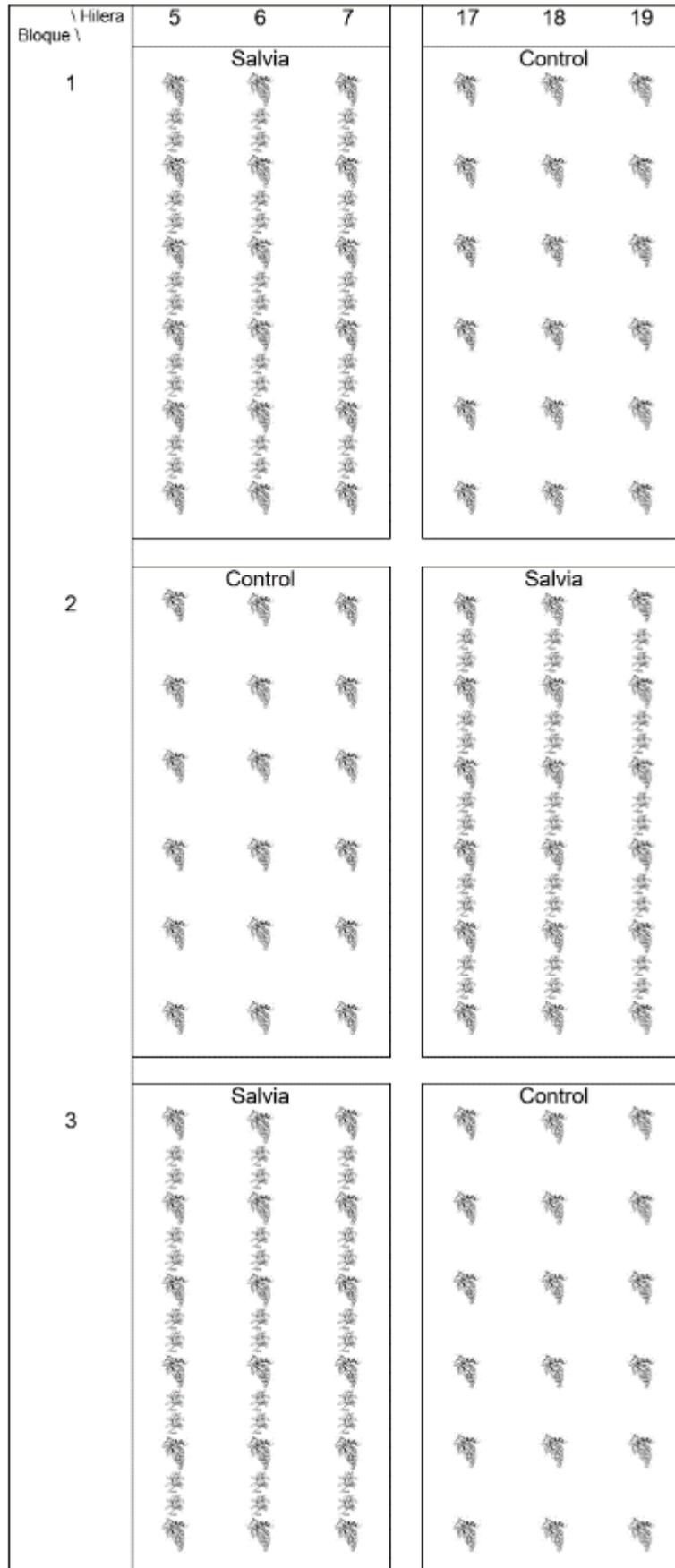


Figura 16. Diseño experimental esquematizado del viñedo.

Cada parcela de tratamiento consiste en un rectángulo de tres hileras, con seis plantas de vid por hilera, presentando así 18 vides por parcela y un total de 108 plantas de vid en el ensayo. Las muestras se toman en las cuatro plantas centrales de cada parcela, debido a su mayor exposición al tratamiento (Figura 17a). Para el caso de las parcelas con salvia, se plantaron 10 plantas de salvia en la sobre hilera, entre las seis vides, por lo que se presentan dos salvias entre dos vides, con una distancia de 0,5 m (Figura 17b). La plantación de salvias se realizó en julio de 2019, y se sustituyeron un total de 18 plantas muertas el día 2 de marzo de 2020 (Figura 17c). Cabe señalar que la floración de las salvias comenzó a finales de mayo de 2020, pero solo se presentó en las salvias que fueron plantadas en el año 2019, ya que las plantas sustituidas en el año 2020 permanecieron en estado vegetativo. Por lo tanto, las muestras del tratamiento con salvia se tomaron siempre en las vides cercanas a salvias floreadas (Figura 17d), para homogenizar los análisis.



Figura 17. Características de los tratamientos experimentales: distribución dentro de cada parcela (a), plantación de salvias en intercropping con las vides (b), sustitución de salvias muertas (c) y uso de salvias en floración para la homogenización de muestras (d).

La variedad de *S. officinalis* plantada es Salvia sel. “Giardino delle Erbe di Casola Valsenio”. Se caracteriza por ser un arbusto perenne, ramificada con hojas oblongas-ovaladas, de color verde grisáceo y recubiertas con una ligera vellosidad (Figura 18). Además, es alta en contenido de aceites esenciales, por lo que se utiliza en cocina, perfumería, licorería y herboristería (SAIS, 2020).



Figura 18. Variedad de Salvia sel. “Giardino delle Erbe di Casola Valsenio” (SAIS, 2020).

## 2.4. Intervenciones culturales

Las principales operaciones culturales realizadas en el viñedo (Tabla 3), respecto al manejo de la canopia, corresponden a: poda invernal, remoción manual de sierpes, deschuponado y siega. No se realizó posicionamiento de brotes, remoción de hojas y feminelas ni chapoda y despunte.

Tabla 3

*Esquema resumido de las principales intervenciones culturales realizadas en las vides cv Trebbiano Romagnolo, utilizadas en la prueba experimental.*

Intervenciones culturales	Período
Poda invernal	Enero
Remoción manual de sierpes	Mayo
Deschuponado	Mayo
Siega	Junio y agosto

Las intervenciones culturales respecto a la defensa de la planta corresponden al control de plagas con los tratamientos especificados en la Tabla 4. Las principales plagas que afectan al viñedo son: los hongos que producen botritis o pudrición gris, mildiú y oídio, algunos ácaros y polillas, y la flavescencia dorada.

Tabla 4

*Información de las aplicaciones para el control de plagas.*

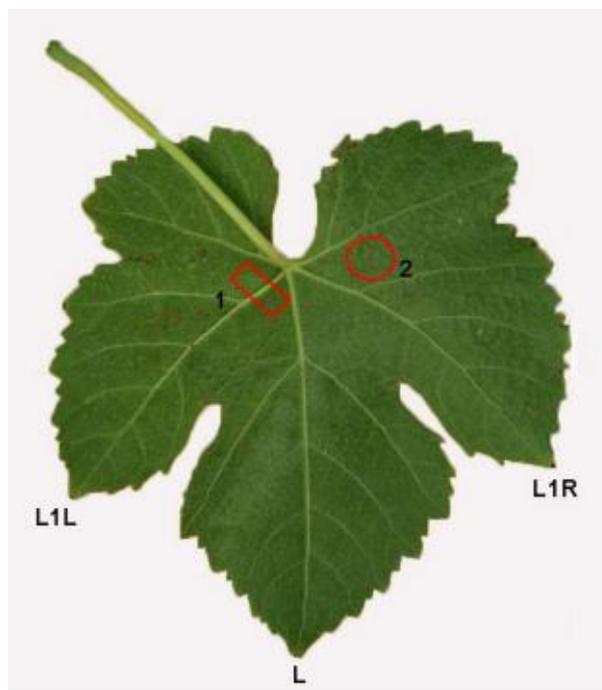
Producto	Plaga	Dosis	Aplicación	Fecha
Vernoil (aceite parafínico) + Microthiol (azufre)	Ácaros y oídio	3 lt/ha + 2 kg/ha	Foliar	09 de abril
Bordoflow (cobre) + Microthiol (azufre)	Mildiú y oídio	3 lt/ha + 2 kg/ha	Foliar	27 de abril
Zeolita Cubana (minerales) + Bordoflow (cobre) + Thiopron (azufre) + Algas (bioestimulante)	Botritis, mildiú y oídio	3,6 kg/ha + 3,5 lt/ha + 3,3 lt/ha + 0,25 kg/ha	Foliar	24 de mayo
Bordoflow (cobre) + Thiopron (azufre)	Mildiú y oídio	3,5 lt/ha + 3,3 lt/ha	Foliar	29 de mayo
Bordoflow (cobre) + Thiopron (azufre)	Mildiú y oídio	3,5 lt/ha + 3,3 lt/ha	Foliar	11 de junio
Zeolita Cubana (minerales) + Bordoflow (cobre) + Thiopron (azufre) + Romeo ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	Botritis, mildiú y oídio	3,6 kg/ha + 3,5 lt/ha + 3,3 lt/ha + 0,25 kg/ha	Foliar	19 de junio

Lasser (spinosad) + Asset (piretro)	Polillas y flaves- cencia dorada	0,12 kg/ha + 1 lt/ha	Foliar	22 de junio
Zeolita Cubana (minerales) + Bordoflow (cobre) + Thioproton (azufre)	Botritis, mildiú y oídio	4 kg/ha + 4 lt/ha + 2 lt/ha	Foliar	02 de julio
Zeolita Cubana (minerales) + Bordoflow (cobre) + Thioproton (azufre)	Botritis, mildiú y oídio	4 kg/ha + 4 lt/ha + 2 lt/ha	Foliar	10 de julio
Bordoflow (cobre) + Thioproton (azufre)	Mildiú y oídio	4 lt/ha + 2 lt/ha	Foliar	15 de julio
Poltiglia disperss (cobre) + Microthiol (azufre)	Mildiú y oídio	3 kg/ha + 1 kg/ha	Foliar	23 de julio

## 2.5. Análisis

### 2.5.1. Análisis visual con microscopio

El análisis visual se centra en la observación de los tricomas y distribución de la clorofila en la lámina foliar. Se muestrearon tres hojas por tratamiento, ubicadas opuestas al racimo del brote, con exposición este, de similar longitud y número de hojas. Las hojas no presentaron síntomas de enfermedades ni daño físico. Es importante especificar que se analizaron dos puntos de cara abaxial y dos puntos de la cara adaxial de cada hoja (Figura 19).



Las hojas se recopilaron y analizaron en dos momentos: 30 ddpf y 60 ddpf.

Figura 19. Se señalan las dos zonas foliares analizadas con microscopio óptico (Gago et al., 2019).

Se utilizó un microscopio óptico Nikon eclipse 50i (Figura 20a), para realizar el análisis visual con una expansión de 4X para la distribución de la clorofila (Figura 20b) y de 10X para observar los tricomas (Figura 20c). Los tricomas se analizaron

frontal y transversalmente. Es importante señalar que los tricomas se observaron directamente, es decir, sin el vidrio.



Figura 20. Análisis visual con microscopio: microscopio óptico Nikon eclipse 50i (a), distribución de la clorofila en la lámina foliar (b) y tricomas de la cara abaxial en corte transversal (c).

### 2.5.2. Espectroscopía

La elaboración de la espectroscopía de la película de las bayas y de hojas se realizó tomando muestras de 20 bayas y una hoja por parcela experimental, obteniendo 120 bayas y 6 hojas en total. Es importante especificar que se analizaron dos puntos de cara abaxial y dos puntos de la cara adaxial de cada hoja, que corresponden a los puntos observados con el microscopio. Los datos se recopilaron y analizaron en tres momentos: 15 ddpf, 30 ddpf y 60 ddpf. Se muestrearon bayas sin síntomas de enfermedades, sin heridas visibles y de tamaño similar. La toma de muestras se realizó siempre en la cara este de la pared productiva.

Los espectros ATR se registraron con un espectrofotómetro Bruker ALPHA serie FT-IR (Baker, Ettlinger, Alemania), equipada con un cristal diamante para la reflectancia total atenuada (Figura 21). Se midieron los espectros entre 4000 a 400  $cm^{-1}$  y se midieron dos espectros para cada muestra.



Figura 21. Espectrofotómetro Bruker ALPHA serie FT-IR, para la espectroscopía de la película de las bayas y las láminas foliares.

Los compuestos analizados en las bayas y hojas de vid cv Trebbiano Romagnolo se detallan en la Tabla 5, donde se especifican las bandas IR ( $cm^{-1}$ ) observadas.

Los cálculos se realizaron relacionando la absorbancia de cada compuesto con la absorbancia de la cera de la banda 1460, porque se mantiene estable entre los tratamientos.

