

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“MANEJO INTEGRADO DE *Erysiphe necator* EN UVA DE MESA.  
ESTUDIO COMPARADO DE CASOS EN EL VALLE DE ICA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**MANUEL HUMBERTO CONCHA JIMÉNEZ**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24 Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“MANEJO INTEGRADO DE *Erysiphe necator* EN UVA DE MESA.  
ESTUDIO COMPARADO DE CASOS EN EL VALLE DE ICA”**

**Manuel Humberto Concha Jiménez**

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

.....  
Ing. Mg. Sc. Liliana Aragón Caballero  
**PRESIDENTE**

.....  
Dr. Federico Dueñas Dávila  
**ASESOR**

.....  
Ph. D. Jorge Castillo Valiente  
**MIEMBRO**

.....  
Ing. Mg. Sc. Medali Huarhua Zaquinaula  
**MIEMBRO**

**LIMA- PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

En memoria de mi padre Humberto, principal motivador para alcanzar este logro pendiente; a mi madre Emma, por su fortaleza en los momentos más difíciles.

Para ellos, todo mi esfuerzo y dedicación.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la dedicada plana docente de la facultad, por todas sus enseñanzas y experiencias compartidas. Un reconocimiento especial para el Dr. Federico Dueñas Dávila, asesor de este trabajo, por su excelente guía y orientación para obtener resultados más allá de los esperados.

A mis padres, por empujarme para obtener el grado y por sus ánimos en todo momento. Gracias infinitas por su protección, cuidados y dedicación.

# ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Presentación del problema .....	1
1.2. Justificación .....	3
1.3. Alcance y limitaciones .....	3
II. OBJETIVOS .....	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos .....	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
3.1. El cultivo de uva de mesa .....	6
3.1.1. Generalidades .....	6
3.1.2. Cultivares .....	7
3.1.3. Sistemas de conducción .....	8
3.1.4. Ciclo fenológico .....	10
3.2. La oidiosis .....	11
3.2.1. Generalidades .....	11
3.2.2. Signos y síntomas.....	13
3.3. La estrategia del manejo integrado .....	16
3.3.1. Prácticas culturales que afectan el desarrollo de la enfermedad .....	16
3.3.2. La técnica de pulverización.....	17
3.3.3. El control químico.....	21
IV. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL.....	32
4.1. Experiencia en rotación de fungicidas .....	32
4.2. Experiencia en prácticas culturales oportunas y pulverizaciones .....	44
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	46
5.1. Conclusiones .....	46
5.2. Recomendaciones .....	46
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	48
VII. ANEXOS .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica de <i>Vitis vinifera</i> .....	6
Tabla 2: Características de cultivares tradicionales de uva de mesa en la zona de Ica .....	7
Tabla 3: Características de nuevos cultivares de uva de mesa en la zona de Ica .....	8
Tabla 4: Clasificación taxonómica de <i>Erysiphe necator</i> .....	11
Tabla 5: Comportamiento de <i>Erysiphe necator</i> respecto a la temperatura.....	12
Tabla 6: Comportamiento de <i>Erysiphe necator</i> respecto a la humedad .....	12
Tabla 7: Recomendaciones para configuración de pulverizador hidráulico.....	20
Tabla 8: SBI: Clases y activos representativos .....	23
Tabla 9: Lista detallada de códigos FRAC .....	26
Tabla 10: Riesgo de fungicida: Clasificación de ingredientes activos más empleados en uva de mesa .....	27
Tabla 11: Cálculo de riesgo combinado para <i>Erysiphe necator</i> en uva de mesa .....	29
Tabla 12: Recomendaciones FRAC para mezclas.....	30
Tabla 13: Lista de programas fitosanitarios analizados.....	32
Tabla 14: Caso 1: Aplicaciones realizadas durante brotación .....	33
Tabla 15: Caso 1: Aplicaciones realizadas durante floración.....	34
Tabla 16: Caso 1: Aplicaciones realizadas durante crecimiento de bayas .....	34
Tabla 17: Caso 1: Aplicaciones realizadas durante envero .....	36
Tabla 18: Caso 2: Aplicaciones realizadas durante brotación .....	37
Tabla 19: Caso 2: Aplicaciones realizadas durante floración.....	38
Tabla 20: Caso 2: Aplicaciones realizadas durante crecimiento de bayas .....	38
Tabla 21: Caso 2: Aplicaciones realizadas durante envero .....	39
Tabla 22: Caso 3: Aplicaciones realizadas durante brotación .....	40
Tabla 23: Caso 3: Aplicaciones realizadas durante floración.....	41
Tabla 24: Caso 3: Aplicaciones realizadas durante crecimiento de bayas .....	42
Tabla 25: Caso 3: Aplicaciones realizadas durante envero .....	43
Tabla 26: Resumen de casos.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas fenológicas de la uva de mesa cv. Red Globe .....	10
Figura 2: Colonias de <i>Erysiphe necator</i> sobre órganos de uva de mesa .....	14

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: FRAC Code List 2020 .....	55
Anexo 2: Pathogen Risk List (2019) .....	71

## PRESENTACIÓN

El presente ensayo se centra en el estudio del manejo integrado de *Erysiphe necator*, también conocido como oidiosis o mildiú pulverulento, en el cultivo de uva de mesa en el valle de Ica. Es relevante destacar que, las empresas agroexportadoras de la zona, se guían de una serie de parámetros y recomendaciones que evitan que esta enfermedad sobrepase el umbral de daño económico; sin embargo, se discutirán tres cuestiones que impactan directamente en el control de este fitopatógeno: La rotación efectiva de fungicidas, la importancia de las labores culturales y el impacto de una correcta calibración de la maquinaria de aplicación.

Es bien conocido que el uso recurrente de un ingrediente activo provoca una aceleración en la generación de resistencia del patógeno. Por esto, se presentarán lineamientos sugeridos por el *Fungicide Resistance Action Committee* (a partir de ahora, FRAC) para alternar moléculas con diferentes modos de acción. Asimismo, es importante evitar que se presenten condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad. Existen prácticas de cultivo que son útiles para resolver este problema; por ejemplo, un deshoje oportuno. Por último, la configuración de la maquinaria de aplicación es otro factor fundamental. Una correcta elección del volumen de agua, presión, marcha o tipo de boquilla, determinará el éxito sobre el control.

En suma, este trabajo pretende aclarar el campo de lo relacionado al manejo integrado de la oidiosis en uva de mesa, y busca ser punto de partida para investigaciones futuras en este cultivo.

## I. INTRODUCCIÓN

El control de *Erysiphe necator* en uva de mesa es una prioridad. Todas las empresas que se dedican a su producción y exportación implementan un conjunto de estrategias para reducir el impacto de esta enfermedad. Cuando sus efectos sobrepasan el umbral de daño económico, el camino común es adelantar aplicaciones o aumentar dosis de productos recientemente aplicados. Esto puede ser efectivo en ciertas ocasiones; aunque, no soluciona el problema de articular diferentes tácticas para asegurar el éxito del manejo integrado.

Es preciso mencionar que el método principal para el control de oidiosis es el químico; por tanto, el eje fundamental del manejo integrado se sostiene en el programa fitosanitario de aplicaciones. Al enfatizar en su análisis, se hace relevante preguntarse por las características de los productos a aplicar, las condiciones para la aplicación, el momento oportuno para el control de la enfermedad, la frecuencia de aplicación, la dosis de los productos y los métodos complementarios para mejorar el control.

Este trabajo examina, desde un punto de vista técnico, programas fitosanitarios que emplean empresas agroexportadoras de la zona de Ica, y que servirán al lector para profundizar las cuestiones que llevaron a su construcción, explicar las secuencias de aplicación y detectar oportunidades de mejora. Está organizado en tres bloques; en el capítulo I, se presenta el problema en cuestión, la justificación para realizar esta investigación, los alcances y objetivos; en el capítulo II, se detallan los conceptos técnicos relacionados al cultivo, enfermedad y métodos de control; por último, en el capítulo III, se examinan los programas de aplicación de acuerdo a las recomendaciones de FRAC, y se discute sobre la importancia de las labores complementarias y la maquinaria de aplicación, en base a la literatura citada y experiencia del autor.

### 1.1. Presentación del problema

La oidiosis es considerada la principal enfermedad del cultivo de vid. Se afirma que, a diferencia de la mayoría de enfermedades de *Vitis vinifera*, *Erysiphe necator* Schwein puede prosperar en ambientes y estaciones relativamente secas (Essling *et al.*, 2021). Este comportamiento explica su importancia mundial.

Álvarez (2018) afirma que “el principal problema para los productores iqueños de uva de mesa es la presencia del oídium, un hongo que se disemina con gran facilidad junto al viento”. También, menciona que la oidiosis es la más enfermedad más incidente y agresiva en Ica y, de no manejarse bien, se puede perder prácticamente el 100% del cultivo (Álvarez, 2017).

A su vez, Dry *et al.* (2019), menciona:

“La mayoría de los cultivares de vid utilizados para producción de vino, uva de mesa y frutos secos derivan de la especie *Vitis vinifera* por su aroma superior y características de sabor. Sin embargo, la especie tiene poca o ninguna resistencia genética contra las principales plagas y patógenos que atacan sus partes aéreas, incluyendo el tronco, el dosel y los racimos. Como resultado, la producción de uva depende en gran medida del uso frecuente de fungicidas y pesticidas, que tiene implicaciones significativas para su sostenibilidad económica y ambiental.” (p. 319)

Entonces, el problema radica en que la estrategia de manejo integrado se basa, principalmente, en numerosas aplicaciones químicas. Aunque sea el principal factor, se debe entender que la efectividad de los fungicidas se puede limitar en corto tiempo, principalmente, por su mal uso. En conclusión, la sostenibilidad de la producción de uva de mesa depende, en gran medida, de que el programa de aplicaciones de fungicidas obedezca una secuencia basada en criterios y recomendaciones técnicas.

Por otro lado, Lu *et al.* (2020), afirma que el manejo actual para el control de enfermedades se basa en aplicar según tiempos determinados, sin considerar la interacción compleja entre el patógeno y su hospedante, en relación con el clima local y sus variaciones. También menciona que, la pulverización excesiva es dañina y costosa, por el peligro de que los residuos de agroquímicos permanezcan en la fruta y el medio ambiente. Por último, menciona que la gestión eficaz de oidiosis de la vid requiere el desarrollo de estrategias duraderas, para ajustar los tiempos y cantidades de aplicación de fungicidas, teniendo en cuenta el efecto de la variabilidad ambiental sobre el desarrollo de enfermedades y la dispersión de patógenos.

En la zona de Ica, el número de aplicaciones dirigidas al control de la oidiosis suelen ser entre 22 y 30, dependiendo del cultivar. Esto ocasiona que algunos modos de acción empleados se repitan más de cuatro veces por campaña, lo que acarrea un aumento en la generación de resistencia por parte del patógeno. Una vez planteado un plan fitosanitario que

contenga una rotación efectiva de activos, el productor debe enfocarse en ajustar la ejecución de las labores culturales del cultivo con tal programa, de modo que, ayuden a evitar condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad; y, en calibraciones ajustadas al estado fenológico, que aseguren que la aplicación se realice de forma óptima.

## **1.2. Justificación**

De acuerdo con Walker *et al.* (2019), la uva es una de las frutas más ampliamente cultivadas y de más alto valor hortícola. La amplia mayoría de uvas cultivadas son cultivares de *Vitis vinifera*, por tener la mejor calidad de fruta. Aunque estos cultivares tienen frutos deseables, les afectan una larga lista de plagas y enfermedades.