Tabla 5

*Compuestos analizados en las bayas y hojas de vid cv Trebbiano Romagnolo.*

Banda IR ( $cm^{-1}$ )	Atribución	Órgano	Cita
3400	Agua	Baya y hoja	Dubis et al., 1999.
2917	Cera (vibraciones de estiramiento asimétricas de metileno)	Baya y hoja	Dubis et al., 1999.
2849	Cera (vibraciones de estiramiento simétricas de metileno)	Baya y hoja	Dubis et al., 1999.
1733	Ésteres de cera	Baya y hoja	Dubis et al., 1999.
1680	Ácidos	Baya	Ribeiro da Luz, 2006.
1630	Compuestos aromáticos (anillos fenólicos)	Hoja	Largo-Gosens et al., 2014.
1460	Cera (vibraciones de plegamiento de metileno)	Baya y hoja	Dubis et al., 1999.
1165	Cera (vibraciones de estiramiento asimétricas de carboxilo)	Baya y hoja	Ribeiro da Luz, 2006.
1032	Celulosa	Baya y hoja	Ribeiro da Luz, 2006.
990	Almidón	Baya y hoja	Fasoli et al., 2016.
719	Cera (vibraciones de plegamiento simétricas de metileno)	Baya y hoja	Dubis et al., 2001.
650	Compuestos aromáticos	Baya y hoja	Dubis et al., 2001.

*Nota.* Elaboración propia basada en la bibliografía citada en la tabla.

### 2.5.3. Parámetros vegetativos

#### 2.5.3.1. Estados fenológicos

Se determinaron los estados fenológicos de las plantas en prueba (Tabla 6), durante el año 2020. Específicamente se observó la época de:

- la brotación, que se basa en la apertura del 50% de las yemas;
- el inicio de la floración y la plena floración, la segunda corresponde a la apertura del 50% de los botones florales;
- la cuaja, que se refiere a la fecundación del 50% de las flores;
- el inicio y fin del envero que se basa en el cambio de color de las bayas.

Tabla 6

*Época de los estados fenológicos de las vides cv Trebbiano Romagnolo, utilizadas en la prueba experimental.*

Estado fenológico	Fecha
Brotación	25 de marzo
Inicio de la floración	18 de mayo
Plena floración	25 de mayo
Cuaja	01 de junio
Inicio del envero	25 de julio
Fin del envero	02 de agosto

### 2.5.3.2. Contenido de clorofila

El contenido relativo de clorofila se midió en laboratorio en treinta hojas por tratamiento. Se seleccionaron hojas totalmente expandidas, ubicadas en brotes con exposición este, de similar longitud y número de hojas. Las hojas no presentaron síntomas de enfermedades ni daño físico. Las hojas se recopilaron y analizaron 60 ddpf.

El instrumento utilizado es un SPAD Minolta 502 (Minolta, Osaka, Japón) (Figura 22). El SPAD usa la diferencia en la densidad óptica medida y promediada sobre los 5 lóbulos de la hoja en dos longitudes de onda características: 650 nm (corresponde al máximo absorbimiento de la clorofila a+b) y 950 nm. El parámetro medido es la transmitancia espectral de la hoja, que es directamente proporcional al contenido foliar de clorofila.



Figura 22. Instrumento portátil SPAD Minolta 502.

### 2.5.4. Parámetros productivos

#### 2.5.4.1. Parámetros generales

La determinación de los principales parámetros productivos del viñedo consiste en la cuantificación de:

- los nudos, brotes e inflorescencias por planta, llevado a cabo en el mes de mayo, al día siguiente de la plena floración;
- la fertilidad de los brotes que corresponde al número de inflorescencias por brote.

#### **2.5.4.2. Crecimiento de la baya y el racimo**

La elaboración de la curva de crecimiento maduración se realizó tomando muestras de tres racimos por tratamiento, ubicados en brotes de similar longitud y número de hojas. Los datos se recopilaban 15 ddpf, 30 ddpf y 60 ddpf. La toma de muestras se realizó en la cara este de la pared productiva. Las mediciones efectuadas a las bayas corresponden a:

- peso fresco de los racimos y bayas totales por racimo, mediante una balanza analítica (Kern KB, Figura 23);
- el conteo del número de bayas por racimo;
- cálculo del peso promedio individual de las bayas.



Figura 23. Determinación del peso fresco de las bayas de un racimo con una pesa analítica Kern KB.

#### **2.5.5. Incidencia y severidad de hongos patógenos**

Las observaciones de la incidencia y severidad de hongos patógenos que afectan el viñedo se realizaron 30 días después del envero. Se seleccionaron tres racimos por planta, en las cuatro vides centrales de cada parcela. En cada uno se contó la cantidad de racimos y hojas enfermas y el total, para calcular la incidencia de sintomatología, y se utilizaron escalas de severidad. Se utilizaron dos métodos de análisis visual:

- los racimos se observaron según el método de Hill et al. (2010), que se centra en la sintomatología producida por la botritis (Figura 24a);
- las hojas se analizaron según el método de Buffara et al. (2014), que se basa en la sintomatología producida por el mildiú (Figura 24b).

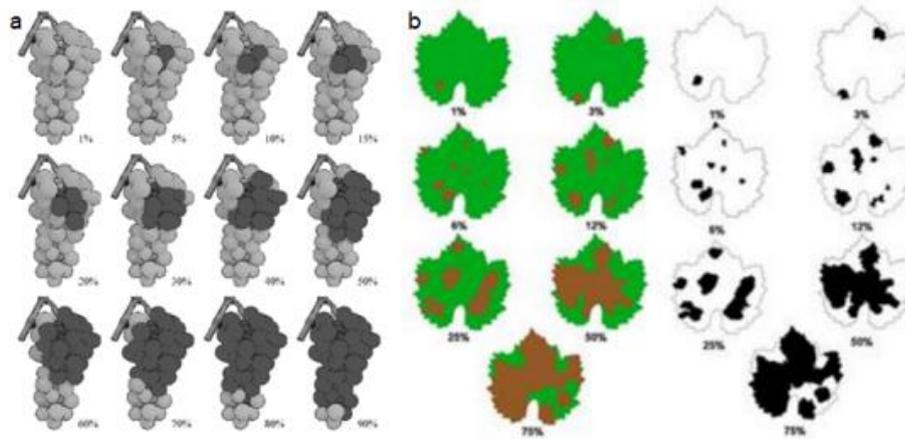


Figura 24. Presencia de sintomatología producida por hongos patógenos: en los racimos mediante el método de Hill et al., 2010 (a) y las hojas mediante el método de Buffara et al., 2014 (b).

### 2.5.6. Composición florística

Se analizó la composición de malezas presentes en el suelo de la sobre hilera y entre hilera de las parcelas experimentales. La delimitación de la zona muestreada se efectuó respectivamente con un marco de 0,4 x 0,4 m y 1 x 1 m (Figura 25). Se utilizó el método fitosociológico (Braun-Blanquet, 1964), para determinar: porcentaje de cobertura total y clasificación de hierbas. El procedimiento se desempeñó en una repetición por parcela, para cada zona, y se realizó el día 15 de julio de 2020.

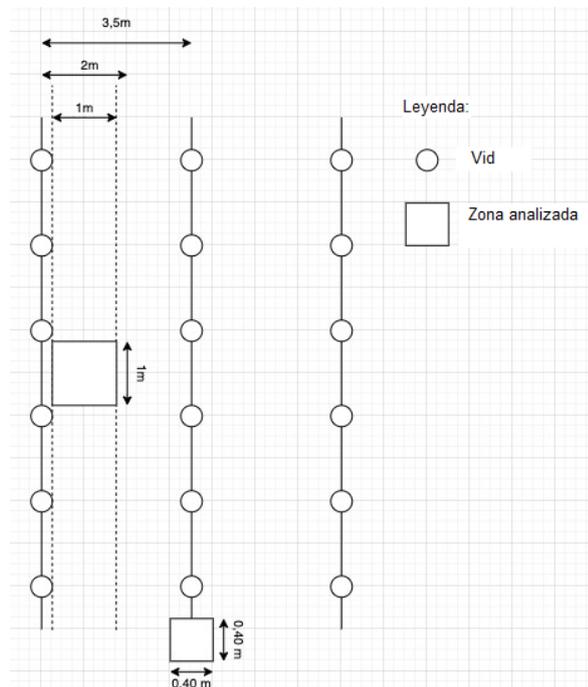


Figura 25. Esquema sobre el análisis de la composición florística de la cobertura vegetal.

### 2.6. Elaboración estadística

El análisis estadístico de los datos recopilados en la prueba experimental consistió en calcular el análisis de varianza (ANOVA), en el software Microsoft Excel 365 ProPlus.

### 3. Resultados

#### Análisis visual con microscopio

El análisis realizado 30 ddpf y 60 ddpf no presentó diferencias visuales en los tricomas de las caras adaxial ni abaxial de las hojas. Se observan imágenes seleccionadas de los tricomas de caras abaxiales y cortes transversales en la Figura 26.

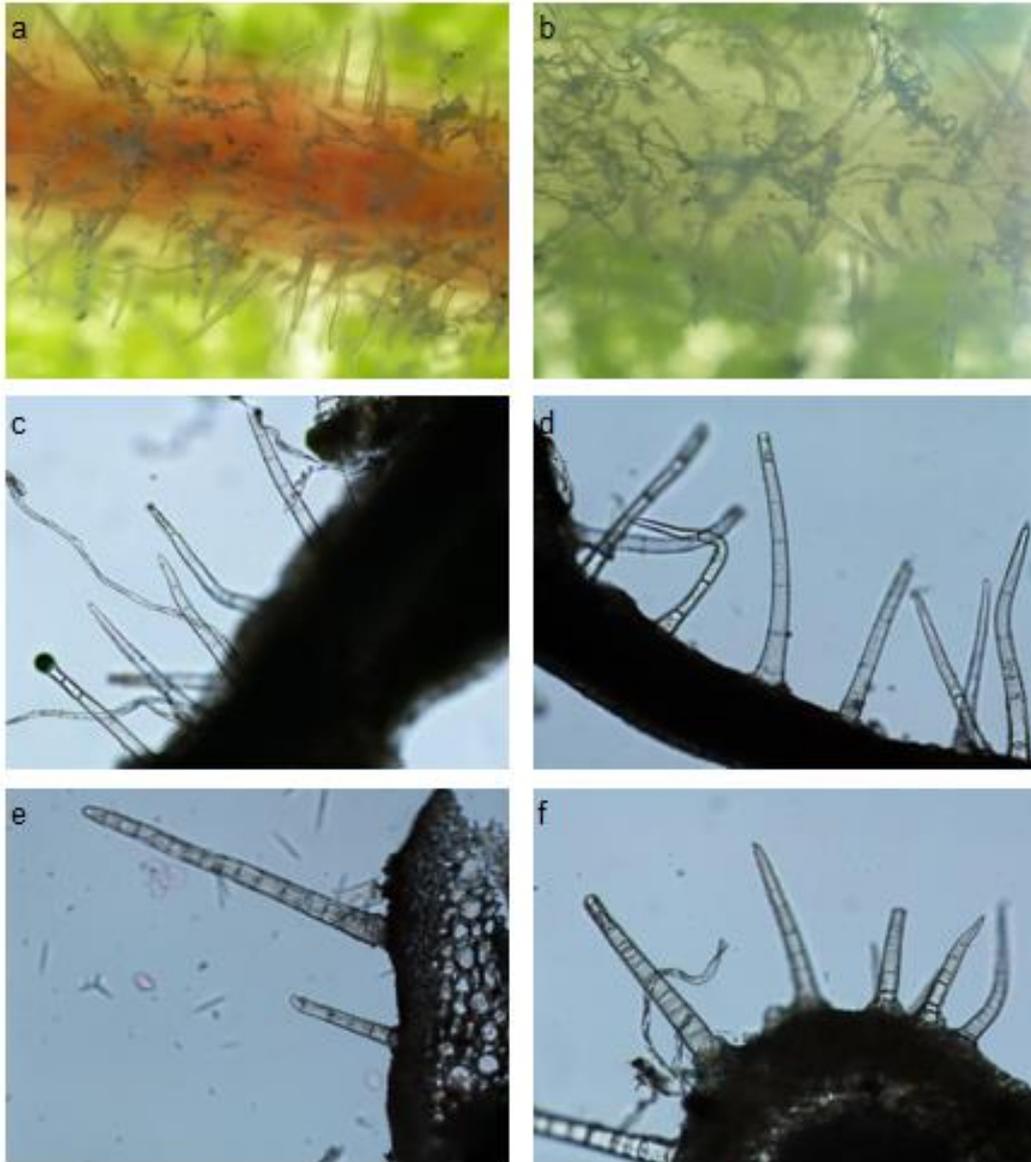


Figura 26. Las imágenes de la izquierda corresponden al control y las de la derecha al tratamiento con salvia. (a) y (b) corresponden al plano frontal de la nervatura abaxial, (c) y (d) al plano transversal de la lámina, y (e) y (f) al plano transversal de la nervatura abaxial.

El análisis visual de la distribución de la clorofila en la lámina foliar de la vid tampoco presentó diferencias. La Figura 27 presenta imágenes ejemplificadoras, observadas con microscopio óptico en la cara abaxial de las hojas.

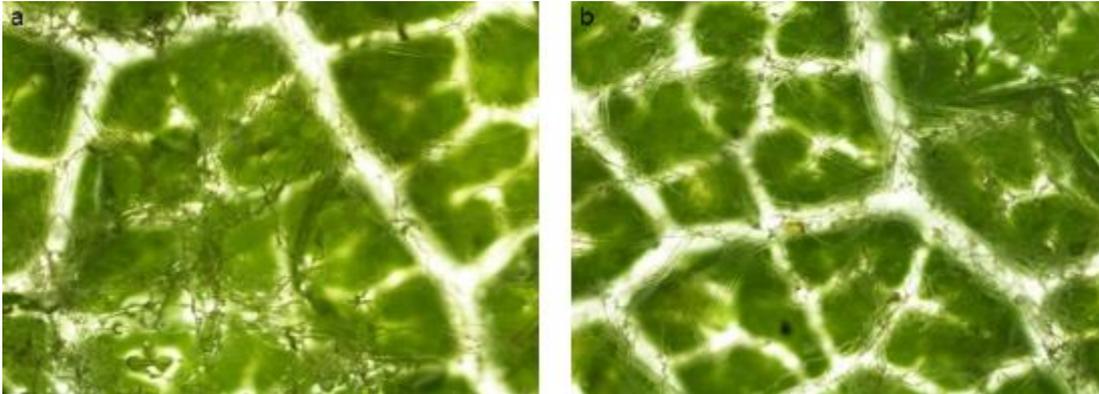


Figura 27. Imágenes de la distribución de la clorofila en la lámina foliar de un control (a) y de un tratamiento con salvia (b).

### **Espectroscopía**

El análisis de espectroscopía IR realizado 15 ddpf, no presentó diferencia en las bayas (Tabla 7a) ni en la cara adaxial (Tabla 7b). Solamente se observa que la salvia produce menor cantidad de ésteres de cera en la cara abaxial (Tabla 7c).

El análisis realizado 30 ddpf mostró diferencias significativas en la baya, cara adaxial y cara abaxial, no así en la nervadura de la hoja (Tabla 7d). Específicamente, en la baya se encontró una menor cantidad de ésteres de cera y acidez en el tratamiento con la salvia (Tabla 7a). En la hoja se observó que, tanto la cara adaxial como abaxial presentan menor cantidad de ceras de estiramiento de metileno y mayor cantidad de ceras de estiramiento de carboxilo en la salvia (Tablas 7b y 7c). En la cara abaxial, además, se observó mayor cantidad de agua, compuestos aromáticos, celulosa, almidón y ceras de plegamiento de metileno, y menor cantidad de ceras de estiramiento de metileno en el tratamiento con la salvia (Tabla 7c).

El análisis realizado 60 ddpf no mostró diferencia entre los tratamientos (Tablas 7), en ningún grupo de intensidad IR. Solamente se observó diferencia entre las caras adaxial y abaxial (Figura 28).

Tabla 7a

*Diagnóstico de las relaciones de intensidad IR en las bayas.*

Fecha	Tratamiento	$I_{3400}/I_{1460}$	$I_{2917}/I_{1460}$	$I_{2849}/I_{1460}$	$I_{1733}/I_{1460}$	$I_{1680}/I_{1460}$	$I_{1165}/I_{1460}$	$I_{1032}/I_{1460}$	$I_{990}/I_{1460}$	$I_{719}/I_{1460}$	$I_{650}/I_{1460}$
15 ddpf	Control	4,06 ± 1,87 ns	0,77 ± 0,22 ns	0,49 ± 0,21 ns	0,67 ± 0,07 ns	2,30 ± 0,81 ns	1,10 ± 0,16 ns	1,37 ± 0,28 ns	1,23 ± 0,16 ns	4,37 ± 0,84 ns	5,36 ± 1,12 ns
	Salvia	1,70 ± 1,84 ns	0,67 ± 0,04 ns	0,41 ± 0,04 ns	0,68 ± 0,09 ns	1,44 ± 0,68 ns	1,29 ± 0,14 ns	1,68 ± 0,25 ns	1,41 ± 0,14 ns	3,72 ± 0,54 ns	4,54 ± 0,59 ns
30 ddpf	Control	1,06 ± 0,42 ns	2,10 ± 0,16 ns	1,62 ± 0,12 ns	0,95 ± 0,06 a	1,16 ± 0,08 a	1,23 ± 0,05 ns	1,10 ± 0,06 ns	0,99 ± 0,01 ns	1,60 ± 0,20 ns	1,73 ± 0,24 ns
	Salvia	1,14 ± 0,35 ns	1,96 ± 0,15 ns	1,53 ± 0,11 ns	0,85 ± 0,08 b	1,09 ± 0,05 b	1,20 ± 0,10 ns	1,16 ± 0,13 ns	1,01 ± 0,09 ns	1,60 ± 0,14 ns	1,73 ± 0,21 ns
60 ddpf	Control	0,41 ± 0,11 ns	2,33 ± 0,20 ns	1,84 ± 0,16 ns	0,68 ± 0,08 ns	0,86 ± 0,11 ns	1,08 ± 0,11 ns	1,03 ± 0,06 ns	0,89 ± 0,10 ns	1,46 ± 0,15 ns	1,43 ± 0,13 ns
	Salvia	0,51 ± 0,14 ns	2,22 ± 0,24 ns	1,78 ± 0,17 ns	0,62 ± 0,10 ns	0,83 ± 0,12 ns	1,08 ± 0,10 ns	1,10 ± 0,19 ns	0,91 ± 0,10 ns	1,54 ± 0,12 ns	1,49 ± 0,13 ns

*Nota.* ns = no hay diferencia significativa (p<0,05).

Tabla 7b

*Diagnóstico de las relaciones de intensidad IR en la cara adaxial.*

Fecha	Tratamiento	$I_{3400}/I_{1460}$	$I_{2917}/I_{1460}$	$I_{2849}/I_{1460}$	$I_{1733}/I_{1460}$	$I_{1630}/I_{1460}$	$I_{1165}/I_{1460}$	$I_{1032}/I_{1460}$	$I_{990}/I_{1460}$	$I_{719}/I_{1460}$	$I_{650}/I_{1460}$
15 ddpf	Control	1,82 ± 1,16 ns	2,42 ± 0,57 ns	1,90 ± 0,39 ns	0,88 ± 0,03 ns	1,18 ± 0,43 ns	1,10 ± 0,08 ns	1,80 ± 0,33 ns	1,33 ± 0,15 ns	2,99 ± 0,40 ns	3,44 ± 0,52 ns
	Salvia	0,92 ± 0,97 ns	2,22 ± 0,30 ns	1,81 ± 0,23 ns	0,97 ± 0,01 ns	0,91 ± 0,33 ns	1,28 ± 0,21 ns	2,25 ± 0,60 ns	1,58 ± 0,33 ns	3,13 ± 0,33 ns	3,70 ± 0,51 ns
30 ddpf	Control	0,94 ± 0,29 ns	2,56 ± 0,15 ns	2,10 ± 0,09 a	0,92 ± 0,06 ns	0,89 ± 0,06 ns	1,10 ± 0,04 b	1,79 ± 0,20 ns	0,08 ± 0,01 ns	2,08 ± 0,15 ns	2,34 ± 0,16 ns
	Salvia	1,43 ± 0,44 ns	2,07 ± 0,16 ns	1,69 ± 0,08 b	0,94 ± 0,10 ns	1,13 ± 0,14 ns	1,22 ± 0,06 a	1,98 ± 0,17 ns	1,49 ± 0,08 ns	2,49 ± 0,15 ns	2,84 ± 0,19 ns
60 ddpf	Control	0,94 ± 0,23 ns	2,75 ± 0,54 ns	2,18 ± 0,31 ns	0,89 ± 0,08 ns	0,95 ± 0,08 ns	1,20 ± 0,12 ns	2,07 ± 0,37 ns	1,42 ± 0,19 ns	2,51 ± 0,23 ns	2,89 ± 0,30 ns
	Salvia	0,77 ± 0,08 ns	2,42 ± 0,34 ns	2,02 ± 0,26 ns	0,82 ± 0,04 ns	0,88 ± 0,08 ns	1,27 ± 0,18 ns	2,36 ± 0,49 ns	1,62 ± 0,23 ns	2,35 ± 0,06 ns	2,65 ± 0,18 ns

*Nota.* ns = no hay diferencia significativa (p<0,05).

Tabla 7c

*Diagnóstico de las relaciones de intensidad IR en la cara abaxial.*

Fecha	Tratamiento	$I_{3400}/I_{1460}$	$I_{2917}/I_{1460}$	$I_{2849}/I_{1460}$	$I_{1733}/I_{1460}$	$I_{1630}/I_{1460}$	$I_{1165}/I_{1460}$	$I_{1032}/I_{1460}$	$I_{990}/I_{1460}$	$I_{719}/I_{1460}$	$I_{650}/I_{1460}$
15 ddpf	Control	3,79 ± 0,44 ns	1,60 ± 0,53 ns	1,13 ± 0,39 ns	0,86 ± 0,00 a	2,13 ± 0,24 ns	1,43 ± 0,01 ns	2,48 ± 0,16 ns	1,84 ± 0,07 ns	4,11 ± 0,24 ns	5,13 ± 0,32 ns
	Salvia	4,86 ± 0,39 ns	1,05 ± 0,14 ns	0,70 ± 0,12 ns	0,76 ± 0,03 b	2,56 ± 0,15 ns	1,32 ± 0,06 ns	2,19 ± 0,26 ns	1,71 ± 0,18 ns	4,70 ± 0,32 ns	5,89 ± 0,46 ns
30 ddpf	Control	1,79 ± 0,33 b	2,15 ± 0,10 a	1,78 ± 0,12 a	0,77 ± 0,04 ns	1,26 ± 0,14 b	1,05 ± 0,05 b	1,63 ± 0,08 b	0,08 ± 0,01 a	2,48 ± 0,13 b	2,90 ± 0,16 b
	Salvia	3,17 ± 0,31 a	1,36 ± 0,13 b	1,02 ± 0,09 b	0,85 ± 0,02 ns	1,93 ± 0,10 a	1,39 ± 0,04 a	2,34 ± 0,15 a	0,07 ± 0,01 b	3,40 ± 0,24 a	4,22 ± 0,37 a
60 ddpf	Control	3,25 ± 0,22 ns	1,62 ± 0,14 ns	1,18 ± 0,12 ns	0,85 ± 0,08 ns	1,98 ± 0,11 ns	1,43 ± 0,09 ns	2,47 ± 0,16 ns	1,91 ± 0,15 ns	3,60 ± 0,20 ns	4,45 ± 0,24 ns
	Salvia	3,60 ± 0,73 ns	1,48 ± 0,46 ns	1,07 ± 0,35 ns	0,89 ± 0,18 ns	2,12 ± 0,30 ns	1,48 ± 0,06 ns	2,48 ± 0,19 ns	1,96 ± 0,10 ns	3,91 ± 0,46 ns	4,85 ± 0,62 ns

*Nota.* ns = no hay diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Tabla 7d

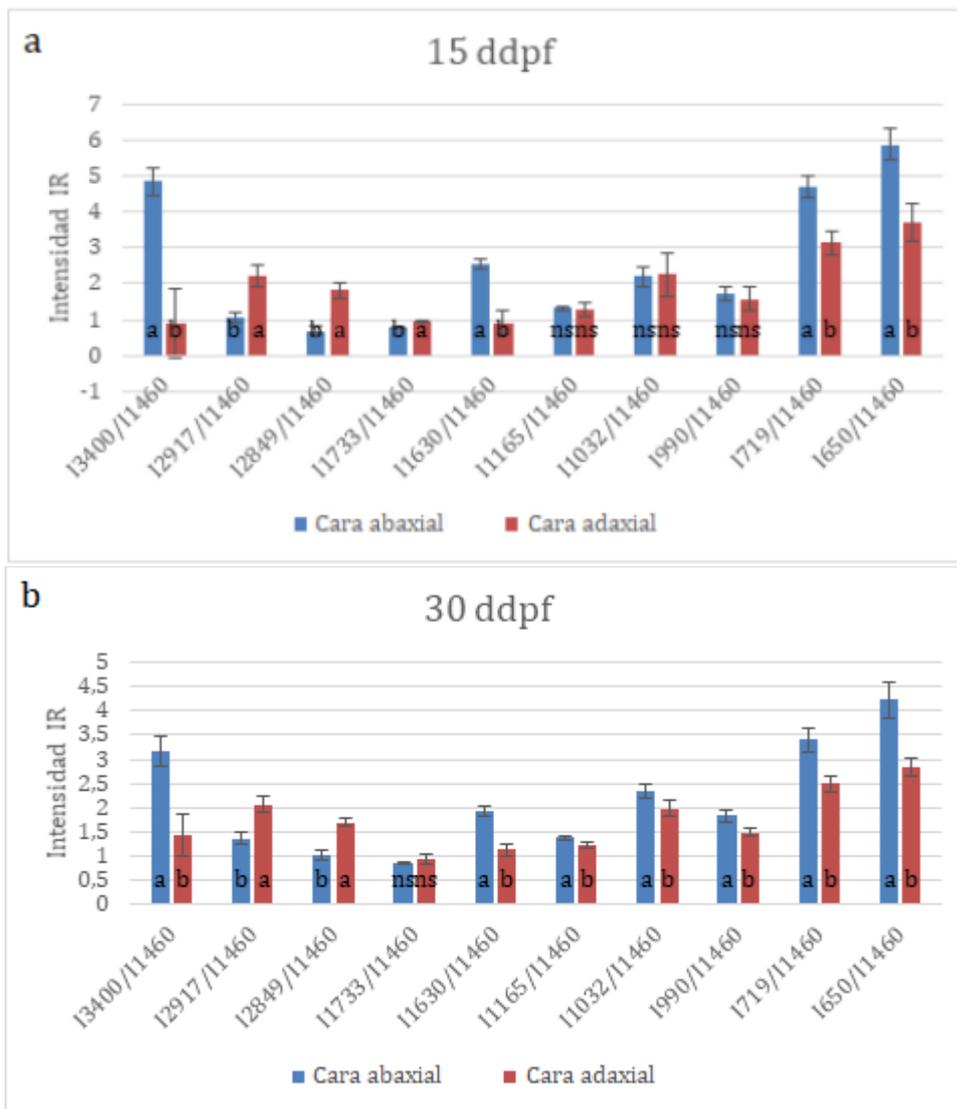
*Diagnóstico de las relaciones de intensidad IR en la nervatura abaxial.*