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2021) refiere que la uva y el arándano son los primeros productos del ranking exportador y los únicos de la canasta agroexportadora que superan los US\$ 1,000 millones. En este sentido, la Asociación de Exportadores (a partir de ahora, ADEX), menciona que las exportaciones de uva de mesa crecieron en valor en un 13% en la campaña 2019-2020. Ica lideró las ventas al exterior de este producto al sumar más de US\$300,000 entre enero-octubre. Además, que fue la principal partida de los despachos no tradicionales al concentrar el 24.8% del total de estos envíos (Agencia Agraria de Noticias, 2020a, 2020b).

En ese contexto, la uva de mesa es uno de los principales cultivos de exportación del país. Por ello, se afirma que este estudio contribuirá con información técnica y práctica para los lectores, que deseen garantizar el éxito de sus resultados económicos, evitar pérdidas por fallar en el control oportuno de esta enfermedad, ampliar su panorama de conocimientos y comparar realidades similares a las de su entorno común.

## **1.3. Alcance y limitaciones**

Este trabajo está dirigido a productores, gerentes agrícolas, supervisores, profesionales, estudiantes y otros involucrados con el cultivo de la uva de mesa, que quieran ampliar sus conocimientos y visión respecto al manejo integrado de *Erysiphe necator*. Aunque la zona de estudio es Ica, puede tomarse el contenido expuesto como referencia y trasladar las experiencias a otra región productora. Además, no discrimina el cultivar, siempre que, sus características propias sean similares a las del cultivar Red Globe.

Respecto al riesgo combinado, es producto de multiplicar los valores de riesgo de patógeno, riesgo de fungicida y riesgo agronómico. Este último se estima en base a condiciones

agronómicas positivas o negativas para el desarrollo de la enfermedad, pudiendo ser bajo, medio o alto. La estimación valora, principalmente, la susceptibilidad de la planta a la enfermedad de acuerdo a su fenología, las condiciones climáticas y el estado de la canopia después de las prácticas comunes de su manejo. Por otro lado, el riesgo combinado no contempla un valor detallado por cultivar, cantidad de repeticiones del mismo fungicida y secuencias, efecto de la óptima calibración de la maquinaria, etapa del ciclo de la enfermedad, error humano, componente logístico, imprevistos, entre otros. En ese sentido, el riesgo combinado debe ser visto como un indicador relativo al efecto de una aplicación de fungicida para el control de una enfermedad, sobre una etapa fenológica específica del cultivo; además, no debería tomarse como un valor determinante para aprobar o descalificar un programa de aplicaciones, sino como un punto de partida para buscar la rotación más efectiva que se adapte a las condiciones de un campo determinado.

En este estudio se analizan tres programas de aplicaciones; y se muestra la secuencia de aplicaciones dirigidas para el control de *Erysiphe necator*. Los programas fueron ejecutados por empresas representativas de la zona de Ica, desde la temporada 2015-2016 hasta la de 2020-2021. Se determinó por etapa fenológica, el número de aplicaciones realizadas, los activos aplicados, la dosis por hectárea, los días de aplicación después de cianamida hidrogenada, el código FRAC, la categoría de riesgo de fungicida y el riesgo combinado. Por último, la secuencia de aplicaciones fue discutida de acuerdo a los criterios y recomendaciones del FRAC para rotaciones efectivas de fungicidas, uso de mezclas y manejo preventivo de la enfermedad.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Aplicar los conocimientos técnicos sobre rotación efectiva de fungicidas y control de generación de resistencias en fitopatógenos, para mejorar la construcción de programas de aplicación para *Erysiphe necator* en el cultivo de uva de mesa.

### **2.2. Objetivos específicos**

Identificar los principales ingredientes activos empleados en Ica, y relacionarlos con sus códigos FRAC y riesgo de fungicida. Además, analizar las secuencias de fungicidas en los programas de aplicación; también, entender el comportamiento de la oidiosis y comprender el efecto de realizar labores culturales oportunas. Por último, describir la importancia de la correcta calibración de equipos y estimar el riesgo combinado del programa fitosanitario.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. El cultivo de uva de mesa

##### 3.1.1. Generalidades

La vid, uva o parra, es una planta trepadora y semileñosa. Su nombre científico es *Vitis vinifera*. Su clasificación taxonómica se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1: Clasificación taxonómica de *Vitis vinifera***

Categoría	Nombre
Orden	Vitales
Familia	Vitaceae
Género	Vitis
Subgénero	Euvtis
Especie	<i>Vitis vinifera</i>

*Nota.* Elaborado a partir de Salazar y Melgarejo, 2005, como se citó en Almanza-Merchán *et al.*, 2012.

En las vides, se puede distinguir una parte enterrada formada por las raíces, y otra parte aérea conformada por el tronco, brazos, sarmientos, las hojas, frutos y zarcillos. El tronco y brazos son las partes que soportan a los sarmientos (Hidalgo, 1991).

El tronco es el eje principal de la planta y los brazos son ramas leñosas formadas en años anteriores. En cuanto a los pámpanos, son ramas herbáceas del año, que por su agostamiento se convierten en sarmientos. Estos engruesan en regiones en las que se insertan las hojas, yemas, zarcillos y racimos. A este engrosamiento se le denomina nudo, y las porciones comprendidas entre dos de estos nudos se llaman entrenudos (Hidalgo, 1991).

Por otra parte, las hojas están compuestas por un peciolo y un ensanchamiento en lámina, llamado limbo, surcado por nervaduras de diferentes órdenes. Están estrechamente relacionadas con las yemas, que son unos pequeños conos vegetativos; y, están constituidas externamente por varias escamas de color parduzco, recubiertas interiormente por abundante lanosidad. Son brotes en miniatura, ya que, contiene todos los órganos que soporta un pámpano (Zoffoli y Latorre, 2011).

El racimo está compuesto por raquis y bayas. El raquis tiene un eje herbáceo principal y otros dos prominentes (conocidos como hombros), con tres o cuatro pequeñas ramificaciones adicionales. Los racimos están unidos a la planta por el pedúnculo y cada baya está unida al racimo por un pedicelo (Zoffoli y Latorre, 2011).

Por último, la fruta es una baya, producida a partir de un ovario único. Cada una puede contener dos semillas, o trazas de estas en cultivares estenospermocárpicos. Las bayas se desarrollan como parte de la inflorescencia del racimo.

### 3.1.2. Cultivares

*Vitis vinifera* tiene miles de cultivares y muchos están específicamente adaptados a la amplia gama de climas en los que se cultivan (Walker *et al.*, 2019). Uno de los cultivares más importantes es ‘Red Globe’. Es una uva de mesa roja, de gran tamaño y con semillas, muy popular en los mercados asiático y europeo. Posee textura crujiente, sabor delicado, dulzor suave y color de bayas rojo rosado (Alenazi *et al.*, 2019).

Otros cultivares importantes son ‘Flame Seedless’, ‘Superior Seedless’, ‘Sugraone’, ‘Crimson Seedless’ y ‘Thompson Seedless’, que destacaron hace algunos años (Tabla 2). Sin embargo, las nuevas tendencias del consumo abrieron camino para la siembra de nuevas variedades. Actualmente, en la zona de Ica está ocurriendo un recambio varietal. Estas se caracterizan por tener bayas de gran calibre, ser vigorosas y no tener semillas; por ejemplo, ‘Ivory’, ‘Allison’, ‘Timco’, ‘Jack’s Salute’, ‘Sweet Globe’, ‘Sweet Sapphire’, ‘Sweet Celebration’, ‘Arra 15’, ‘Midnight Beauty’, entre otras (Tabla 3).

**Tabla 2: Características de cultivares tradicionales de uva de mesa en la zona de Ica**

Denominación	Color de baya	Tamaño de racimo	Vigor
‘Red Globe’	Roja	Grande	Medio
‘Flame Seedless’	Roja	Mediano	Alto
‘Superior Seedless’	Blanca	Grande	Alto
‘Sugraone’	Verde claro a verde amarillento	Mediano a grande	Alto
‘Crimson Seedless’	Rojo brillante	Mediano a grande	Alto
‘Thompson Seedless’	Verde	Grande	Alto

*Nota.* Elaborado a partir de Torres, 2017.

Respecto a la innovación genética, las tendencias actuales indican una preferencia por el consumo de uvas de mesa sin semilla. Alston y Sambucci (2019), manifiestan que la demanda de innovación genética dependerá del consumidor final. De ese modo, los

productores seguirán requiriendo cultivares de vástagos y portainjertos que produzcan fruta con mejores atributos agronómicos y de calidad superior.

**Tabla 3: Características de nuevos cultivares de uva de mesa en la zona de Ica**

Denominación	Color de baya	Comentario	Genetista
‘Ivory’	Verde	Altamente vigorosa, sabor dulce neutral, racimos grandes	SNFL
‘Allison’	Roja	Bayas extra grandes (más de 22 mm), de racimos grandes, vigor medio a alto	SNFL
‘Timco’	Roja clara	De vigor medio, racimos de tamaño grande, bayas de gran tamaño	SNFL
‘Jack’s Salute’	Roja	Productividad media, racimos medianos, de bayas grandes	IFG
‘Sweet Globe’	Verde claro	Similar a Red Globe, Bayas de buen sabor y baja acidez, altamente productiva	IFG
‘Sweet Sapphire’	Negro	De bayas largas, presenta buen almacenamiento, no se desgrana	IFG
‘Sweet Celebration’	Roja brillante	Bayas ovaladas, productividad alta y racimos medianos	IFG
‘Arra 15’	Verde	Alta fertilidad de yemas, bayas de gran calibre, largo almacenamiento	GRAPA
‘Midnight Beauty’	Negra	De bayas medianas a grandes, de sabor neutral y baja acidez	Sun World

*Nota.* La tabla muestra algunos cultivares nuevos, del total de sembrados en la zona de Ica.

Las proyecciones apuntan a un aumento progresivo de la participación de nuevas variedades debido a las características que entregarían estos materiales en términos de alto rendimiento, fácil manejo, baja utilización de mano de obra, menores aplicaciones fitosanitarias y reguladores de crecimiento. Este interés también pasa por los requerimientos de la industria de contar con más opciones de variedades capaces de llegar con mejor calidad a mercados cada vez más lejanos (Torres, 2017).

### 3.1.3. Sistemas de conducción

#### Parrón español

Es un sistema que conduce el follaje de la planta en forma horizontal. Proporciona mayor superficie foliar expuesta a la luz solar, con lo cual se logra tener una mayor capacidad

fotosintética. La estructura del parrón está constituida por cabezales (postes que van en los extremos de las hileras) y esquineros (postes que van en las esquinas del cuartel). En el contorno de cada cuartel se encuentra una cadena de alambre, de dos a tres hebras, la cual une los esquineros y cabezales. En el interior del cuartel van los rodrigones (postes en cada planta), los cuales se unen a los cabezales de cada hilera por medio de una hebra de alambre acerado llamada maestra, la que se encuentra a una altura de 2 metros sobre el terreno; por lo tanto, cada rodrigón se encuentra unido a 4 cabezales por medio de las maestras. En relación a la estructura que le da soporte tanto a los brotes como a la fruta, se encuentra el enmallado o enrejado, que consiste en alambres galvanizados que van dispuestos a lo largo y de forma transversal a las hileras, separados a 50-60 cm unos de otros (Muñoz y Mueña, 2017).