Fecha	Tratamiento	$I_{3400}/I_{1460}$	$I_{2917}/I_{1460}$	$I_{2849}/I_{1460}$	$I_{1733}/I_{1460}$	$I_{1630}/I_{1460}$	$I_{1165}/I_{1460}$	$I_{1032}/I_{1460}$	$I_{990}/I_{1460}$	$I_{719}/I_{1460}$	$I_{650}/I_{1460}$
30 ddpf	Control	2,33 ± 0,35 ns	1,37 ± 0,30 ns	1,07 ± 0,17 ns	0,90 ± 0,16 ns	1,61 ± 0,19 ns	1,33 ± 0,04 ns	2,12 ± 0,13 ns	2,67 ± 0,45 ns	3,15 ± 0,57 ns	3,77 ± 1,11 ns
	Salvia	2,25 ± 0,53 ns	1,53 ± 0,21 ns	1,20 ± 0,12 ns	0,92 ± 0,11 ns	1,56 ± 0,21 ns	1,35 ± 0,07 ns	2,11 ± 0,26 ns	2,61 ± 0,49 ns	3,08 ± 0,60 ns	4,33 ± 0,19 ns
60 ddpf	Control	2,62 ± 1,14 ns	1,67 ± 0,28 ns	1,28 ± 0,30 ns	0,86 ± 0,05 ns	1,74 ± 0,48 ns	1,30 ± 0,08 ns	1,96 ± 0,32 ns	1,58 ± 0,19 ns	3,15 ± 0,84 ns	3,77 ± 1,11 ns
	Salvia	3,48 ± 0,20 ns	1,34 ± 0,15 ns	1,01 ± 0,11 ns	0,79 ± 0,13 ns	2,10 ± 0,08 ns	1,42 ± 0,13 ns	2,37 ± 0,34 ns	1,91 ± 0,19 ns	3,61 ± 0,12 ns	4,33 ± 0,19 ns

*Nota.* ns = no hay diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Se comparó la cara abaxial y adaxial de las hojas de vides tratadas con salvia (Figura 28). Durante las tres mediciones se mantuvo que la cara abaxial contiene mayor cantidad de agua, compuestos aromáticos y ceras de plegamiento de metileno. En cambio, la cara adaxial presentó mayor cantidad de ceras de estiramiento de metileno.

La medición realizada 15 ddpf presenta mayor contenido de ésteres de cera en la cara adaxial (Figura 28a). Se observa que 30 ddpf hay más ceras de estiramiento de carboxilo, celulosa y almidón en la cara abaxial (Figura 28b). Las diferencias recién mencionadas no se observan para 60 ddpf (Figura 28c).



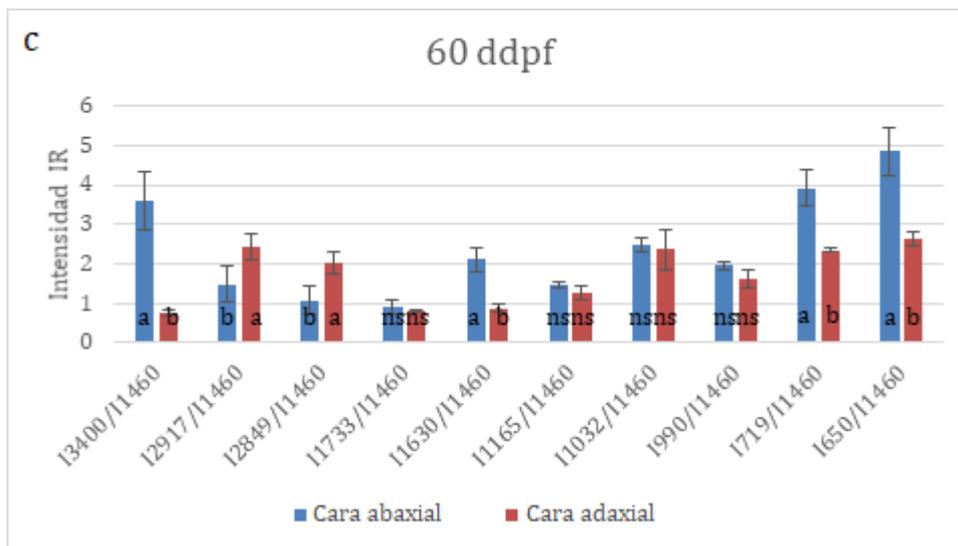


Figura 28. Comparación de las relaciones de intensidad IR entre la cara adaxial y abaxial de las hojas de vides tratadas con salvia. Medidas 15 ddpf (a), 30 ddpf (b) y 60 ddpf (c). ns = no hay diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

### Parámetros vegetativos

#### Contenido de clorofila

El análisis realizado presentó mayor contenido de clorofila en las hojas tratadas con salvia. La diferencia fue de aproximadamente 2 puntos en el índice SPAD (Figura 29).

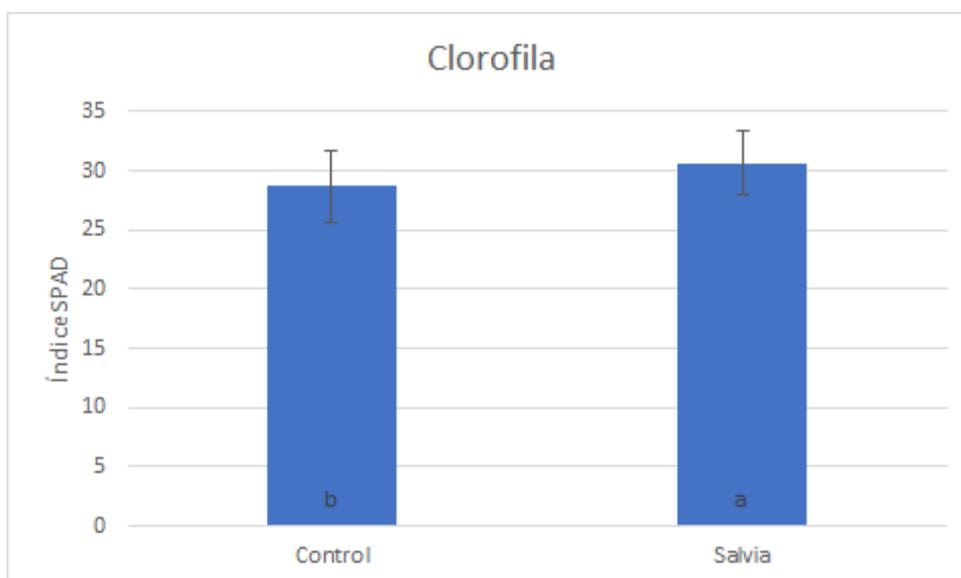


Figura 29. Contenido de clorofila en las hojas. Diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

## Parámetros productivos

### Parámetros generales

El análisis realizado luego de la plena floración, respecto al número de nudos, brotes, inflorescencias y el índice de fertilidad promedio por planta, no mostró diferencia entre los tratamientos (Figura 30).

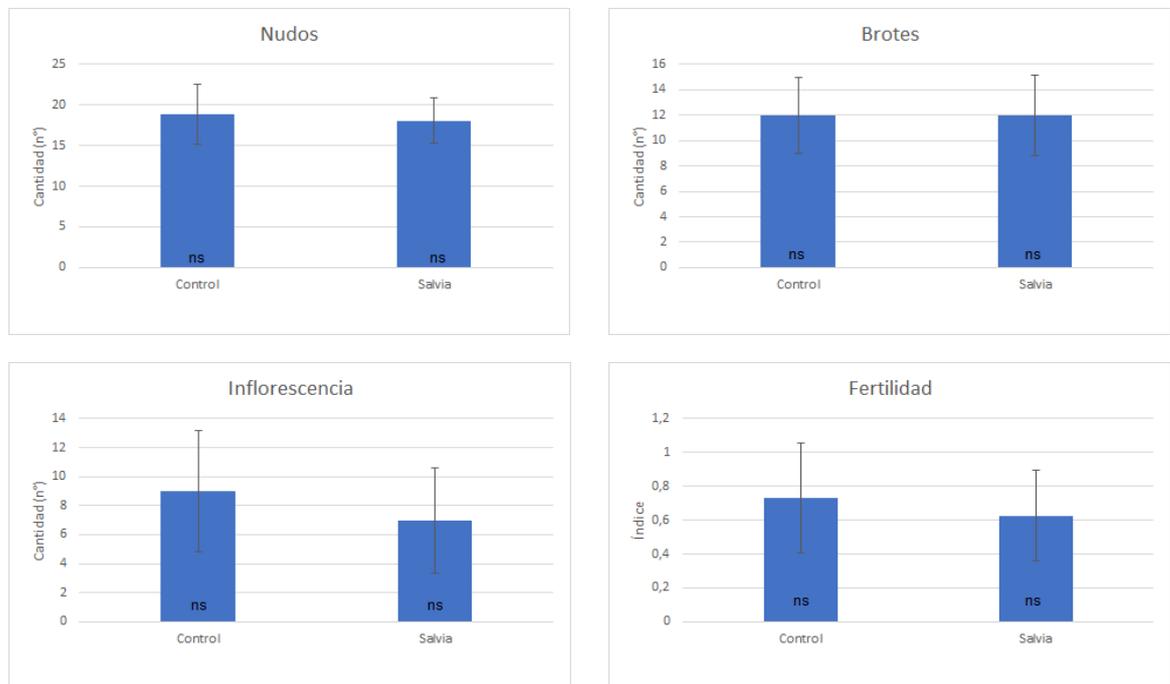


Figura 30. Parámetros productivos generales de la vid. ns = no hay diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

### Crecimiento de la baya y el racimo

Los análisis realizados 15 ddpf, 30 ddpf y 60 ddpf no presentaron diferencia significativa entre los tratamientos. Específicamente, en el peso de racimo, peso total de bayas por racimo, peso promedio individual de baya, ni en la cantidad de bayas por racimo (Figura 31).