La formación de la planta en este sistema, se realiza conduciendo el brote principal por el rodrigón, y una vez que sobrepasa 5-10 cm sobre la maestra se decapita bajo ella, para inducir el desarrollo de brotes laterales, los cuales darán origen a los brazos (estructuras permanentes).

En relación a las ventajas, Muñoz y Mueña (2017) indican que con este sistema se logra una adecuada expresión del vigor natural de las variedades. El mayor tamaño que logra tanto el tronco como los brazos permite una mejor acumulación de reservas, lo que favorece un buen crecimiento y producción. Los racimos quedan expuestos, lo que facilita las aplicaciones de pesticidas y reguladores de crecimiento, el paso de la maquinaria y una adecuada cobertura del follaje a la fruta.

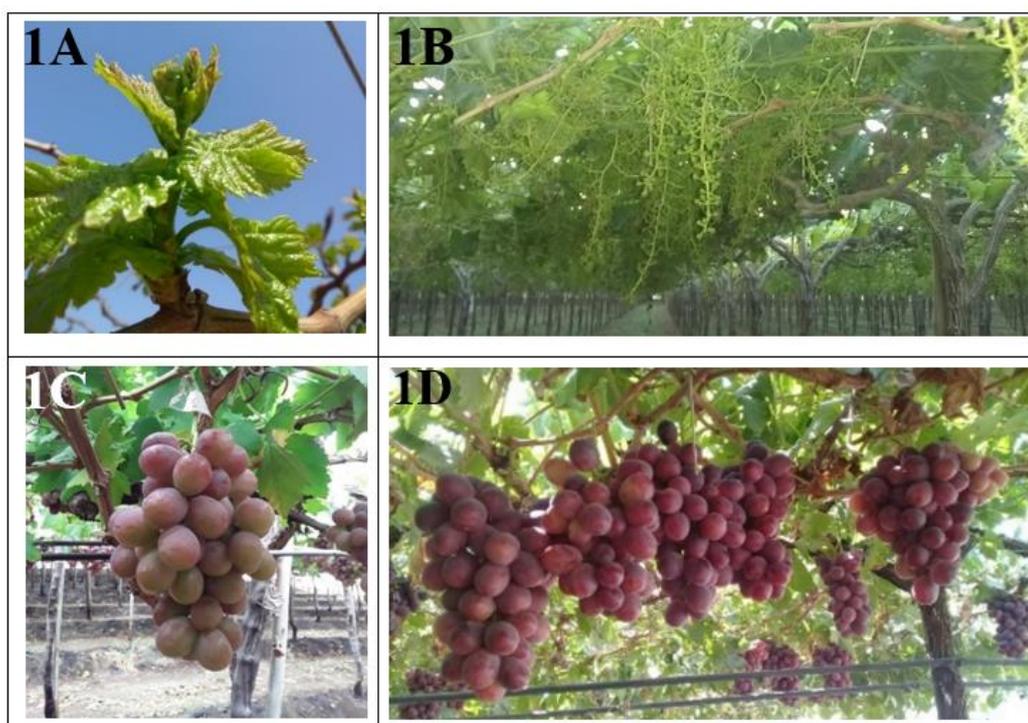
Las desventajas que presenta el parrón español están relacionadas a un costo superior de su construcción y su complejidad. En relación a la adecuada exposición que presenta el follaje a la luz, se beneficia a la capa superior de hojas; en cambio, las capas que quedan por debajo de ella reciben menor cantidad de luz. Cuando existe excesivo follaje se favorece el desarrollo de enfermedades fungosas al disminuir la ventilación. Al mismo tiempo, este sombreamiento puede afectar la fructificación de las yemas debido a la falta de luz. Dada la altura del parrón, el periodo de formación de la planta es más largo que en otros sistemas de menor altura, lo que hace que su periodo improductivo sea más largo. La altura de trabajo dificulta las labores manuales en la planta, lo que hace necesario el uso de un caballete, lo que a su vez aumenta el riesgo de accidente para los operarios (Muñoz y Mueña, 2017).

### ***Open gable***

Este sistema presenta hileras independientes, con crucetas de ángulos de apertura variables. Este permite disminuir la altura de trabajo, lo que hace que las labores se puedan realizar de una forma más eficiente y segura. Por otro lado, permite aumentar la densidad de plantas y acortar el periodo de entrada en producción (Muñoz y Muena, 2017).

#### **3.1.4. Ciclo fenológico**

Champagnol (1984) indica que los eventos más importantes de la fenología de la vid son la brotación, la antesis, el envero y la cosecha (Figura 1). Por otro lado, Jones y Davis (2000) mencionan que el tiempo entre estos estados fenológicos varía notoriamente con el cultivar, clima y localización geográfica; además, que las etapas de desarrollo más importantes son la brotación, donde empiezan a expandirse y desarrollarse las yemas, dando lugar al brote; floración, donde se expanden los racimos y se da la antesis; envero, que indica el inicio de maduración de bayas, percibido por el cambio de coloración en variedades de color; y cosecha, cuando el estado de madurez se completa. En la zona de Ica, el cultivar Red Globe expresa, aproximadamente, brotación entre los 25 y 35 días después de la aplicación de cianamida hidrogenada (a partir de ahora, DDC), plena floración a los 70 DCC, envero entre los 140 y 150 DDC y madurez completa entre 180 y 200 DDC.



**Figura 1: Etapas fenológicas de la uva de mesa cv. Red Globe**

*Nota.* 1A, brotación; 1B, floración; 1C, envero; 1D, cosecha.

## 3.2. La oidiosis

### 3.2.1. Generalidades

Las enfermedades más comunes e importantes que afectan a la vid son causadas por hongos y, de estas, la oidiosis representa una de las de mayor consideración en las regiones productoras de vino y uva de mesa. El agente que la causa es el hongo biotrófico *Erysiphe necator* Schwein [syn. *Uncinula necator* (Schw.) Burr.] (Gadoury *et al.*, 2012). Se clasifica taxonómicamente en la familia Erysiphaceae (Tabla 4).

El patógeno es un parásito obligado que afecta a las especies de la familia Vitaceae, específicamente, a plantas de los géneros *Vitis*, *Cissus*, *Parthenocissus* y *Ampelopsis* (Pearson y Gadoury, 1992, como se citó en Gadoury *et al.*, 2012).

Producen micelio, con paredes que contiene glucano y quitina; además, no tienen cloroplastos; también, producen células sexuales llamadas ascosporas, dentro de una estructura conocida como asca. Se caracteriza por tener ascas en cuerpos completamente cerrados (cleistotecios). Su micelio, conidias, y cleistotecio se desarrollan sobre la superficie de la planta hospedante (Agrios, 2004).

**Tabla 4: Clasificación taxonómica de *Erysiphe necator***

Categoría	Nombre
Reino	Fungi
División	Ascomycota
Orden	Erysiphales
Familia	Erysiphaceae
Género	<i>Erysiphe</i>
Especie	<i>Erysiphe necator</i>

*Nota.* Elaborado a partir de Agrios, 2004.

Agrios (2004) menciona que es un parásito obligado. Este hongo produce un micelio que sólo se desarrolla sobre la superficie de los tejidos de la planta, sin que los invadan. Obtiene los nutrientes de la planta al enviar sus haustorios hacia las células epidérmicas de los órganos de la planta. El micelio produce conidióforos cortos sobre la superficie de los tejidos y estos, producen cadenas de conidios ovoides que son diseminados por el viento. También, indica que la oidiosis es mucho más virulenta en climas cálidos y secos. Esto se debe a que sus esporas, cuando son liberadas, germinan y producen infecciones, incluso cuando la humedad relativa de la atmósfera no es demasiado alta. Asimismo, una vez que se ha

producido la infección, el micelio del hongo continúa propagándose sobre la superficie de la planta sin importar las condiciones de humedad. Se describe su comportamiento respecto a la temperatura y humedad en la Tabla 5 y Tabla 6.

**Tabla 5: Comportamiento de *Erysiphe necator* respecto a la temperatura**

Temperatura	Comportamiento
23 °C – 30 °C	El micelio crece y esporula rápidamente
26 °C	Crecimiento óptimo
Menos de 6 °C y más de 32 °C	Desarrollo limitado
Menos de 5 °C y más de 31 °C	Inhibición de la infección primaria
De 35 °C a más	Inhibición de germinación de conidias
40 °C	Muerte del patógeno

*Nota.* Elaborado a partir de Delp (1954) y Carisse *et al.*, (2009).

Por otro lado, Gadoury *et al.* (2011), menciona que la sobrevivencia de las colonias es común dentro de la canopia, lo que asegura el reinicio del desarrollo cuando las temperaturas sean favorables. Agrega que las lesiones primarias se pueden observar a partir de los 6 días después de la infección, y los ciclos secundarios se pueden dar entre 5 y 7 días. A su vez, Lu *et al.* (2020) enuncia que la germinación de las ascosporas requiere agua libre o alta humedad relativa, y que, a diferencia de las ascosporas, los conidios no necesitan agua para la germinación. Su germinación está controlada por temperatura, humedad relativa e intensidad de luz.

**Tabla 6: Comportamiento de *Erysiphe necator* respecto a la humedad**

Humedad relativa	Comportamiento
40% - 100% (20-25 °C, 4 h)	Alta germinación de conidias
Menor de 40%	Baja germinación de conidias
100% (20 °C)	Germinación óptima de ascosporas
85%	Máxima incidencia y severidad

*Nota.* Una mínima velocidad de viento de 2,3 m/s provoca la dispersión de conidias. Elaborado a partir de Carisse *et al.*, 2009.

*Erysiphe necator* tiene el potencial de infectar la vid a lo largo de toda la campaña. Aunque todas las partes en crecimiento pueden ser infectadas, la susceptibilidad de los órganos cambia según la época. Las flores y bayas son altamente susceptibles a las infecciones desde la formación de la flor, durante el cuajado, hasta que las bayas alcancen 8 °Brix (para el inicio de la infección), y hasta 15 °Brix (infección en colonias ya establecidas). Las hojas

jóvenes y en proceso de expansión son más susceptibles a las infecciones que las hojas maduras; el raquis y pedicelos de la fruta, peciolo de las hojas y brotes son susceptibles durante toda la temporada (Gadoury *et al.*, 2003).

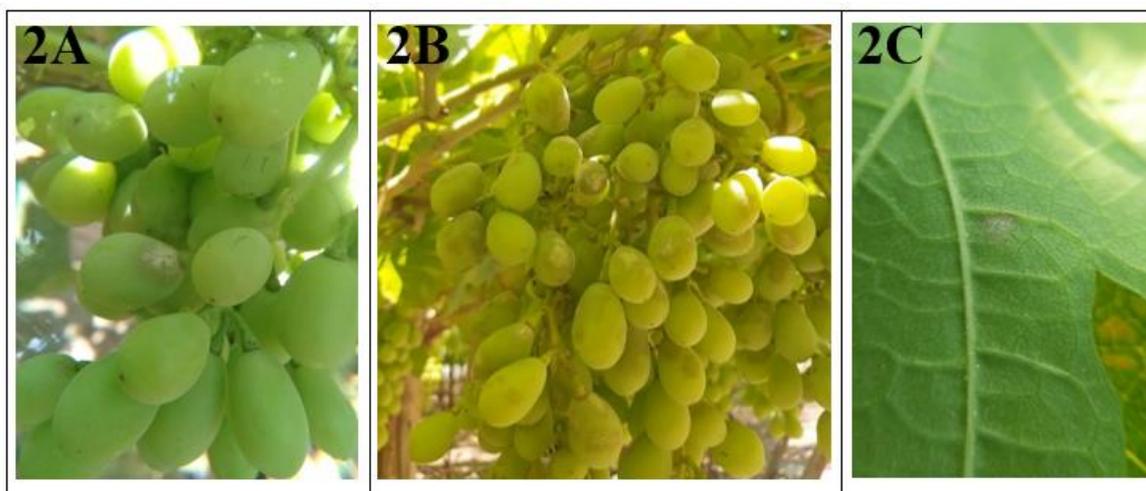
Las complejas interacciones entre el patógeno y el hospedero, influenciadas por el clima, impulsan la tasa de desarrollo de la oidiosis y la gravedad de su impacto. Un factor importante es la resistencia ontogénica (que se adquiere según la etapa de crecimiento); otro factor es la genética del cultivo, que influye en la susceptibilidad a esta enfermedad. Además, las prácticas culturales pueden favorecer el vigor vegetativo y predisponer al hospedador a un mayor desarrollo de la enfermedad (Gadoury *et al.*, 2003). Respecto al vigor, también puede modificar la resistencia ontogénica de las hojas, retrasando etapas fenológicas de la vida como el envero y la cosecha, o alargando la duración de los períodos de floración, cuajado o cierre de racimos (Valdés-Gómez *et al.*, 2011).