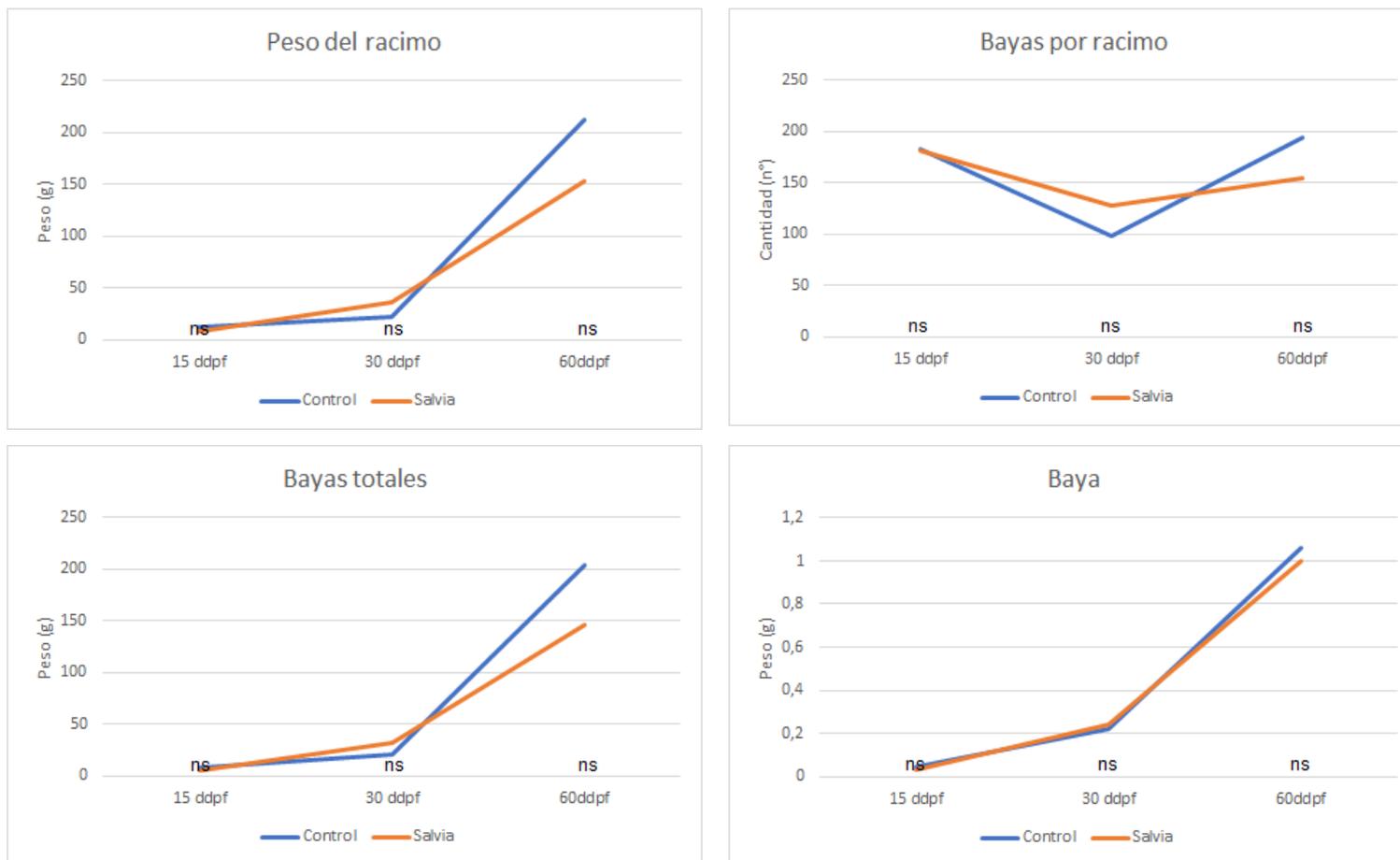


Figura 31. Curva de crecimiento productiva. ns = no hay diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

### Incidencia y severidad de hongos patógenos

El análisis sobre hongos patógenos que dañan las vides no observó incidencia de la sintomatología de mildiú ni oídio, pero sí de pudrición gris. No hubo diferencia significativa en la incidencia de pudrición gris en las bayas, ya que el control y la salvia presentan 60% y 56% de incidencia respectivamente. Sí hubo diferencia significativa en la severidad de pudrición gris, donde la salvia es menor con 4%, en cambio el control presentó 11% de severidad en las bayas (Figura 32).

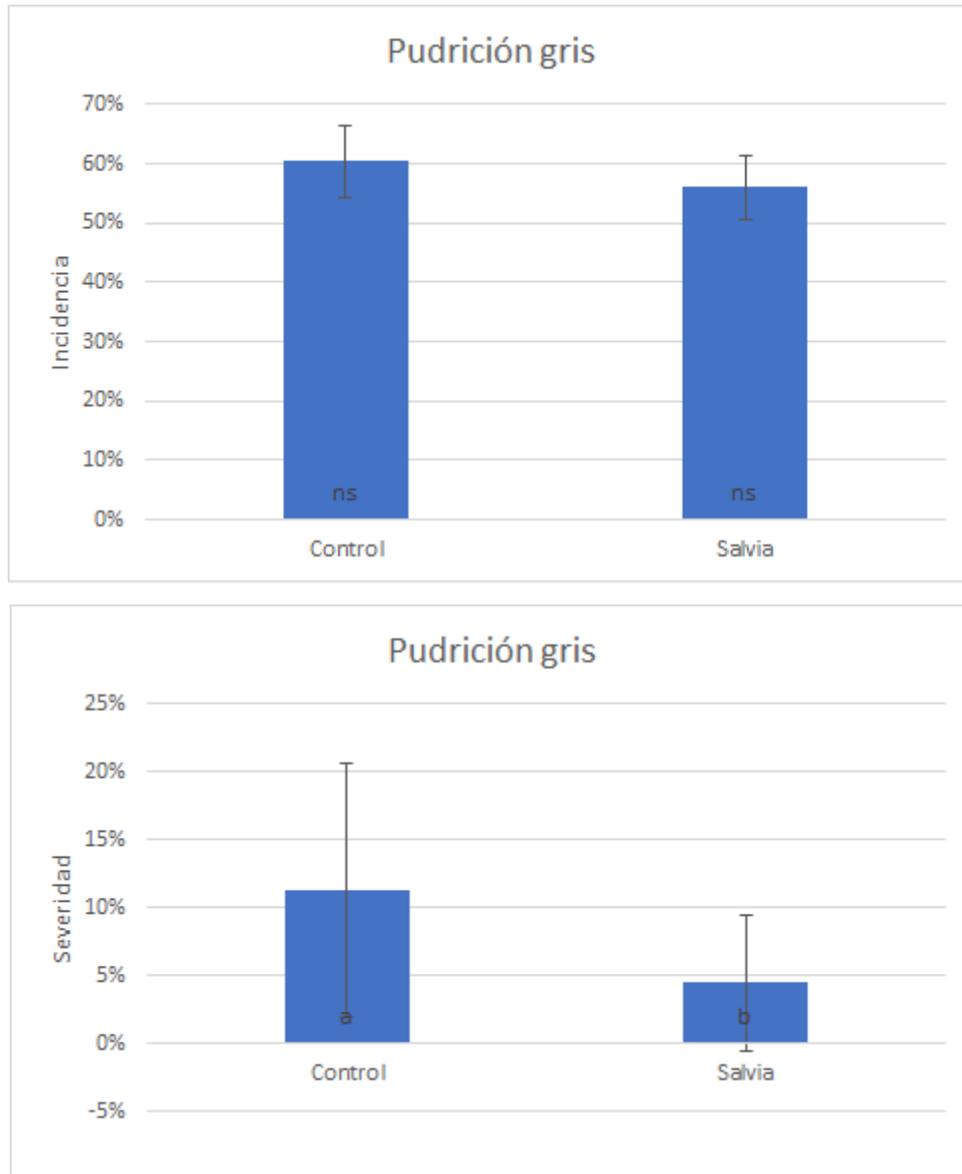


Figura 32. Incidencia y severidad de la sintomatología de la pudrición gris en bayas ( $p < 0,05$ ).

### Composición florística

El análisis de composición florística (Tabla 8) determinó que en ambos tratamientos se observa: avenilla (*Avena fatua*), correhuela (*Convolvulus arvensis*), menta (*Mentha* spp.), chéptica enana (*Cynodon dactylon*) y achicoria (*Cichorium intybus*), la zona con salvias no presentó zanahoria silvestre (*Daucus carota*), pero sí potentilla (*Potentilla recta*) y siete venas (*Plantago lanceolata*).

Tabla 8

Clasificación de malezas correspondientes a la vegetación espontánea.

Control	Salvia
Avenilla ( <i>Avena fatua</i> )	Avenilla ( <i>Avena fatua</i> )
Correhuela ( <i>Convolvulus arvensis</i> )	Correhuela ( <i>Convolvulus arvensis</i> )
Menta ( <i>Mentha</i> spp.)	Menta ( <i>Mentha</i> spp.)
Chéptica enana ( <i>Cynodon dactylon</i> )	Chéptica enana ( <i>Cynodon dactylon</i> )
Achicoria ( <i>Cichorium intybus</i> )	Achicoria ( <i>Cichorium intybus</i> )
Zanahoria silvestre ( <i>Daucus carota</i> )	-
-	Potentilla ( <i>Potentilla recta</i> )
-	Siete venas ( <i>Plantago lanceolata</i> )

Los porcentajes de cobertura de suelo para la sobrehilera corresponden a 85% para el control y 60% para la salvia. En la entrehilera ambos tratamientos presentaron 90% de cobertura.

En la zona noroeste del predio, que corresponde al área cercana al río, se observa abundante cantidad de menta. Específicamente, se encuentra en una parcela de salvia y dos de control.

## 4. Discusión

### Tricomas

El análisis visual muestra que los tricomas de la cara abaxial son más densos y grandes en comparación con la cara adaxial. Lo que influye en la composición de las ceras, como se observó en los resultados (Figura 28). Por ejemplo, la composición de las ceras de las caras abaxial y adaxial de las moreras (*Morus spp.*), son diferentes. Las ceras de la cara adaxial presentan alta cantidad de alcoholes primarios, y la cara abaxial de alquenos (Chattopadhyay, 2011).

No se observó presencia sintomatológica de mildiú, ni diferencia en las características de los tricomas de la vid. Pero en morera (*Morus spp.*), se ha analizado que la densidad y morfología de los tricomas provoca mayor resistencia frente al mildiú, ya que actúan como barrera física para hongos biotróficos (Chattopadhyay, 2011). Pero otros estudios han concluido que para hongos como *B. cinerea*, las hojas con tricomas son más susceptibles a la infección que hojas glabras, porque atrapan las esporas del hongo presentes en el aire (Lake and Wade, 2009).

### Espectroscopía

El análisis de espectroscopía realizado 30 ddpf presenta más diferencias entre los grupos de intensidad IR, respecto a 15 ddpf y 60 ddpf (Tablas 7). Considerando que el predio se ubica en el costado de una autopista. Se podría deber a que los VOCs desaparecen más rápidamente en ambientes contaminados, ya que reaccionan con los radicales NO<sub>x</sub>, OH<sup>-</sup> y ozono (Brilli et al., 2019).

La muestra analizada 60 ddpf no presentó diferencias significativas, lo que se podría deber al contenido de agua en las bayas, o a la llovizna presente en el momento de la toma de muestras, que pudo dejar agua adherida a las bayas y hojas luego del secado superficial. Ya que la humedad en la muestra provoca una fuerte absorción en la región infrarroja, ocultando posibles bandas en la zona en torno a 3500 y 1400 cm<sup>-1</sup> (Serrano, 2009). Por lo que la medición espectrofotométrica es imprecisa.

La fase de floración de la salvia finalizó entre las mediciones de 15 ddpf y 30 ddpf de la vid, que corresponde a mediados de junio. En esta época solamente se observó una disminución en la cantidad de ésteres de cera en la cara abaxial del tratamiento con salvia (Tabla 7c). Pero se esperaba un aumento en los compuestos aromáticos, ya que la floración de la salvia es la época de mejor actividad antioxidante, con el mayor contenido de fenoles y diterpenos fenólicos (Farhat et al., 2014). Por ejemplo,

el 1,8-cineolo es más abundante en mayo y junio, que en julio (hemisferio norte). De hecho, la época con menor registro de aceites esenciales ocurre en el período vegetativo de la salvia (Bhat et al., 2016).

El control biológico del tratamiento con salvia sobre *B. cinerea* (Figura 32) no se reflejó en la medición espectrofotométrica de 60 ddpf, ya que no hubo diferencias significativas en los compuestos aromáticos. Se esperaba lo contrario, ya que durante julio se presenta una alta actividad antioxidante de las salvias debido a la presencia de monoterpenos como  $\alpha$ -tuyona,  $\beta$ -tuyona y alcanfor, que eliminan radicales (Bhat et al., 2016).

Se observó una disminución en los ácidos presentes en las bayas para el tratamiento con salvia en la medición de 30 ddpf (Tabla 7a). Un resultado similar a lo observado por Belal et al. (2017) en vid de mesa tratado con fenogreco (*Trigonella foenum-graecum* L.) en intercropping.

En el presente estudio se observa que el contenido de ceras en la superficie foliar varía según el tipo de cera. Pero principalmente se encuentra una mayor cantidad de ceras de estiramiento de metileno y ésteres de cera en la cara adaxial, respecto a la cara abaxial del tratamiento con salvia (Figura 28). Resultados similares a los obtenidos por Baker and Hunt (1981), quienes observaron que son más abundantes las ceras epicuticulares y los ésteres de cera en la cara adaxial de las hojas. Además, se debe considerar que las vides mantienen altas tasas de producción de ceras en las hojas durante su expansión. El tratamiento con salvia disminuyó la cantidad de estos tipos de ceras. Pero no hubo sintomatología de mildiú, para poder relacionar las ceras con el establecimiento de colonias del pseudohongo en la cara abaxial de las hojas.

La cantidad de ésteres de cera en las bayas disminuyó en el tratamiento con salvia, pero no hubo diferencia significativa para los otros grupos de ceras (Tabla 7a). Se esperaba mayor cantidad de ceras en las bayas tratadas con salvia, ya que la vid es menos susceptible a la pudrición gris cuando las bayas cuentan con las ceras presentes (Marois et al., 1986; Sharma et al., 2018). Pero igualmente la salvia provocó menor sintomatología de pudrición gris en los racimos de vid (Figura 32).