Varios factores explican la relación positiva entre el desarrollo de *Erysiphe necator* y el vigor vegetativo de la uva. Primero, un número mayor de hojas por planta (Gadoury *et al.*, 2001). Segundo, periodos de susceptibilidad de los órganos afectados; por ejemplo, las bayas son muy sensibles a las infecciones entre el cuajado y cierre de racimos, las hojas jóvenes son muy susceptibles y se tornan más resistentes cuando crecen, por tanto, cualquier proceso que desacelere el proceso de maduración de los órganos podría incrementar la susceptibilidad de la planta a la enfermedad (Doster y Schnathorst, 1985). Tercero, cambios favorables en las propiedades de los tejidos, por ejemplo, cambios estructurales (formación de epidermis suberizadas, necrosis celular, etc.) o cambios físicos y químicos (síntesis de proteínas y otros compuestos, cambios en el potencial osmótico celular, etc.) (Pellegrino *et al.*, 2005). Por último, condiciones microclimáticas favorables, es decir, una canopia densa y pobremente iluminada favorece el desarrollo de la enfermedad (Pellegrino *et al.*, 2005).

### **3.2.2. Signos y síntomas**

Según Sepúlveda (2017), los daños son más severos en climas secos y cálidos, ya que el hongo no necesita agua libre sobre la superficie del tejido verde para que ocurra la infección. Sólo requiere que la humedad relativa del aire sea alta para que la germinación de las conidias ocurra y bajo condiciones favorables repita su ciclo de vida, lo que ocurre aproximadamente una vez por semana. Por otro lado, las conidias son bastante sensibles a la luz directa del sol, por lo que las lesiones tienden a producirse en la cara inferior de las hojas expuestas. En el caso de hojas sombreadas, las lesiones se manifiestan a ambos lados de la

hoja. Además, inicialmente en la superficie de las hojas aparecen manchas de coloración blanca. Estas corresponden al signo, es decir, la visualización del hongo sobre el hospedero. A simple vista, los signos son las colonias de oídio que resultan de la infección. Todos los tejidos verdes pueden ser infectados (Figura 2). Normalmente, colonias de ascosporas son encontradas en la superficie inferior de las primeras hojas formadas cerca de la corteza de la vid, y suele ser acompañada por una mancha clorótica de similar forma en la superficie superior. Además, las colonias jóvenes aparecen blanquecinas y, las que aún no han esporulado, muestran un brillo metálico. Estas son aproximadamente circulares, varían en tamaño y pueden ocurrir individualmente o en grupos, que se fusionan para cubrir gran parte de la hoja. Las colonias senescentes son grisáceas y pueden presentar cleistotecios en varias etapas de desarrollo (Gadoury *et al.*, 2012).



**Figura 2: Colonias de *Erysiphe necator* sobre órganos de uva de mesa**

*Nota.* 2A, Baya infectada; 2B, Bayas y raquis infectados; 2C, Inicio de esporulación en hoja.

Las células epidérmicas muertas, a menudo, subsisten el área colonizada, por la mortalidad natural en la colonia de oídio, el uso de fungicidas, micoparásitos o respuestas de resistencia en la hoja que resultan en la muerte de parte de estas, y de células epidérmicas infectadas. Las hojas severamente afectadas generalmente envejecen, desarrollan manchas necróticas y caen prematuramente. La infección de los tallos, inicialmente, produce síntomas similares a los de las hojas, pero las colonias en los brotes eventualmente mueren a medida que se forma el peridermo, produciendo una cicatriz oscura en forma de red en el sarmiento (Gadoury *et al.*, 2011, como se citó en Gadoury *et al.*, 2012).

Las inflorescencias y bayas son más susceptibles cuando son jóvenes. El crecimiento de los tejidos epidérmicos de las bayas se detiene severamente cuando son infectadas, lo que puede

resultar en partiduras cuando se expanden. Por otro lado, las bayas en una etapa de transición entre susceptibles y resistentes desarrollan colonias difusas de oídio no esporulantes. Estas mueren a medida que las bayas continúan madurando, dejando una red de células epidérmicas necróticas (Gadoury, 2007, como se citó en Gadoury *et al.*, 2012).

El daño principal se produce sobre el fruto, el cual puede ser completamente cubierto por la enfermedad. También se evidencian daños en el raquis, afectando la comercialización de la fruta. La presencia del hongo sobre la flor puede disminuir el tamaño de las bayas y su contenido de azúcar e incluso no permitir su desarrollo. (Sepúlveda, 2017).

### **Fuentes primarias y secundarias**

Según Deliere *et al.* (2010), se consideran fuentes primarias de infección a las ascosporas liberadas que invernan en la corteza de la vid y nuevos brotes colonizados por el micelio en reposo. Las infecciones secundarias ocurren a partir de las nuevas generaciones. Las hojas colonizadas proporcionan una fuente de infección para el desarrollo de las bayas, pero estas últimas solo son susceptibles durante un período relativamente corto. Los estudios han demostrado que la alta gravedad de la enfermedad se asocia con una infección temprana como resultado de una fuerte resistencia ontogénica en hojas y racimos (Gadoury *et al.*, 2003). Por otro lado, la fase asexual o anamorfa sobrevive como micelio latente en yemas infectadas durante la temporada anterior, que al brotar pueden afectar los brotes. La importancia relativa de la fase sexual en Chile no está claramente identificada. (Sepúlveda, 2017). Respecto a esto, en Ica también se desconoce la importancia de la fase sexual del hongo.

### **Métodos de detección**

Según Carisse *et al.* (2009), la gravedad y el tiempo de aparición de la enfermedad varían mucho de un año a otro y, por lo tanto, es posible que no se requiera la aplicación rutinaria de fungicidas todos los años. Por otro lado, modelos de detección desarrollados en California y Nueva York fueron evaluados bajo las condiciones ambientales de Quebec. Ambos modelos sobreestimaron el riesgo de oidiosis y dieron lugar a programas de pulverización de fungicidas similares al programa estándar de aspersión de intervalo fijo utilizado por la mayoría de los cultivadores.

Por otro lado, para mantener el cultivo libre de enfermedades, los viticultores suelen emplear numerosas aplicaciones de fungicidas durante la campaña de producción, combinando las

prácticas de control cultural para mejorar la eficiencia de las aplicaciones. Existen presiones políticas y económicas a nivel global para reducir el uso de agroquímicos, con la misión de seguir obteniendo fruta de alta calidad en un ambiente cambiante. Adicionalmente, la aparición de tendencias de uso más ambientalmente amigables (como el uso de productos biológicos y orgánicos) promovieron el incremento en uso de aceites minerales y azufre. El uso incrementado de fungicidas con movilidad y persistencia limitada generan un espacio para la investigación del momento correcto de aplicación. La dicotomía entre la reducción de agroquímicos manteniendo o aumentando la calidad de fruta, crea la oportunidad para optimizar y ajustar el momento exacto para la aplicación de un fungicida. Generalmente, los productores han realizado sus aplicaciones basadas en un calendario o utilizando programas de pronóstico de enfermedades (como el *UC Davis Risk Index*). Existen numerosos esfuerzos por mejorar los modelos de pronóstico, para reducir la frecuencia de aplicaciones; sin embargo, los modelos hacen varias asunciones acerca de madurez de las esporas y la cantidad de inóculo primario, por eso mismo, generan inconsistencias e inexactitudes en los resultados.

### **3.3. La estrategia del manejo integrado**

#### **3.3.1. Prácticas culturales que afectan el desarrollo de la enfermedad**

##### **Poda en verde**

Se orienta a despejar y aclarar las zonas productivas de la planta de manera de generar una mayor entrada de luz para una adecuada maduración de la fruta. Esta poda además genera una fluida aireación dentro de la planta disminuyendo las condiciones para la proliferación de enfermedades fungosas. Esta actividad puede contemplar la eliminación de sarmientos completos, despunte de brotes o deshoje (Torres, 2017).

Son realizadas para controlar el desarrollo de la planta, los principales objetivos son maximizar captación de luz, controlar la cantidad de yemas, regular la producción de uva, generar un microclima desfavorable para patógenos y controlar calidad del fruto (SENASA, 2020). Las actividades más usuales son; primero, el aclareo de brotes, donde se eliminan los brotes tiernos que salen de la madera vieja; segundo, el deshojado, donde se eliminan hojas para mejorar la iluminación y la aireación; tercero, el despunte, que consiste en la eliminación de algunos brotes extremos para lograr frutos de mejor calidad y homogeneizar la producción; por último, el desnietado, donde se eliminan brotes laterales que salen en los sarmientos.

## **Raleo**

Consiste en la eliminación de algunos racimos y bayas, lográndose mejorar la calidad de la fruta, evitar el atraso de la madurez de la fruta y aumentar la uniformidad de cosecha. Esta práctica evita que el racimo esté sobrecargado, con frutos de forma y tamaño irregular, generando microclimas favorables para el desarrollo de la oidiosis. Es recomendable la eliminación de racimos en etapas iniciales de maduración de frutos para que los nutrientes se concentren en los racimos que van a quedar en la planta y que van a ser cosechados (SENASA, 2020).

### **3.3.2. La técnica de pulverización**

El método consiste en someter un líquido a presión, para hacerlo atravesar una boquilla que lo pone en contacto con la atmósfera; entonces, se produce una pulverización con gotas cuyo tamaño depende de la presión utilizada y del diámetro del orificio de salida. Cambiado el diámetro, la forma de este orificio y la presión del líquido se pueden conseguir gotas de diferentes dimensiones y dar salida al líquido con caudales variables en un amplio rango.

Con este sistema, las gotas reciben una cantidad de energía cinética que les permite alcanzar por sí solas a la canopia. Las gotas alcanzan una velocidad que les puede permitir llegar al cultivo manteniendo una energía residual suficiente para penetrar en el interior del follaje. A mayor presión, mayor velocidad de salida y superior energía cinética en el líquido; sin embargo, cada gota se desplaza individualmente y su trayectoria está regida por las leyes que explican el comportamiento de un proyectil en la atmósfera. Cuando las gotas son muy finas, aunque salgan lanzadas a gran velocidad, la deceleración que les produce el aire puede ser considerable para no llegar a la parte aérea de la planta (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2013).

En general, se le da mayor importancia al producto a ser utilizado en el control, y menos en la forma de su uso en el campo. En el momento en que las plantas alcanzan gran desarrollo vegetativo, las aplicaciones de agroquímicos requieren una mayor cobertura y penetración en el dosel de la planta, incluso para productos con características de acción sistémica (Gil, 2000).

Una de las formas de obtener una buena deposición de agroquímicos es la elección correcta de la boquilla de aplicación. Las boquillas de pulverización son los componentes más significativos de los pulverizadores (Rodrigues da Cunha y Manssano Peres, 2010). Actualmente, hay de diferentes tipos, que dan una variedad de opciones para asegurar la cobertura del objetivo.

Otro factor importante en la aplicación es el volumen o cantidad de producto utilizado. La aplicación correcta tiene como objetivo de colocar el plaguicida en un determinado blanco biológico de la manera más eficiente posible. En el pasado, esto solo podía suceder cuando se realizaba una aplicación con altos volúmenes de agua; sin embargo, ese concepto ha ido cambiando, porque esta condición puede provocar la pérdida de producto, además de sobrecargar la aplicación (Rodrigues da Cunha y Guoveia Pereira, 2009).

La pulverización debe poder entregar gotas con buena capacidad de penetración y cobertura de la masa foliar, incluso para la aplicación de fungicidas sistémicos, dado que, cuanto menor sea la gota, mayor será el riesgo de deriva; y si la gota es muy grande, la planta puede tener dificultad en relación a la retención y absorción. Otra forma de mejorar también la eficiencia de las aplicaciones, es la adición de coadyuvantes al caldo de aplicación. Estos actúan promoviendo mejoras en la adherencia, dispersión, reducción de espuma y en la penetración de las gotas. Los beneficios resultan en un aumento de la absorción del ingrediente activo, mayor retención y persistencia en la planta (Sasaki *et al.*, 2013).

Cuando las gotas del aerosol llegan a las hojas, pueden ser retenidas, reflejadas o fragmentadas en gotas más pequeñas, dependiendo principalmente de su tamaño, velocidad, propiedades fisicoquímicas y características de la superficie de la hoja. Las propiedades intrínsecas de las gotas están estrechamente relacionadas con los componentes de la formulación, destacando la cantidad de adyuvantes en la composición del agroquímico (Rodrigues da Cunha y Manssano Peres, 2010).

En este contexto, la mayor parte del tiempo hay mucha importancia para el producto fitosanitario a aplicar y poca atención a la tecnología de aplicaciones. Además de conocer el producto a aplicar, también es necesario dominar la forma de aplicación adecuada, con el fin de asegurarse de que el producto alcance el objetivo de manera eficiente, minimizando las pérdidas y reduciendo la contaminación.

Según Sasaki *et al.* (2013), la elección y el uso adecuado de boquillas es fundamental para mejorar las condiciones de aplicación de agroquímicos. También menciona que la selección apropiada de boquillas es el principal factor determinante de la cantidad de producto aplicado, uniformidad de aplicación, cobertura obtenida y el riesgo potencial de deriva.

Otra variable importante en la aplicación es el volumen de agua considerado. Respecto a esto, existe una tendencia a reducir este volumen, con el objetivo de reducir los costes de aplicación y aumentar la eficiencia de la pulverización. El uso de un volumen menor aumenta

la autonomía y la capacidad operativa de los pulverizadores; sin embargo, requiere una mejora en la tecnología de la aplicación. La efectividad del tratamiento depende no solo de la cantidad de material depositado sobre la vegetación, sino también la uniformidad de cobertura del objetivo. En general, la deposición es inferior en las partes inferiores e interiores del dosel. Este desnivel proporciona baja eficacia en el control de oidiosis, principalmente, en el caso de fungicidas que requieren cobertura uniforme de toda la planta. Este problema se acentúa en aplicaciones donde se utilizan boquillas de chorro plano que, en general, producen menos cantidad de gotas por área y menos turbulencia que las boquillas de cono vacío (Rodrigues da Cunha y Guoveia Pereira, 2009).

A su vez, Sasaki *et al.* (2013), afirma que la labor de una pulverización es una tarea compleja, que pese a ser una práctica habitual y periódica en muchos huertos, puede carecer de eficiencia y presentar irregularidades en su uso, reduciendo el control, aumentando los costos y contaminación medioambiental. Actualmente, un gran número de productores agrícolas no saben con exactitud todos los parámetros que deben considerar para lograr resultados eficientes en la aplicación de un producto, desconociendo la estrecha relación entre el equipo pulverizador, el cultivo, el plaguicida, las condiciones climáticas y el organismo a controlar (Thiessen *et al.*, 2017).

Entre los principales problemas asociados al uso de plaguicidas destacan la resistencia de organismos a un ingrediente activo; la baja eficiencia de control por aplicaciones en momentos inapropiados; elevados volúmenes de aplicación sin considerar el tipo de maquinaria; la condición del cultivo y el tipo de tratamiento; por último, intoxicación de aplicadores y trabajadores agrícolas. Todos estos factores son el reflejo del desconocimiento de quienes utilizan los plaguicidas y de la ausencia de aspectos legales que ayuden a la eficiencia del uso de estas sustancias, como mejoramiento de la información de etiquetas de plaguicidas, incorporación de inspecciones obligatorias de equipos de aplicación, entre otros (Quiroz Escobar *et al.*, 2016).

Por último, las condiciones climáticas o ambientales son fundamentales para determinar la efectividad de las aplicaciones. Pulverizar en condiciones desfavorables, aumenta las pérdidas por evaporación y deriva en contaminación ambiental. Los principales factores ambientales son el viento, humedad relativa y temperatura. Se recomienda que las aplicaciones no se realicen cuando el viento sobrepase los 6,5 km/h, la humedad relativa sea inferior al 40% y la temperatura sea mayor a 25 °C. Cuando no se consideran las condiciones

climáticas, las pérdidas por estos tres factores puede alcanzar hasta un 30% del volumen aplicado (Gil, 2000).

### **Cálculo del volumen de aplicación**

Una de las técnicas más utilizadas y sencillas para estimar el volumen de aplicación es el método TRV (por sus siglas en inglés, *Tree Row Volume*). Para ello, se debe considerar el follaje de las plantas como una caja rectangular que se extiende por la hilera, donde su volumen se estima estableciendo el espesor del follaje (EDF), su ancho (ADF) y la distancia entre las hileras (DEH), todas las dimensiones expresadas en metros (Gil, 2000). El modelo utiliza tres parámetros; aun así, es bastante simple y de aplicación práctica en varios países. Evidencia experimental mostró que con este método era posible un ahorro promedio de pesticidas del 15% al 50%, mientras que la eficacia del control de plagas fue en general similar, o incluso superior, en comparación con los métodos estándar de aplicación (Rüegg *et al.*, 1999).

Diferentes métodos han sido desarrollados para resolver el problema de ajustar el volumen de aplicación; sin embargo, el método TRV es el que más se ha ajustado a los huertos de vid (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2013). Además, ha mostrado buenos resultados frente a la reducción de variabilidad en la deposición de pulverizaciones; sin embargo, el método podría no asegurar el depósito en cultivos con copias altamente densas, por ejemplo, en cítricos (Rüegg *et al.*, 1999). Por otro lado, existen métodos como el LWA (por sus siglas en inglés, *Leaf Wall Area*), que se ajustan mejor a conducciones especiales (como los huertos con espaldares verticales) y a otros cultivos (Pergher y Petris, 2008).

### **Calibración de la maquinaria de aplicación**

Son variadas las configuraciones posibles para una pulverización. Según Walklate *et al.*, (2003) y Shigueaki *et al.*, (2011), la configuración recomendada de un pulverizador hidráulico que tiene como objetivo el control de oidiosis en el cultivo de vid, con sistema de conducción de parrón español es la mostrada en la Tabla 7.

**Tabla 7: Recomendaciones para configuración de pulverizador hidráulico**

<b>Elemento</b>	<b>Condición recomendada</b>
Tractor	Potencia igual o superior a 75 HP; con capacidad de generar entre 450 y 540 RPM a la toma de fuerza
Agitador	Capacidad de agitación constante durante toda la aplicación

Elemento	Condición recomendada
Boquillas	Simetría entre el lado izquierda y derecho; uso del tipo cono vacío; caudales de 1 L/min a 3,5 L/min a 10 bar
Velocidad de avance	Entre 4,5 y 5,5 km/h
Presión de trabajo	Entre 7 y 14 bar

*Nota.* Elaborado a partir de Walklate *et al.*, (2003) y Shigueaki *et al.*, (2011).

### 3.3.3. El control químico

Los fungicidas se han utilizado durante más de 200 años para proteger las plantas contra el ataque de enfermedades por hongos. La gama de productos químicos disponibles, el área, la frecuencia de uso y la eficacia de los tratamientos aumentaron enormemente desde la década del 50; incluso, varios fungicidas de "mediana edad" (como las ftalimidias, ditiocarbamatos, dinitrofenoles o clorofenilos) se vienen empleando de manera constante desde hace más de 40 años (Brent y Hollomon, 2007a).

Un gran número de fungicidas más potentes, de moderna estructura y con actividad sistémica, fueron introducidos a finales de los sesenta y setenta. Estos incluyeron ingredientes activos del grupo de las 2-amino-pirimidinas, benzimidazoles, carboxanilidas, fosforotiolatos, morfolinias, dicarboximidias, fenilamidias e inhibidores de la desmetilación de esteroides (también conocidos como fungicidas DMI). Durante la década del 80 se introdujeron varios análogos de los fungicidas existentes, principalmente de los DMI, con propiedades similares y mejoradas. En las últimas décadas se lanzaron comercialmente varios compuestos nuevos: fenilpirroles, anilino-pirimidinas, inhibidores externos de quinonas, benzamidias y amidias de ácido carboxílico. Por otro lado, los fungicidas más modernos se utilizan generalmente en cantidades relativamente pequeñas, debido a su acción más potente contra fitopatógenos. Sin embargo, sus márgenes de seguridad para mamíferos y otros organismos no objetivo a menudo son mayores (Brent y Hollomon, 2007b).

La fumigación ha sido el método principal de aplicación de fungicidas. La reducción del volumen de pulverización y el desarrollo de formulaciones más estables y seguras, son algunos de los avances más significativos que se han realizado en tecnología de aplicación (Rossi *et al.*, 2020).

A nivel mundial, la mitad de las enfermedades de los cultivos requieren tratamiento solo una o dos veces por temporada; sin embargo, el resto requiere tres o más aplicaciones. Debido a

esto, los sistemas de manejo integrado han sido adoptados en diferentes cultivos (Brent y Hollomon, 2007b).

### **El fenómeno de la resistencia**

Se habla de “resistencia” cuando las poblaciones del patógeno no son suficientemente sensibles al efecto de una aplicación de un fungicida en específico, y pueden crecer con normalidad. Suele ocurrir como respuesta al uso repetitivo de un fungicida, o al uso constante de otro fungicida con similar modo de acción. Algunos prefieren llamar a este fenómeno como “insensibilidad” o “tolerancia” (Delp, 1954).

Una vez que ocurre, es heredable. Esta capacidad adquirida resulta de uno o más cambios en la constitución genética de la población del patógeno. Estas mutaciones se generan espontáneamente y a baja frecuencia, tal que aumenta su ocurrencia cuando el patógeno es expuesto numerosas veces a un fungicida o una clase de fungicidas (Deliere *et al.*, 2010).