Las vides presentan por lo menos 183 compuestos fenólicos, que se encuentran principalmente en sus hojas y brotes, pero también en las raíces, madera, sarmientos y zarcillos (Goufo et al., 2020). Se observa que la salvia produjo un aumento en los compuestos fenólicos de la cara abaxial para 30 ddpf. Los cultivos de cobertura pueden aumentar los fenoles de la piel de las bayas (Xi et al., 2011). Pero en este caso no hubo diferencia entre los tratamientos para las bayas, sino solo en las hojas.

La salvia disminuyó la severidad de la sintomatología de pudrición gris, por lo que se esperaba un aumento de compuestos aromáticos en las bayas, ya que los terpenos actúan en la interacción planta-planta y planta-patógeno (Carlomagno et al., 2012), y los compuestos fenólicos generan resistencia en algunos cultivares de vid frente a hongos, debido principalmente a sus propiedades antioxidantes, por lo que eliminan los radicales libres y mejoran la salud de los consumidores (Goufo et al., 2020). Los polifenoles presentes en la planta, previamente a una infección, son compuestos preformados producidos por un mecanismo de resistencia pasiva (Goufo et al., 2020). Goetz et al., (1999) sugieren que algunos compuestos fenólicos de la uva inhiben la actividad enzimática de la estilbeno oxidasa, producida por *B. cinerea*. Además, los compuestos fenólicos ayudan a la protección frente a los rayos UV (Sharma et al., 2018). Pero no se observó un aumento en los grupos de compuestos aromáticos de las bayas debido al intercropping. Podría haber un efecto de los VOCs producidos por la salvia sobre las esporas de *B. cinerea*, pero sin cambiar directamente la composición de las bayas de vid.

### **Contenido de clorofila**

El tratamiento con salvia aumenta el índice SPAD de las vides. Resultados similares a los obtenidos por Vafadar-Yengeje et al. (2019) y Xiong et al. (2013). Los primeros observaron el aumento del índice SPAD en habas (*Vicia faba* L.), en algunas combinaciones de intercropping con moldávica (*Dracocephalum moldavica* L.) que también pertenece a la familia de las Lamiaceas y cuenta con actividad antioxidante y antimicrobiana. Los segundos observaron el aumento del índice SPAD en maní (*Arachis hypogaea* L.) en intercropping con maíz (*Zea mays* L.), además de una mayor concentración de Fe, por lo que sugieren un aumento en la eficiencia fotosintética de las hojas de maní.

El aumento en el índice SPAD sugiere una mayor concentración de clorofila foliar en la vid. Como lo concluyeron Covarrubias y Rombolà (2013) y Belal et al. (2017). Los primeros realizaron un estudio de intercropping con festuca (*Festuca rubra*), que produce una mayor concentración de clorofila foliar en vid cv Cabernet Sauvignon. Los segundos lo observaron en intercropping de vid de mesa con fenogreco (*Trigonella foenum-graecum* L.).

Considerando la competencia hídrica que ejercen los cultivos en intercropping (Mercenaro et al., 2014). La salvia pudo haber aumentado la concentración de clorofila foliar en las vides. Porque ciertas condiciones de déficit hídrico pueden producir un aumento en el índice SPAD (Caser et al., 2012).

### **Parámetros productivos**

El tratamiento con salvia no afectó el rendimiento de las vides. Específicamente, no influyó el peso de las bayas, racimos y número de racimos y brotes por vid. Igualmente a lo observado por Mercenaro et al. (2014), quienes estudiaron el intercropping de vid con pasto ovillo (*Dactylis glomerata*). Distinto a lo observado por Belal et al. (2017), quienes observaron un aumento en el peso de racimo y bayas en viñedos plantados en intercropping con fenogreco (*Trigonella foenum-graecum* L.) y anís (*Pimpinella anisum*). La causa puede ser que los residuos orgánicos de estas plantas aumentan la actividad microbiana del suelo, como las enzimas deshidrogenasas y fosfatasas, mejorando así el crecimiento de las raíces de la vid y su estado nutricional.

### **Hongos patógenos**

El tratamiento con salvia presentó menor severidad en la sintomatología de la pudrición gris en los racimos de vid (Figura 32). Para lo cual, se debe considerar que los terpenos timol, geraniol y eugenol, cuentan con acción fungicida, por lo cual se utilizan exógenamente, por ejemplo, la suspensión de cápsulas 3Logy (Querzola et al., 2016) y Araw (Ruiz García et al., 2015). En este caso, los terpenos son efectivos en el control de la pudrición gris de la vid (*Botrytis cinerea*), oídio de la vid (*Erysiphe necator*) y mildiú polvoriento de la vid (*Plasmopara viticola*) (Querzola et al., 2016). Estos terpenos impiden la germinación de esporas, penetración de hifas y crecimiento de micelios e hifas (Ruiz García et al., 2015). Con respecto a los resultados obtenidos, la producción de eugenol de la salvia pudo inhibir la germinación de esporas de *B. cinerea*.

El romero (*Rosmarinus officinalis*) y timo (*Thymus vulgaris*) presentan actividad antifúngica contra *Botrytis cinerea*. La salvia también podría presentarla, ya que es una fuente de aceites esenciales con propiedades antifúngicas. Particularmente, se ha observado que contiene carvacrol, eugenol, 1,8-cineol,  $\gamma$ -terpineno y *p*-cimeno, que son monoterpenos con potencial antifúngico contra *Botrytis cinerea* (Santra and Banerjee, 2020). Lo que podría explicar la menor severidad de pudrición gris en el tratamiento con salvia. De hecho, se ha observado que la salvia disminuye el crecimiento micelial de otros hongos patógenos como *Alternaria solani* (Yanar et al., 2011).

No se observó sintomatología de mildiú ni oídio, lo que se puede deber a que el portainjerto Kober 5BB presenta resistencia al mildiú (Lazazzara et al., 2018), y a las aplicaciones realizadas en el viñedo.

### **Composición florística**

Las malezas presentes que tienen mayor impacto potencial en los viñedos son: avenilla, correhuela y chéptica enana (Kramm, 2017). Las tres malezas se encuentran en ambos tratamientos, por lo que la salvia no las controla.

Los tratamientos con salvia no presentaron zanahoria silvestre (*Daucus carota*), lo que pudo ser provocado directamente por la salvia. No se encuentra bibliografía al respecto, pero la salvia compite con las malezas por espacio y luz (Karl et al., 2016), y también presenta efecto alelopático (Javaid and Shoaib, 2013). Por ejemplo, Nishida et al., 2005, han observado que la *Salvia leucophylla* produce compuestos inhibidores de la germinación de *Brassica campestris*. Dichos compuestos corresponden a alcanfor, 1,8-cineol,  $\beta$ -pineno, que también están presentes en *S. officinalis* (Veličković et al., 2003).

Se observó que la mitad del predio presenta menta (*Mentha* spp.) como parte de la vegetación espontánea; específicamente se encuentra presente en dos parcelas de control y una de salvia. Aunque la menta pertenece a la familia Lamiaceae como la salvia, probablemente no afectaría en el control de la pudrición gris en las vides, ya que se ha estudiado que los aceites esenciales de *Mentha piperita* no tienen efecto contra la *B. cinerea* (Raveau et al., 2020).

## 5. Conclusiones

Los resultados sugieren que el manejo de intercropping entre vid y MAPs puede ser prometedor para el desarrollo de agroecosistemas. Ya que su uso de suelo y emisión de VOCs pueden aumentar la sostenibilidad del viñedo.

Se observa que la salvia disminuye la susceptibilidad de la vid a la pudrición gris causada por *B. cinerea*, por lo que este manejo permitiría disminuir el uso de plaguicidas. La salvia produce terpenos que pueden inhibir la germinación de esporas de *B. cinerea*. También afecta la composición de la uva en ciertas condiciones. Específicamente, se observa que puede disminuir los ácidos de la baya y aumentar los compuestos aromáticos en la cara abaxial de las hojas, lo que podría mitigar el ataque de hongos patógenos.

La salvia afecta la vegetación espontánea, pudiendo ayudar en el control de ciertas malezas. Además, no se observó un efecto en los parámetros de rendimiento, por lo que la competencia no sería primordial. Pero se debe analizar constantemente, ya que hubo un aumento en el índice SPAD del tratamiento con salvia, lo que podría deberse a un déficit hídrico de las vides.

Es importante seguir estudiando los beneficios que ofrecen las MAPS, especialmente la salvia, para aprovechar las defensas naturales de las plantas. Conocer las interacciones planta-planta puede potenciar la respuesta de los cultivos frente a estrés biótico y abiótico, tal como los cultivos silvestres prosperan en condiciones no agrícolas. También conocer sus propiedades aleloquímicas y micotóxicas para estimular el control natural de plagas.

## Resumen

**Chiara Barchiesi. Efecto de los compuestos orgánicos volátiles (VOCs), producidos por salvia (*Salvia officinalis* L.), en vid (*Vitis vinifera*) cv Trebbiano Romagnolo.** Tesis, *Magister* en Fisiología y Producción Vegetal, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 77 pp.

La investigación se enmarca en la Agroecología, por lo que se busca potenciar el viñedo como un agroecosistema sostenible. El manejo utilizado es el intercropping, por lo que se plantaron salvias (*Salvia officinalis*) intercaladas con vides (*Vitis vinifera*). La salvia, al ser una planta medicinal y aromática (MAPs), emite VOCs que interactúan con las vides, pudiendo disminuir la susceptibilidad a hongos patógenos y mejorar la composición del fruto. Se midieron parámetros productivos, contenido de clorofila mediante el índice SPAD, análisis foliar con microscopio óptico para observar tricomas y la distribución de la clorofila, espectroscopía IR en la superficie de las bayas y hojas, daño por hongos patógenos y composición florística del suelo. Se observó que el tratamiento con salvia aumenta el índice SPAD en las hojas de vid, por lo que aumenta su contenido de clorofila. También puede modificar la composición de las bayas y hojas, y disminuye la severidad de la pudrición gris en las bayas, lo que se debe probablemente a la emisión de VOCs. Además, puede afectar la vegetación espontánea del suelo. Se concluye que la salvia puede ser beneficiosa en el viñedo, por lo que se debe seguir estudiando las relaciones planta-planta para aprovechar sus defensas naturales que permiten hacer frente al daño que causan los hongos patógenos, para disminuir el uso de plaguicidas en los predios agrícolas.

**Palabras clave:** Agroecología, intercropping, vid (*Vitis vinifera*), salvia (*Salvia officinalis*), plantas medicinales y aromáticas (MAPs), compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y *Botrytis cinerea*.

## 6. Referencias

Aballay, E., and Insunza, V. 2002. Evaluación de plantas con propiedades nematocidas en el control de *Xiphinema index* en vid de mesa cv. Thompson Seedless en la zona central de Chile. *Agricultura Técnica* 62(3):357-365.

Alem, H., Rigou, P., Schneider, R., Ojeda, H., and Torregrosa, L. 2019. Impact of agronomic practices on grape aroma composition: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99(3):975-985.

Alexandratos, N., and Bruinsma, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. Agricultural Development Economics Division (ESA) Working paper No. 12-03. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 147 pp.

Altieri, M. A. 1999. *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Ediciones Nordan-Comunidad, Montevideo, Uruguay. 338 pp.

Altieri, M. A. 2002. *Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables*. En *Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria*. Ediciones Científicas Americanas. Universidad de California, Berkeley, EE. UU. 27-34 pp.

Altieri, M. A., and Nicholls, C. I. 2002. The simplification of traditional vineyard based agroforests in northwestern Portugal: some ecological implications. *Agroforestry Systems* 56(3):185-191.

Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2013. *Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas*. *Agroecología* 8(1):7-20.

Álvarez-Fernández, A., Pérez-Sanz, A., and Lucena, J. J. 2001. Evaluation of effect of washing procedures on mineral analysis of orange and peach leaves sprayed with seaweed extracts enriched with iron. *Communications in soil science and plant analysis* 32(1-2):157-170.

Ash, G. 2017. Downy mildew of grape. *The Plant Health Instructor*. Recuperado el 28 de septiembre de 2020 de <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/oomycete/pdlessons/Pages/DownyMildewGrape.aspx>

Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., and Zakem, E. 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22(2):86-108.

Baker, E. A., and Hunt, G. M. 1981. Developmental changes in leaf epicuticular waxes in relation to foliar penetration. *New Phytologist* 88(4):731-747.

Baldi, E., Colucci, E., Gioacchini, P., Valentini, G., Allegro, C., Pastore, C., Filippetti, I., and Toselli, M. 2017. Effect of post-bloom foliar nitrogen application on vines under two level of soil fertilization in increasing bud fertility of 'Trebbiano Romagnolo' (*Vitis vinifera* L.) vine. *Scientia Horticulturae* 218:117-124.

Belal, B. E. A., El-Kenawy, M. A., Ismail, S. I., and Abd El-Hameed, A. M. 2017. Effect of intercropping of Thompson seedless grapevines with some medicinal plants on vine nutritional status, yield, berry quality and the microbiological activity of the soil. *Journal of Plant Production* 8(4):495-501.

Benito, A., Romero, I., Domínguez, N., García-Escudero, E., and Martín, I. 2013. Leaf blade and petiole analysis for nutrient diagnosis in *Vitis vinifera* L. cv. Garnacha tinta. *Australian journal of grape and wine research* 19(2):285-298.