Por otro lado, el fenómeno de la “resistencia cruzada” ocurre cuando la aplicación de un fungicida no es efectiva contra un patógeno que tiene resistencia conocida a otro fungicida. Esto sucede por tener una estructura similar, o el mismo modo de acción de los fungicidas existentes contra los cuales se ha desarrollado resistencia. A veces, la resistencia cruzada es solo parcial; además, el grado de resistencia cruzada suele variar entre diferentes cepas del patógeno, aunque las diferencias no suelen ser lo suficientemente grandes (Essling *et al.*, 2021).

De manera similar, la resistencia cruzada negativa es un factor importante. Este término se refiere a la sensibilidad que adquiere un patógeno a un fungicida, tras haber desarrollado resistencia a otro fungicida, es decir, un cambio a la resistencia contra uno confiere automáticamente sensibilidad contra el otro. Por ejemplo, se detectó que el desarrollo de resistencia a los benzimidazoles en *Botrytis cinerea*, confiere automáticamente sensibilidad a los fenilcarbamatos y viceversa. Desafortunadamente, otra mutación generó un cambio de aminoácidos que le confirió resistencia a ambos fungicidas, con el resultado de que las mezclas pronto se volvieron ineficaces en muchos viñedos (Leroux *et al.*, 2002).

### **Grupos químicos más importantes para el control de oidiosis**

En primer lugar, los inhibidores de síntesis de esterol, también conocidos como SBI (por sus siglas en inglés, *Sterol Biosynthesis Inhibitors*); es una gran clase de fungicidas que

comprende cuatro grupos distintos (Tabla 8). Afectan la biosíntesis del esterol en las células del patógeno.

**Tabla 8: SBI: Clases y activos representativos**

Nombre del grupo	Grupos químicos	Ingredientes activos
DMI (Clase I: <i>DeMethylation Inhibitors</i> )	Triazoles, Imidazoles	Fenarimol, Triforine, Imazalil, Prochloraz, Triflumizole, Cyproconazole, Difenoconazole, Epoxiconazole, Flutriafol, Mefentrifluconazole, Myclobutanil, Penconazole, Tebuconazole, Triadimefon, Triadimenol
Aminas (Clase II: <i>Morpholines</i> )	Aminas, <i>Spiroketal-amines</i>	Tridemorph, Fenpropimorph, Spiroxamine
KRI (Clase III: <i>KetoReductase Inhibitors</i> )	Hidroxianilidas	Fenhexamid
Clase IV	Thiocarbamates, Allylamines	Pyributicarb

*Nota.* La tabla muestra algunos ingredientes activos del grupo. Elaborado a partir de Brent y Hollomon (2007b).

Los de la clase I se utilizaron por primera vez en la década de los 70, siendo triforine, triadimefon e imazalil los primeros representantes. Desde entonces, se han utilizado, al menos, 30 moléculas más en la agricultura. Tienen un modo de acción con sitio específico, lo que provoca que se cataloguen como fungicidas de alto riesgo de resistencia cruzada (Deliere *et al.*, 2010).

Los fungicidas de amina (clase II) se han utilizado ampliamente durante muchos años, y continúan funcionando bien. Teniendo en cuenta la cantidad de uso, su potencia, las altas tasas de multiplicación de *Erysiphe necator* y la facilidad para generar mutantes resistentes en el laboratorio, la estabilidad de su rendimiento ha sido notable (Brent y Hollomon, 2007a).

Para evitar la generación de resistencia a este tipo de fungicidas se recomienda no repetir aplicaciones de SBI en el mismo cultivo en una temporada contra un patógeno de alto riesgo, en áreas de alta presión de enfermedad; además, reservar el uso de SBI para la parte crítica de la temporada o la etapa crítica de crecimiento del cultivo. Por otro lado, si el rendimiento de DMI o aminas disminuyen, solo deben usarse en mezcla o alternancia con fungicidas efectivos sin resistencia cruzada. También, es recomendable maximizar el uso

complementario de otras clases de fungicidas con diferentes modos de acción, utilizar las dosis recomendadas en etiqueta, e involucrar otras medidas como variedades resistentes y buenas prácticas de cultivo. Estas recomendaciones se han implementado ampliamente y, en general, han permitido que los fungicidas SBI continúan brindando un buen control sobre la mayoría de los patógenos (Brent y Hollomon, 2007b).

En segundo lugar, las anilinopirimidinas. Estos fungicidas, que incluyen cyprodinil, pyrimethanil y mepanipyrim, actúan contra una amplia variedad de hongos. Afectan la ruta metabólica de síntesis de aminoácidos y proteínas. Este grupo aporta un mecanismo de acción diferenciado para el control de oidiosis. Existe resistencia cruzada entre todos los fungicidas dentro del grupo, pero no a otras clases de fungicidas. Presentan buen rendimiento después de más de veinte años de uso comercial. El enfoque general para el manejo de resistencias en este grupo es restringir el número de tratamientos con anilinopirimidinas que se aplicarán por campaña (Brent y Hollomon, 2007b).

En tercer lugar, los Inhibidores externos de quinona, también conocidos como QoI (por sus siglas en inglés, *Quinone outside Inhibitors*). Tienen un modo común de acción, inhibiendo la transferencia de electrones en el sitio Qo en el complejo mitocondrial III. Se introdujeron por primera vez hace más de veinte años y se han utilizado ampliamente contra una amplia gama de patógenos; sin embargo, dos años después de su introducción, se observó una marcada pérdida de acción contra *Erysiphe necator*, asociada con el desarrollo de poblaciones altamente resistentes, en los cultivos de trigo en Alemania, y poco después en todo el noroeste de Europa. Posteriormente, se encontraron serios problemas de resistencia en otros patógenos. En general, las cepas resistentes han mostrado resistencia cruzada a todos los fungicidas QoI (Brent y Hollomon, 2007a). Las pautas generales para el manejo de resistencia en este grupo consisten, en primer lugar, aplicar QoI a tasas e intervalos efectivos (ajustar el *timing*), de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes; segundo, limitar el número total de aplicaciones dentro de un programa total de manejo de enfermedades, ya sea aplicado solo o en mezcla con otros fungicidas; por último, las aplicaciones de activos alternativos a QoI, ya sea en solitario o en mezcla, deben ser de fungicidas efectivos que no presenten resistencias cruzada con estos (Brent y Hollomon, 2007).

En cuarto lugar, los inhibidores de succinato-deshidrogenasa. Conocidos como SDHI (por sus siglas en inglés, *Succinate-Dehydrogenase Inhibitors*). Esta clase de fungicidas moléculas como Boscalid, Fluopyram y Fluxapyroxad. Afectan la enzima succinato

deshidrogenasa, en la ruta metabólica de la respiración. Las recomendaciones de FRAC para el manejo de resistencias sugieren aplicar un máximo de cuatro veces por temporada, rotar con aplicaciones de fungicidas que no presenten resistencia cruzada, aplicar preventivamente y, en caso de mezclas, aplicar un máximo de dos veces consecutivas (Fungicide Resistance Action Committee, 2020b).

Por último, los fungicidas multisitio. Una de las recomendaciones clave para el manejo de resistencias es emplear fungicidas multisitio, especialmente en cultivos con múltiples aspersiones. Por su modo de acción, estos se consideran un grupo de riesgo de baja resistencia. Por lo tanto, ofrecen la posibilidad de usarse como componentes de mezclas o para alternar con fungicidas de un solo sitio (Fungicide Resistance Action Committee, 2010). Los beneficios de emplear estos fungicidas son; por ejemplo, que presentan un bajo riesgo de desarrollar resistencia y son efectivos para mezclar o alternar con fungicidas de riesgo medio a alto. Otro punto importante es que permiten prolongar la vida útil y proteger la efectividad de fungicidas de riesgo de resistencia media a alta. Por otro lado, se consideran una herramienta valiosa para manejar la resistencia, al prevenirla o retrasarla en patógenos como *Erysiphe necator* (Fungicide Resistance Action Committee, 2010).

### **El código FRAC**

FRAC (por sus siglas en inglés, *Fungicide Resistance Action Committee*) es un grupo técnico, conformado por miembros especialistas de las principales compañías de agroquímicos del mundo. Nació con el objetivo de discutir los problemas de resistencia y formular planes para su manejo.

A medida que los fungicidas se volvieron parte integral de la producción, se vio necesaria la organización de los ingredientes activos existentes en una lista, de lectura simple, que sirva de guía para el manejo de resistencias. Esta incluye fungicidas, principalmente para uso en protección de cultivos, de acuerdo a sus modos de acción y riesgo de resistencia. El agrupamiento considera el modo bioquímico de acción, pero otro factor principal es que se basa en patrones de resistencia cruzada entre ingredientes activos (Fungicide Resistance Action Committee, 2020a).

Los encabezados de la tabla son siete y se refieren al modo de acción, sitio de acción, nombre del grupo, grupo químico o biológico, nombre común del activo, comentarios sobre la resistencia y código FRAC. Primero, el MOA (por sus siglas en inglés, *mode of action*), considera trece categorías y agrupa a los fungicidas según su modo de acción, es decir, qué

proceso o ruta biosintética del patógeno interfiere. Este agrupamiento está ordenado de acuerdo a procesos metabólicos, de primarios a secundarios, y agrega cuatro campos adicionales fuera del metabolismo del patógeno. El orden sigue de acuerdo a las letras del abecedario, salvo, las últimas cuatro categorías (Tabla 9).

**Tabla 9: Lista detallada de códigos FRAC**

<b>Código</b>	<b>Proceso que interfiere o involucra</b>
A	Metabolismo de ácidos nucleicos
B	Citoesqueleto y proteínas motoras
C	Respiración
D	Síntesis de aminoácidos y proteínas
E	Transducción de señal
F	Síntesis y transporte de lípidos/Integración o función de la membrana
G	Biosíntesis de esterol en membranas
H	Biosíntesis de pared celular
I	Síntesis de melanina en pared celular
P	Inductores de defensa en hospederos
U	Proceso desconocido o en transición
M	Actividad multisitio
BM	Biológicos con múltiples modos de acción

*Nota.* Elaborado a partir de *Fungicide Resistance Action Committee*, 2020.

Respecto al sitio de acción, FRAC considera 71 categorías. Se precisa cuando se conoce y cuando no, se agrupa de acuerdo a la ruta biosintética relacionada. El agrupamiento también toma en cuenta los perfiles de resistencia cruzada. Por otro lado, los nombres de grupos están listados de acuerdo a un nombramiento aceptado en la literatura, sitios de acción, o miembro más representativo. El grupo químico o biológico está basado en consideraciones químicas y nomenclatura de acuerdo a IUPAC (por sus siglas en inglés, *International Union of Pure and Applied Chemistry*). El nombre común hace referencia al nombre individual del ingrediente activo. Sobre la columna de “comentarios sobre la resistencia”, menciona los riesgos de resistencia cruzada y algunos apuntes sobre los mecanismos de resistencia. Por último, el código FRAC contempla 80 categorías. Combina números y letras para distinguir el comportamiento de fungicidas según sus patrones de resistencia cruzada. Los números son asignados, normalmente, de acuerdo a un orden cronológico. Las letras hacen referencia al modo de acción (Fungicide Resistance Action Committee, 2020a).

## Riesgo de resistencia, de fungicida, de patógeno, agronómico y combinado

El “riesgo de resistencia” se define como una combinación del riesgo inherente, determinado por la clase química o el compuesto en cuestión, su interacción con los sitios de acción del patógeno, el patógeno en sí y con varios factores modificadores del riesgo. Por conveniencia, el "riesgo de resistencia" se divide en tres categorías: alto, medio y bajo. Las categorías de riesgo "bajo" y "alto" tienden a determinarse fácilmente. La categoría "media" es más difícil de definir (Brent y Hollomon, 2007a).