Bhat, G., Rasool, S., Shakeel-u-Rehman, Ganaie, M., Qazi, P. H., and Shawl, A. S. 2016. Seasonal variation in chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of the essential oil of leaves of *Salvia officinalis* (sage) from Kashmir, India. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 19(5):1129-1140.

Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*. 3rd Edts. Springer. New York, USA. p. 865.

Brilli, F., Loreto, F., and Baccelli, I. 2019. Exploiting plant volatile organic compounds (VOCs) in agriculture to improve sustainable defense strategies and productivity of crops. *Frontiers in plant science* 10:264.

Brunetto, G., Ventura, M., Scandellari, F., Ceretta, C. A., Kaminski, J., de Melo, G. W., and Tagliavini, M. 2011. Nutrient release during the decomposition of mowed perennial ryegrass and white clover and its contribution to nitrogen nutrition of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 90(3):299.

Buffara, C. R. S., Angelotti, F., Vieira, R. A., Bogo, A., Tessmann, D. J., and Bem, B. P. D. 2014. Elaboration and validation of a diagrammatic scale to assess downy mildew severity in grapevine. *Ciência Rural* 44(8):1384-1391.

Burgio, G., Campanelli, G., Leteo, F., Ramilli, F., Depalo, L., Fabbri, R., and Sgolastra, F. 2015. Ecological sustainability of an organic four-year vegetable rotation system: Carabids and other soil arthropods as bioindicators. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 39(3):295-316.

Capone, D., Jeffery, D., and Sefton, M. 2012. Vineyard and Fermentation Studies To Elucidate the Origin of 1,8-Cineole in Australian Red Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(9):2281-2287.

Caporali, F. 2015. History and development of agroecology and theory of agroecosystems. In: Law and Agroecology. Edts. Springer. Heidelberg, Berlin, Germany. p. 3-29.

Carlomagno, A., Schubert, A., e Ferrandino, A. 2012. Evoluzione dei composti volatili pre-fermentativi in bacche della cv Nebbiolo (*Vitis vinifera* L.). Università di Torino, Torino, Italia. 69-75 pp.

Caser, M., Ruffoni, B., and Scariot, V. 2012. Screening for drought tolerance in *Salvia* spp. and *Helichrysum petiolare*: a way to select low maintenance ornamental plants. In: XXIV International Eucarpia Symposium Section Ornamentals: Ornamental Breeding Worldwide. Acta horticulturae 953. p. 239-246.

Cesco S., and Rombolà A. D. 2007. Nutrient management at the rhizosphere through intercropping. In: Goodmann, R. M. Encyclopedia of Plant and Crop Science. Edts. Taylor and Francis. London, U.K. p. 1-3.

Chattopadhyay, S., Ali, K. A., Doss, S. G., Das, N. K., Aggarwal, R. K., Bandopadhyay, T. K., Sarkar, A., and Bajpai, A. K. 2011. Association of leaf morphological characters with powdery mildew resistance in field-grown mulberry (*Morus* spp.) germplasm. AoB Plants 2011.

Chile. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2016. Oídio de la vid (Anamorfo. *Oidium tuckeri* Berk. Teleomorfo. *Uncinula necator* (Schwein.) Burril). Recuperado el 07 de octubre de 2020 de <https://www.inia.cl/sanidadvegetal/2016/11/08/oidio-de-la-vid-anamorfo-oidium-tuckeri-berk-teleomorfo-uncinula-necator-schwein-burril/>

CIAO. 2019. Informe de 2018 de la Comisión Interamericana de Agricultura Orgánica (CIAO). XXXIX. Reunión Ordinaria del Comité Ejecutivo. San José, Costa Rica. p. 19.

Consorzio Vini di Romagna. 2018. Il trebbiano romagnolo: una famiglia numerosa. Recuperado el 03 de julio de 2020 de <https://www.consorziovinidiromagna.it/trebbiano-romagnolo-famiglia-numerosa/>

Contreras, F., Díaz, J., Rombolà, A. D., and de la Luz Mora, M. 2019. Prospecting intercropping between subterranean clover and grapevine as potential strategy for improving grapevine performance. Current Plant Biology 19:100110.

Cosmo, I. e Polsinelli, M. 1965. Trebbiano Romagnolo. Scheda Ampelografica. Principali vitigni da vino coltivati in Italia – Volume IV, Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste. Recuperado el 23 de septiembre de 2020 de <http://catalogoviti.politicheagricole.it/scheda.php?codice=242>

Covarrubias, J. I., Pisi, A., and Rombolà, A. D. 2014. Evaluation of sustainable management techniques for preventing iron chlorosis in the grapevine. *Australian journal of grape and wine research* 20(1):149-159.

Covarrubias, J. J., and Rombolà, A. D. 2013. Changes in the iron deficiency response mechanisms of grapevine with sustainable strategies for iron chlorosis prevention. *Acta Horticulturae* (984):315-322.

Craft, J. D., Satyal, P., and Setzer, W. N. 2017. The chemotaxonomy of common sage (*Salvia officinalis*) based on the volatile constituents. *Medicines* 4(3):47.

Crisp, P., Ganguly, D., Eichten, S., Borevitz, J., and Pogson, B. 2016. Reconsidering plant memory: Intersections between stress recovery, RNA turnover, and epigenetics. *Science Advances* 2(2):E1501340.

Cruz, M. 2004. Enfermedades de la vid en el secano interior de la VII y VIII Regiones de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 111. Chillán, Chile. 98 p.

Dagostin, S., Giovannini, O. e Pertot, I. s.f. Controllo della peronospora della vite con *Salvia officinalis*. Fondazione Edmund Mach, Istituto agrario di San Michele all'Adige. Recuperado el 29 de mayo de 2020 de [http://www.interbio.it/share/integra\\_files\\_lib/files/Presentazione%20PERTOT.pdf](http://www.interbio.it/share/integra_files_lib/files/Presentazione%20PERTOT.pdf).

De Ponti, T., Rijk, B., and Van Ittersum, M. 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108(C):1-9.

Dempsey, D. M. A., and Klessig, D. F. 2012. SOS – too many signals for systemic acquired resistance? *Trends in plant science* 17(9):538-545.

Devansh, M. 2012. Review on pharmacological profile of *Salvia officinalis*. *Planta Activa* 4:203-207.

Di Francesco, A., Di Foggia, M., and Baraldi, E. 2020. *Aureobasidium pullulans* volatile organic compounds as alternative postharvest method to control brown rot of stone fruits. *Food Microbiology* 87:103395.

Di Stefano, R. 1991. Proposal for a method of sample preparation for the determination of free and glycoside terpenes of grapes and wines [rapid analysis method, reproductibility, aromatic wines]. *Bulletin de l'OIV* 64(721-722):219-223.

Döring, J., Collins, C., Frisch, M., and Kauer, R. 2019. Organic and Biodynamic Viticulture Affect Biodiversity and Properties of Vine and Wine: A Systematic Quantitative Review. *American Journal of Enology and Viticulture* 70(3):221-242.

Dubis, E. N., Dubis, A. T., and Morzycki, J. W. 1999. Comparative analysis of plant cuticular waxes using HATR FT-IR reflection technique. *Journal of Molecular structure* 51:173-179.

Dubis, E. N., Dubis, A. T., and Popławski, J. 2001. Determination of the aromatic compounds in plant cuticular waxes using FT-IR spectroscopy. *Journal of Molecular Structure* 596(1-3):83-88.

D'Onofrio, C., Matarese, F., and Cuzzola, A. 2017. Study of the terpene profile at harvest and during berry development of *Vitis vinifera* L. aromatic varieties Aleatico, Brachetto, Malvasia di Candia aromatica and Moscato bianco. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97(9):2898-2907.

Effah, E., Holopainen, J. K., and McCormick, A. C. 2019. Potential roles of volatile organic compounds in plant competition. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 38:58-63.

Ellis, M. A. 2008. Botrytis Bunch Rot or Grey Mold of Grape. Fact Sheet Agriculture and Natural Resources. Ohio State University. Recuperado el 28 de septiembre de 2020 de <https://ohioline.osu.edu/factsheet/plpath-fru-03>

FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. 2020. Anteproyecto de código de prácticas para la prevención y reducción de la contaminación por cadmio en los granos de cacao. XIV. Comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos. Utrecht, Países Bajos. p. 51.

Farhat, M. B., Chaouch-Hamada, R., Sotomayor, J. A., Landoulsi, A., and Jordán, M. J. 2014. Antioxidant potential of *Salvia officinalis* L. residues as affected by the harvesting time. *Industrial Crops and Products* 54:78-85.

Fasoli, M., Dell'Anna, R., Dal Santo, S., Balestrini, R., Sanson, A., Pezzotti, M., Monti, F., and Zenoni, S. 2016. Pectins, hemicelluloses and celluloses show specific dynamics in the internal and external surfaces of grape berry skin during ripening. *Plant and Cell Physiology* 57(6):1332-1349.

Ferreira, V., and Lopez, R. 2019. The Actual and Potential Aroma of Winemaking Grapes. *Biomolecules* 9(12):818.

Gadoury, D. M., Cadle-Davidson, L., Wilcox, W. F., Dry, I. B., Seem, R. C., and Milgroom, M. G. 2012. Grapevine powdery mildew (*Erysiphe necator*): a fascinating system for the study of the biology, ecology and epidemiology of an obligate biotroph. *Molecular plant pathology* 13(1):1-16.

Gago, P., Conejero, G., Martínez, M. C., This, P., and Verdeil, J. L. 2019. Comparative Anatomy and Morphology of the Leaves of Grenache Noir and Syrah Grapevine Cultivars. *South African Journal of Enology and Viticulture* 40(2):1-9.

Garrison, B. 2020. Managing Powdery Mildew in the Vineyard. Recuperado el 28 de septiembre de <https://thegrapevinemagazine.net/2020/05/>

Gliessman, S. R. 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Ediciones CATIE, Turrialba, Costa Rica. 359 pp.

Goetz, G., Fkyerat, A., Métais, N., Kunz, M., Tabacchi, R., Pezet, R., and Pont, V. 1999. Resistance factors to grey mould in grape berries: identification of some phenolics inhibitors of *Botrytis cinerea* stilbene oxidase. *Phytochemistry* 52(5):759-767.

Gómez, E., Martínez, A., and Laencina, J. 1995. Changes in volatile compounds during maturation of some grape varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67(2):229-233.

Goufo, P., Singh, R. K., and Cortez, I. 2020. A Reference List of Phenolic Compounds (Including Stilbenes) in Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Roots, Woods, Canes, Stems, and Leaves. *Antioxidants* 9(5):398.

IFOAM Organics International. 2005. En Soto, G. 2020. El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0. *Revista de Ciencias Ambientales* 54(1):215-226.

Istituti Clinici Scientifici Maugeri. 2019. Radiello® User Manual. Centro di Ricerche Ambientali, Padova, Italia.

Hallama, M., Pekrun, C., Lambers, H., and Kandeler, E. 2019. Hidden miners—the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant and soil* 434(1-2):7-45.

Hill, G. N., Beresford, R. M., and Evans, K. J. 2010. Tools for accurate assessment of botrytis bunch rot (*Botrytis cinerea*) on wine grapes. *New Zealand Plant Protection* 63:174-181.

IFOAM. 2002. In: Scialabba, N., and Hattam, C. 2002. Organic agriculture, environment and food security. Fourth edition. Environment and Natural Resources Series (FAO), Rome, Italy. 252 pp.

Javaid, A., and Shoaib, A. 2013. Allelopathy for the Management of Phytopathogens. In: Allelopathy. Edts. Springer. Berlin, Germany. p. 299-319.

Edts. Springer. Singapore. p. 131-219.

Karl, A. D., Merwin, I. A., Brown, M. G., Hervieux, R. A., and Heuvel, J. E. V. 2016. Under-vine management impacts soil properties and leachate composition in a New York State Vineyard. *HortScience* 51(7):941-949.

Kramm, V. 2017. Control de malezas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA NR26030. Chillán, Chile. 54 p.

Krstic, M. P., Johnson, D. L., and Herderich, M. J. 2015. Review of smoke taint in wine: smoke-derived volatile phenols and their glycosidic metabolites in grapes and

vines as biomarkers for smoke exposure and their role in the sensory perception of smoke taint. *Australian journal of grape and wine research* 21:537-553.

Lake, J. A., and Wade, R. N. 2009. Plant–pathogen interactions and elevated CO<sub>2</sub>: morphological changes in favour of pathogens. *Journal of experimental botany* 60(11):3123-3131.

Largo-Gosens, A., Hernández-Altamirano, M., García-Calvo, L., Alonso-Simón, A., Álvarez, J., and Acebes, J. L. 2014. Fourier transform mid infrared spectroscopy applications for monitoring the structural plasticity of plant cell walls. *Frontiers in plant science* 5:303.