Se considera que las condiciones de uso más importantes que afectan el riesgo de resistencia son, en primer lugar, el número de aplicaciones repetidas del mismo fungicida; segundo, la alternancia o aplicación combinada con otros tipos de fungicidas con diferentes mecanismos de acción; tercero, la cantidad o dosis de fungicida utilizada para cada aplicación; cuarto, el área de aplicación; por último, el manejo integrado de enfermedades (Burbano-Figueroa, 2020).

Por otro lado, las diferentes clases de fungicidas pueden diferir mucho en su propensión a perder efectividad a través de la resistencia que surge en los patógenos. Esta característica puede denominarse mejor como "riesgo inherente o intrínseco asociado al fungicida", pero más brevemente como "riesgo de fungicida". Cada ingrediente activo reconocido por FRAC está clasificado dentro de una lista, de acuerdo a su riesgo (Tabla 10).

**Tabla 10: Riesgo de fungicida: Clasificación de ingredientes activos más empleados en uva de mesa**

Categoría	Ingredientes activos
Alto	Azoxystrobin, Kresoxim-methyl, Pyraclostrobin, Trifloxystrobin
Medio - Alto	Boscalid, Fluopyram
Medio	Bupirimate, Cyproconazole, Cyprodinil, Difenconazole, Flutriafol, Metrafenone, Myclobutanil, Penconazole, Polyoxin, Prochloraz, Pyriofenone, Quinoxifen, Tebuconazole, Triadimenol, Triflumizole
Medio – Bajo	Spiroxamine
Bajo	Azufre, <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , Sulfato de cobre pentahidratado
No determinado	Extractos vegetales

*Nota.* Respecto a los extractos vegetales, podrían clasificarse dentro de la categoría de bajo riesgo; sin embargo, FRAC no hace mención de la clasificación del ácido ascórbico, bioflavonoides, ácido cítrico, pepsinas, residuos vegetales, entre otros. Elaborado a partir de *Fungicide Resistance Action Committee* (2020).

Por otro lado, cada patógeno tiene una capacidad distinta para volverse resistente a los fungicidas aplicados contra ellos. Esto se puede denominar mejor como "riesgo inherente o intrínseco asociado a patógenos", o "riesgo de patógeno". Se pueden encontrar grandes diferencias entre ciertas clases, géneros y especies. *Erysiphe necator* está considerada como un patógeno de riesgo medio (Brent y Hollomon, 2007a).

Los factores relacionados directamente con la epidemiología de la enfermedad, e indirectamente con el manejo de la enfermedad, se combinan con factores genéticos para formar el riesgo de patógeno. Las causas más importantes que lo determinan son, primero, el ciclo de vida del patógeno, entendiéndose que cuanto más corto sea habrán más mutaciones espontáneas, entonces, será mayor la necesidad de exposición a fungicidas y más rápida será la acumulación de resistencia; segundo, la abundancia de esporulación, mientras más esporas se liberen en el cultivo, mayor será la disponibilidad de genomas individuales para mutación y selección, y más rápida será la propagación de mutantes resistentes; tercero, la capacidad de las esporas para propagarse entre plantas, cultivos y regiones; cuarto, la capacidad de infectar en todas las etapas del cultivo; quinto, la ocurrencia de una etapa sexual en el ciclo de vida; sexto, la capacidad para mutar o expresar genes mutantes; séptimo, la diploidía, ya que, puede suprimir la expresión de mutaciones recesivas; por último, la estructura genética, debido a que puede hacer que las mutaciones sean letales (Brent y Hollomon, 2007a).

El riesgo agronómico considera características del campo, que afectan directa e indirectamente el desarrollo de resistencias en el patógeno. Los factores principales son el área geográfica en la que se encuentra el cultivo, el cultivar, la presión esperada de la enfermedad, el clima de la zona y las prácticas culturales de control de enfermedades (Carisse *et al.*, 2009). Es un esquema más complejo de interacciones de riesgos, que involucra los efectos de factores localmente variables, así como los riesgos inherentes de fungicidas y patógenos. Esto enfatiza la importancia de tener en cuenta las condiciones locales al evaluar el riesgo real (Lu *et al.*, 2020).

Por último, el riesgo combinado se refiere a la multiplicación del riesgo de patógenos con el riesgo de fungicidas y el riesgo agronómico (Tabla 11). Permite obtener un riesgo general inherente de resistencia para una serie de combinaciones de fungicidas principales, patógenos importantes y condiciones de campo. En cualquier evaluación del riesgo de resistencia a los fungicidas, la influencia general de cada uno de los factores de riesgo

inherentes se puede pronosticar con un grado de confianza razonable. Sin embargo, el grado de impacto que tendrá cada uno sobre la velocidad y la gravedad del desarrollo de la resistencia es mucho más difícil de evaluar, al igual que la forma en que interactúan los factores. El enfoque más simple es asumir que cada factor tiene un impacto similar y que los factores interactúan de manera multiplicativa (Brent y Hollomon, 2007a). Estos conceptos se combinan para dar un grado de riesgo inherente general, para cada combinación de fungicida-patógeno-condiciones agronómicas (Rossi *et al.*, 2020).

**Tabla 11: Cálculo de riesgo combinado para *Erysiphe necator* en uva de mesa**

Ingrediente activo	RF	RA		
		Bajo (0,25)	Medio (0,5)	Alto (1)
		RP		
		Medio (2)	Medio (2)	Medio (2)
Azoxystrobin, Kresoxim-methyl, Trifloxystrobin, Pyraclostrobin	Alto (6)	3	6	12
Boscalid, Fluopyram	Medio - Alto (5)	2,5	5	10
Tebuconazole, Prochloraz, Myclobutanil, Cyproconazole, Difenconazole, Metrafenone, Triadimenol, Cyprodinil, Bupirimate, Pyriofenone, Flutriafol, Polyoxin, Quinoxifen	Medio (4)	2	4	8
Spiroxamine	Bajo - Medio (3)	1,5	3	6
Azufre, Sulfato de cobre pentahidratado, Extracto de <i>Melaleuca alternifolia</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , Extractos vegetales	Bajo (1)	0,5	1	2

*Nota.* En esta tabla se consideran a los extractos vegetales como fungicidas de bajo riesgo. Las siglas RF, RP y RA hacen referencia al riesgo de fungicida, riesgo de patógeno y riesgo agronómico, respectivamente. El riesgo combinado resulta como producto de los valores del riesgo de fungicida, riesgo agronómico y riesgo de patógeno. Los números entre paréntesis son los valores que corresponden a cada categoría o nivel de riesgo. Elaborado a partir de *Fungicide Resistance Action Committee* (2019).

### La importancia de las mezclas

Cuando se habla de mezclas de fungicidas, se considera que estará compuesta por, generalmente, dos fungicidas dirigidos al control del patógeno objetivo. A partir de esto, se pueden obtener diferentes combinaciones para reducir el riesgo de resistencia (Tabla 12). Se entiende que, al realizar esta mezcla, cada componente aportará su propio riesgo de resistencia; por tanto, es necesario considerar cómo diferentes componentes con los mismos

o diferentes niveles de riesgo pueden usarse juntos en una mezcla, y si una mezcla en particular es una opción válida para el manejo de la resistencia (Fungicide Resistance Action Committee, 2010).

Por otro lado, es probable que ninguna mezcla prevenga por completo el eventual desarrollo de resistencia a un componente de la mezcla. Sin embargo, pueden retrasar significativamente el proceso y prolongar la vida útil del fungicida.

**Tabla 12: Recomendaciones FRAC para mezclas**

<b>Componentes</b>	<b>Comentario</b>
Dos fungicidas de bajo riesgo	Es una mezcla segura, no representa mayor probabilidad de generación de resistencia
Un fungicida de sitio único de alto o medio riesgo + un multisitio	Es efectiva para el manejo de resistencias en patógenos de riesgo alto o medio
Dos fungicidas de sitio único (riesgo alto o medio) con diferentes modos de acción	Permite retrasar la generación de resistencia a cada uno de los fungicidas Protege la efectividad de cada fungicida durante más tiempo
Un fungicida de sitio único de bajo riesgo + otro de riesgo alto o medio	Es efectiva para el manejo de resistencias en patógenos de riesgo alto o medio

*Nota.* Elaborado a partir de *Fungicide Resistance Action Committee* (2010).

Los fungicidas se suelen combinar para obtener un mejor control de enfermedades y evitar la generación de resistencia. Las mezclas se pueden usar para ampliar el espectro de control de enfermedades de un producto, para combinar las características específicas de los componentes de la mezcla, para aumentar la efectividad del producto, o para aprovechar las interacciones aditivas o sinérgicas que conducen a un control de enfermedades más potente.

Tanto para los programas de alternancia como para los de mezcla, se siguen aplicando consideraciones basadas en dosis y en limitaciones del número de aplicaciones. No hay evidencia clara que sugiera que la estrategia de alternancia o del uso de mezclas sea la mejor para el manejo de la resistencia. En cultivos con un gran número de aplicaciones por temporada, y en los que solo se dispone de un número limitado de modos de acción diferentes, la alternancia en lugar de la combinación de fungicidas puede ser una forma más eficaz de reducir la presión de selección. Cualquiera que sea la estrategia que se adopte, alternancia o uso de mezclas, el objetivo debe ser minimizar el riesgo de desarrollo de

resistencia a cualquiera de los fungicidas utilizados en el programa (Brent y Hollomon, 2007a).

### **Recomendaciones para rotaciones efectivas**

FRAC ha desarrollado una serie de sugerencias para evitar la generación de resistencias en el patógeno, y preservar la efectividad de los fungicidas existentes. En ese sentido, una de las recomendaciones principales es no usar un fungicida repetidamente, es decir, alternar aplicaciones cada vez que sea posible; según lo expuesto, el objetivo principal es cambiar el modo de acción en cada pulverización. Otra recomendación es reducir el número de aplicaciones por campaña; en este caso, un menor número de aplicaciones al año depende de encontrar el momento ideal para la aplicación, de acuerdo a las características del patógeno, fungicida y hospedador. Por otro lado, mantener la dosis recomendada permite generar la presión de selección necesaria para mantener al patógeno en condiciones limitadas; cuando se intenta aumentar la dosis para mejorar la efectividad del fungicida, acelera el proceso de obtención de resistencias. FRAC también recomienda evitar el uso erradicante, en tal sentido, emplear un manejo preventivo de la enfermedad. Por último, sugiere articular las pulverizaciones de fungicidas con prácticas que ayuden a mejorar su efectividad, y emplear el mayor número de modos de acción disponibles en cada localidad (Fungicide Resistance Action Committee, 2010).

## IV. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

### 4.1. Experiencia en rotación de fungicidas

Se analizaron tres programas de aplicaciones, de acuerdo a la Tabla 13, en base a recomendaciones FRAC para la alternancia de fungicidas. El parámetro de riesgo combinado fue estimado de acuerdo a las condiciones de campo existentes en cada etapa fenológica.

**Tabla 13: Lista de programas fitosanitarios analizados**

Programa	Cultivar	Temporada
1	Red Globe	2015-2016
2	Red Globe	2017-2018
3	Sweet Globe	2019-2020

#### Caso 1

Corresponde a un programa de aplicaciones para el control de *Erysiphe necator* en el cultivar Red Globe. Se diseñó para la temporada 2015-2016. En la Tabla 14 se puede apreciar la secuencia de aplicaciones realizadas en la etapa fenológica de brotación.