Lazazzara, V., Bueschl, C., Parich, A., Pertot, I., Schuhmacher, R., and Perazzolli, M. 2018. Downy mildew symptoms on grapevines can be reduced by volatile organic compounds of resistant genotypes. *Scientific reports* 8(1):1-14.

Léonard, J. and Andrieux, P. 1998. Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in southern France. *Catena* 32:209-223.

Lin, J., Massonnet, M., and Cantu, D. 2019. The genetic basis of grape and wine aroma. *Horticulture Research* 6(1):1-24.

Lotter, D. W. 2003. Organic agriculture. *Journal of sustainable agriculture* 21(4):59-128.

Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S., and Valantin-Morison M. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomic Sustainable Development* 29:43-62.

Marois, J. J., Nelson, J. K., Morrison, J. C., Lile, L. S., and Bledsoe, A. M. 1986. The influence of berry contact within grape clusters on the development of *Botrytis cinerea* and epicuticular wax. *American Journal of Enology and Viticulture* 37(4):293-296.

Martínez, L. F., Bello, P. L. y Castellanos, Ó. F. 2012. Sostenibilidad y Desarrollo: el valor agregado de la agricultura orgánica. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 236 pp.

Mateo, J. J., and Jiménez, M. 2000. Monoterpenes in grape juice and wines. *Journal of Chromatography A* 881(1-2):557-567.

Mercenaro, L., Nieddu, G., Pulina, P., and Porqueddu, C. 2014. Sustainable management of an intercropped Mediterranean vineyard. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 192:95-104.

Montalba, R., A. Infante, A. Contreras, L. Vieli, 2017. Agroecology in Chile: precursors, pioneers, and their legacy. *Agroecology and Sustainable Foods Systems* 41(3):1-13.

Monteiro, A. and Lopes, C.M. 2007. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, ecosystems & environment* 121:336-442.

Munguia, P., Culbert, J., Ford, C., Burton, R., and Wilkinson, K. 2019. Accumulation of volatile phenol glycoconjugates in grapes following grapevine exposure to smoke and potential mitigation of smoke taint by foliar application of kaolin. *Planta* 249(3):941-952.

National Research Council. 1989. *Alternative agriculture*. National Academies Press, Washington, DC, USA. 448 pp.

Neri, F., Mari, M., Brigati, S., and Bertolini, P. 2007. Fungicidal activity of plant volatile compounds for controlling *Monilinia laxa* in stone fruit. *Plant Disease* 91(1):30-35.

Ninkovic, V., Dahlin, I., Vucetic, A., Petrovic-Obradovic, O., Glinwood, R., and Webster, B. 2013. Volatile exchange between undamaged plants - a new mechanism affecting insect orientation in intercropping. *PloS One* 8(7):E69431.

Nishida, N., Tamotsu, S., Nagata, N., Saito, C., and Sakai, A. 2005. Allelopathic effects of volatile monoterpenoids produced by *Salvia leucophylla*: inhibition of cell proliferation and DNA synthesis in the root apical meristem of *Brassica campestris* seedlings. *Journal of chemical ecology* 31(5):1187-1203.

Noestheden, M., Dennis, E., and Zandberg, W. 2018a. Quantitating Volatile Phenols in Cabernet Franc Berries and Wine after On-Vine Exposure to Smoke from a Simulated Forest Fire. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66(3):695-703.

Noestheden, M., Noyovitz, B., Riordan-Short, S., Dennis, E. G., and Zandberg, W. F. 2018b. Smoke from simulated forest fire alters secondary metabolites in *Vitis vinifera* L. berries and wine. *Planta* 248(6):1537-1550.

Odum, E. P. 1984. En Altieri, M. 1999. *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Ediciones Nordan-Comunidad, Montevideo, Uruguay. 338 pp.

Palliotti, A., Poni, S. e Silvestroni, O. 2018. *Manuale di Viticoltura*. Edagricole-New Business Media, Bologna, Italia. 415 pp.

Pecile M., Zavaglia C. e Ciardi A. 1970. *Trebbiano Romagnolo. Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Italia*. p. 1-3.

Perestrelo, R, Silva, C, Silva, P, and Câmara, J.S. 2017. Global volatile profile of virgin olive oils flavoured by aromatic/medicinal plants. *Food Chemistry* 227:111-121.

Piñeiro, M. P. 2007. Desarrollo de nuevos métodos de microextracción en fase sólida para la determinación de contaminantes emergentes en matrices acuosas. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España. 365 pp.

Piper, J. K. 1998. Growth and seed yield of three perennial grains within monocultures and mixed stands. *Agriculture, ecosystems & environment* 68(1-2):1-11.

Poitou, X., Thibon, C., and Darriet, P. 2017. 1, 8-Cineole in french red wines: evidence for a contribution related to its various origins. *Journal of agricultural and food chemistry* 65(2):383-393.

Ponisio, L., M'Gonigle, L., Mace, K., Palomino, J., De Valpine, P., and Kremen, C. 2015. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings. Biological Sciences* 282(1799):20141396.

Pons, A., Mouakka, N., Deliere, L., Crachereau, J. C., Davidou, L., Sauris, P., Guilbault, P., and Darriet, P. 2018. Impact of *Plasmopara viticola* infection of Merlot and Cabernet Sauvignon grapes on wine composition and flavor. *Food chemistry* 239:102-110.

Porro, D., Dalpiaz, A. e Stringari, G. 1996. Valutazione dello stato nutrizionale mediante diagnostica fogliare. *Informatore Agrario* 52:107-118.

Querzola, P., Bellotto, D., Abbiati, C., Capriotti, M., Serratore, V., Noacco, A., Romanini, M., Guastamacchia, F., Capella, A., and Ruiz, M. 2016. 3Logy®, new terpene fungicide against grape grey mold (*Botrytis cinerea*). *ATTI Giornate Fitopatologiche* 2:141-146.

Raveau, R., Fontaine, J., and Lounès-Hadj Sahraoui, A. 2020. Essential Oils as Potential Alternative Biocontrol Products against Plant Pathogens and Weeds: A Review. *Foods* 9(3):365.

Reganold, J. P., and Wachter, J. M. 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature plants* 2(2):1-8.

Reinjtjjes et al., 1992. En Altieri, M. A. 2001. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. Ediciones Científicas Americanas. Universidad de California, Berkeley, CA, EE. UU. 27-34 pp.

Ribeiro da Luz, B. 2006. Attenuated total reflectance spectroscopy of plant leaves: a tool for ecological and botanical studies. *New Phytologist* 172(2):305-318.

Rguez, S., Msaada, K., Daami-Remadi, M., Chayeb, I., Bettaieb Rebey, I., Hammami, M., Laarif, A., and Hamrouni-Sellami, I. 2019. Chemical composition and

biological activities of essential oils of *Salvia officinalis* aerial parts as affected by diurnal variations. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology* 153(2):264-272.

Rombolà, A. D., and Tagliavini, M. 2006. Iron nutrition of fruit tree crops. In: Barton, L. L., Abadia, J. Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms. Edts. Springer. Dordrecht, Netherlands. p. 61-83.

Ruiz García, M., Mulas García, D., Prades, J., Ochoa de Eribe, J., Querzola, P. y Edmonds, J. 2015. ARAW: Uva sin botritis y sin residuos. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal* 274:18.

Rusin, C., Di Francesco, A., Di Foggia, M., D'Aquino, S., Rombolà, A., Tugnoli, V., Vasconcelos Botelho, R., and Baraldi, E. 2019. An emerging problem affecting apple production: *Neofusicoccum parvum*. *Aureobasidium pullulans* L1 and L8 strains as an alternative control strategy. *Biological control* 134:157-162.

SAIS. 2020. Herbs and medicinal plants. Aromatiche herbs. Cesena, Italy. p. 1-11.

Santra, H. K., and Banerjee, D. 2020. Natural Products as Fungicide and Their Role in Crop Protection. In: *Natural Bioactive Products in Sustainable Agriculture*. Edts. Springer. Singapore. p. 131-219.

Sarandón, S. J. y Flores, C. C. 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Ediciones Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. 466 pp.

Scialabba, N., and Hattam, C. 2002. Organic agriculture, environment and food security. Fourth edition. *Environment and Natural Resources Series (FAO)*, Rome, Italy. 252 pp.

Serrano, J. L. 2009. Espectroscopía Infrarroja 1-Fundamentos. *Instrumentación y métodos de análisis químico* 35.

Sharma, P., Kothari, S. L., Rathore, M., and Gour, V. 2018. Properties, variations, roles, and potential applications of epicuticular wax: a review. *Turkish Journal of Botany* 42(2):135-149.

Simas, D., De Amorim, S., Goulart, F., Alviano, C., Alviano, D., and Da Silva, A. J. 2017. Citrus species essential oils and their components can inhibit or stimulate fungal growth in fruit. *Industrial Crops & Products* 98:108-115.

SINAB. 2019. I Numeri del Bio. Sistema d'Informazione Nazionale dell' Agricoltura Biologica, Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Italia. p. 1-24.

Soto, G. 2020. El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0. *Revista de Ciencias Ambientales* 54(1):215-226.

Soto, G. y Reinhold, M. 2001. En Martínez, L. F., Bello, P. L. y Castellanos, Ó. F. 2012. Sostenibilidad y Desarrollo: el valor agregado de la agricultura orgánica. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 236 pp.

Steenwerth, K., and Belina, K. M. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied soil ecology* 40(2):359-369.

Sulas, L., Campesi, G., and Mercenaro, L. 2016. Quantification of N<sub>2</sub>-fixation from *Medicago polymorpha* L. grown as cover crop in vineyard. In: Kyriazopoulos, A. P., López-Francos, A., Porqueddu C., Sklavou P. Ecosystem services and socio-economic benefits of Mediterranean grasslands. Edts. CIHEAM. Zaragoza, Spain. p. 287-290.

Uddin, R., and Osagie, E. 2017. Evaluation of Row Intercropping on Insect Pests and Yield of *Sesamum Indicum* in Ilorin. *Albanian Journal of Agricultural Sciences* 16(1):14-18.

Unión Europea. 2018. Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 834/2007 del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea* L150:1-92.

Vafadar-Yengeje, L., Amini, R., and Nasab, A. D. M. 2019. Chemical compositions and yield of essential oil of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under different fertilizers application. *Journal of Cleaner Production* 239: 118033.

Valdés Gomez, H., Fermaud, M., Roudet, J., Calonnec, A., and Gary, C. 2008. Grey mould incidence is reduced on grapevines with lower vegetative and reproductive growth. *Crop Protection* 27:1174-1186.

Veličković, D. T., Randelović, N. V., Ristić, M. S., Veličković, A. S., & Šmelcerović, A. A. 2003. Chemical constituents and antimicrobial activity of the ethanol extracts obtained from the flower, leaf and stem of *Salvia officinalis* L. *Journal of the Serbian Chemical Society* 68(1):17-24.

Walker, J. B., and Sytsma, K. J. 2007. Staminal evolution in the genus *Salvia* (Lamiaceae): molecular phylogenetic evidence for multiple origins of the staminal lever. *Annals of Botany* 100(2):375-391.

Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., and David, C. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29(4):503-515.

Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., and Peigné, J. 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development* 34(1):1-20.

Willer, H., and Lernoud, J. 2019. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2019. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM Organics International, Frick, Switzerland. 336 pp.

Xi, Z. M., Tao, Y. S., Zhang, L., and Li, H. 2011. Impact of cover crops in vineyard on the aroma compounds of *Vitis vinifera* L. cv Cabernet Sauvignon wine. *Food Chemistry* 127(2):516-522.

Xiong, H., Shen, H., Zhang, L., Zhang, Y., Guo, X., Wang, P., Duan, P., Ji, C., Zhong, L., Zhang, F., and Zuo, Y. 2013. Comparative proteomic analysis for assessment of the ecological significance of maize and peanut intercropping. *Journal of Proteomics* 78:447-460.

Yanar, Y., Gökçe, A., Kadioglu, I., Çam, H., and Whalon, M. 2011. In vitro antifungal evaluation of various plant extracts against early blight disease (*Alternaria solani*) of potato. *African Journal of Biotechnology* 10(42):8291-8295.

Zaller, J. G., Cantelmo, C., Dos Santos, G., Muther, S., Gruber, E., Pallua, P., Mandl, K., Friedrich, B., Hofstetter, I., Schmuckenschlager, B, and Faber, F. 2018. Herbicides in vineyards reduce grapevine root mycorrhization and alter soil microorganisms and the nutrient composition in grapevine roots, leaves, xylem sap and grape juice. *Environmental Science and Pollution Research* 25(23):23215-23226.

Zhang, H., Mallik, A., and Zeng, R. 2013. Control of Panama Disease of Banana by Rotating and Intercropping with Chinese Chive (*Allium tuberosum* Rottler): Role of Plant Volatiles. *Journal of Chemical Ecology* 39(2):243-252.

Zhang, Z., Zhou, C., Xu, Y., Huang, X., Zhang, L., and Mu, W. 2017. Effects of intercropping tea with aromatic plants on population dynamics of arthropods in Chinese tea plantations. *Journal of Pest Science* 90(1)227-237.