Para empezar, usó 7 códigos diferentes para 9 aplicaciones, empleó fungicidas multisitio (3 de 9) dentro de la secuencia y tuvo una cantidad reducida de aplicaciones de alto riesgo (2 de 9).

Por otro lado, consideró aplicaciones cada 4,3 días en promedio. La pregunta que surge aquí es qué pasaría si alargara el tiempo entre aplicaciones. Por las condiciones agrometeorológicas, el parrón se encontraba expuesto a unos 25 °C, canopia rala, buena aireación; por tanto, son condiciones medianamente favorables para el desarrollo de la enfermedad, además, una buena cobertura aseguraría la correcta aplicación.

**Tabla 14: Caso 1: Aplicaciones realizadas durante brotación**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Myclobutanil	0,24	30	3	M	4
2	Azufre	2	34	M 02	B	1
3	Quinoxifen	0,3	37	13	M	4
4	Sulfato de cobre	2	41	M 01	B	1
5	Kresoxim-methyl	0,23	44	11	A	6
6	Sulfato de cobre	2	47	M 01	B	1
7	Spiroxamine	0,72	50	5	M-B	3
8	Difenoconazole	0,5	57	3	M	4
9	Metrafenone	0,34	64	50	M	4
Total						28

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

Respecto al riesgo combinado, se consideró la categoría de riesgo medio (Factor = 0,5) multiplicado por el riesgo de patógeno (Factor = 2) para esta etapa fenológica; dado que, se realizó una secuencia de aplicaciones intercambiando modos de acción, y usando fungicidas de bajo y medio riesgo. Por tanto, el resultado de riesgo combinado es 28.

Según las indicaciones de FRAC, sería recomendable alargar el periodo entre aplicaciones, de acuerdo a sus evaluaciones, pero, evitando que la enfermedad sobrepase el umbral de daño económico. Además, combinar productos de alto riesgo con fungicidas multisitio, como azufre, permitiría preservar mejor su efectividad; sin embargo, es crucial emplearlo en formulaciones que no generen fitotoxicidad, dado que, los racimos en crecimiento son órganos delicados que necesitan tratarse con sumo cuidado.

La Tabla 15 muestra las aplicaciones realizadas para la etapa de floración. En este caso, usó cuatro códigos diferentes para tres aplicaciones, no empleó fungicidas multisitio dentro de la secuencia y 2 de 3 aplicaciones fueron de alto riesgo.

Respecto al tiempo entre aplicaciones, se realizaron cada siete días. Según esto, se podría validar lo expuesto en la etapa fenológica anterior, alargar el tiempo entre aplicaciones. Aunque falte evidencia concreta que lo sustente, podría ser un punto de partida para ajustar el *timing* entre aplicaciones por etapa fenológica. En la época de esta etapa (fines de julio),

las condiciones son medianamente favorables para el desarrollo de oidiosis; sin embargo, la canopia se hace más densa y asegurar la correcta cobertura se torna más difícil.

**Tabla 15: Caso 1: Aplicaciones realizadas durante floración**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Kresoxim-methyl	0,3	71	11	A	6
2	Boscalid + Pyraclostrobin	1	78	7 + 11	M-A + A	5 + 6
3	Spiroxamine	0,8	85	5	M-B	3
Total						20

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

Por otro lado, acumuló un riesgo combinado de 20, con solo tres aplicaciones en 21 días. El primer producto aplicado en esta etapa fenológica es azoxystrobin, fungicida del grupo QoI. Por otro lado, aunque se empleó una mezcla recomendada para proteger la efectividad de fungicidas de alto y medio riesgo, es la tercera aplicación de un QoI, además, aplicado de manera continua. Se podría sugerir cambiar el activo de la primera aplicación, por uno multisitio o de riesgo medio. En este caso, intercambiar azoxystrobin por spiroxamine y terminar con sulfato de cobre o quinoxifen, reduciría el riesgo combinado; además, se ha de tener en cuenta el aumento de dosis de azoxystrobin y spiroxamine (de acuerdo al crecimiento del parrón). Por último, tendría que comprobarse con ensayos en campo la aplicabilidad de la sugerencia, ya que, el sulfato de cobre no se suele emplearse en floración, porque, se entiende que es un activo preventivo y los productores prefieren algo más potente, además, no se han calculado los daños que podría causar su aplicación a racimos en desarrollo.

La Tabla 16 muestra las aplicaciones en la etapa comprendida después de floración y antes de envero. A esta etapa también se le puede conocer como “etapa de crecimiento de bayas”.

**Tabla 16: Caso 1: Aplicaciones realizadas durante crecimiento de bayas**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Tebuconazole	0,6	92	3	M	8
2	Quinoxifen	0,4	99	13	M	8

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
3	Myclobutanil	0,3	106	3	M	8
4	Kresoxim-methyl	0,3	113	11	A	12
5	Tebuconazole	0,6	120	3	M	8
6	Trifloxystrobin	0,28	127	11	A	12
7	Tebuconazole	0,6	134	3	M	8
Total						64

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

En esta fenología, se emplearon 3 modos distintos para 7 aplicaciones, no se usaron fungicidas multisitio ni mezclas y se emplearon fungicidas de riesgo medio y alto.

Por otro lado, se realizaron aplicaciones cada 7 días en promedio. En esta etapa, mejoran las condiciones de temperatura, humedad relativa, aireación, y dificultad para realizar una cobertura correcta por la densa canopia; sin embargo, los racimos van volviéndose más resistentes al daño por oidiosis. Entonces, son condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad, pero, la resistencia ontogénica de la planta evita que los daños sean severos.

Se estima su riesgo combinado considerando un factor de 1 por las condiciones del campo. Se acumula un valor de riesgo combinado de 64 por el uso repetido de triazoles y fungicidas QoI.

Es un escenario ideal para la incorporación de productos biológicos y otros de bajo riesgo, para mejorar la secuencia de aplicaciones; además, estos no contribuyen a la adición de residuos. Las pruebas en campo tendrían que ayudar a encontrar los productos ideales para realizar una rotación efectiva. En ese sentido, incorporar esta clase de fungicidas preservaría mejor la efectividad de las moléculas empleadas y contribuiría a generar una población menos resistente. Una opción para disminuir el RC sería cambiar dos aplicaciones de tebuconazole por una de boscalid, polyoxin o metrafenone; o, intercalar aplicaciones de sulfato de cobre, azufre y productos biológicos.

En esta fenología, se incumplen las recomendaciones de FRAC, como el uso repetido de una misma molécula y productos de alto riesgo que no se aplican como mezclas. Por último, la Tabla 17 muestra las aplicaciones realizadas durante invierno.

**Tabla 17: Caso 1: Aplicaciones realizadas durante enero**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Boscalid + Pyraclostrobin	0,6	141	7 + 11	M-A + A	2,5 + 3
2	Azufre	16	151	M 02	B	0,5
3	Azufre	18	165	M 02	B	0,5
Total						6,5

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

En esta etapa se realizaron 3 aplicaciones; luego de esto, comenzó la cosecha. Se aplicó una mezcla sugerida, con el objetivo de controlar *Erysiphe necator* y *Botrytis cinerea*.

El tiempo entre aplicaciones se alarga, 12 días en promedio, porque oidiosis deja de ser un problema principal. Aunque las condiciones climáticas y del parrón son óptimas para su desarrollo, las bayas se volvieron resistentes a nuevas infecciones.

El RC se muestra bajo, de acuerdo a que se estima el factor bajo de riesgo agronómico (0,5) para las condiciones de esa etapa.

Como recuento final, los días controlando oidiosis fueron 135, y se realizaron 22 aplicaciones. La mayoría (36%) fueron fungicidas de medio riesgo, 32% alto y 23% bajo. Se acumuló un RC para oidiosis de 118,5. En este momento, el valor es solo referencial. El objetivo debería ser reducirlo cada año, mejorando los programas de acuerdo a las recomendaciones.

## Caso 2

Corresponde a un programa de aplicaciones para el control de *Erysiphe necator* en el cultivar Red Globe. Se diseñó para la temporada 2017-2018. En la Tabla 18 se puede observar la secuencia de aplicaciones realizadas en la etapa fenológica de brotación.

En esta etapa, se empleó 4 códigos diferentes para 7 aplicaciones, se usó fungicidas multisitio (2 de 7) dentro de la secuencia y no se aplicó fungicidas de alto riesgo.

**Tabla 18: Caso 2: Aplicaciones realizadas durante brotación**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Penconazole	0,3	20	3	M	4
2	Spiroxamine	0,3	27	5	M-B	3
3	Azufre	3	34	M 02	B	1
4	Azufre	3	41	M 02	B	1
5	Triadimenol	1,2	48	3	M	4
6	Fluopyram + Tebuconazole	0,6	55	7 + 3	M-A + M	5 + 4
7	Triflumizole	0,375	62	3	M	4
Total						26

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

Por otro lado, se consideró aplicaciones cada 7 días en promedio. A diferencia del caso anterior, se alarga el tiempo entre aplicaciones en esta fenología. Las condiciones existentes en esta etapa son similares a las del Caso 1.

Respecto al riesgo combinado, se consideró la categoría de riesgo medio (Factor = 0,5) multiplicado por el riesgo de patógeno (Factor = 2) para esta etapa fenológica; obteniéndose un riesgo combinado acumulado de 26. En este caso, el periodo largo entre aplicaciones permite reducir el riesgo combinado; sin embargo, acumuló cuatro aplicaciones de triazoles, donde tres de estas fueron en las tres últimas aplicaciones.

Según las indicaciones de FRAC, la última secuencia debería evitarse; por ejemplo, emplear un modo de acción como 13, o M 01. Por otro lado, un punto a favor es el uso de fungicidas de bajo y medio riesgo. Su uso permite preservar su uso y efectividad para futuras aplicaciones.

La Tabla 19 muestra las aplicaciones realizadas para la etapa de floración. En este caso, se utilizó cuatro códigos diferentes para tres aplicaciones, no se empleó fungicidas multisitio dentro de la secuencia y 2 de 3 aplicaciones fueron de alto riesgo.

**Tabla 19: Caso 2: Aplicaciones realizadas durante floración**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Kresoxim-methyl	0,4	69	11	A	6
2	Tebuconazole	1	74	3	M	4
3	Boscalid + Pyraclostrobin	0,8	79	7 + 11	M-A + A	5 + 6
4	Myclobutanil	0,4	84	3	M	4
Total						25

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

Respecto al tiempo entre aplicaciones, se realizaron cada 5 días. En este caso, se prefirió realizar una mayor protección durante esta fenología. En esta etapa (fines de julio), las condiciones son medianamente favorables para el desarrollo de oidiosis; sin embargo, la canopia se hace más densa y asegurar la correcta cobertura se torna más difícil.

Por otro lado, se acumuló un riesgo combinado de 25, con cuatro aplicaciones en 15 días. De modo general, empleó las recomendaciones de FRAC para la alternancia de modos de acción; además, emplea una mezcla recomendada para preservar la efectividad de fungicidas por separado. La Tabla 20 muestra las aplicaciones en la etapa de crecimiento de bayas.

**Tabla 20: Caso 2: Aplicaciones realizadas durante crecimiento de bayas**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Azoxystrobin	0,6	91	11	A	12
2	Difenoconazole	0,6	98	3	M	8
3	Quinoxifen	0,4	103	13	M	8
4	Triflumizole	0,4	108	3	M	8
5	Boscalid + Pyraclostrobin	0,8	113	7 + 11	M-A + A	10 + 12
6	Difenoconazole + Azoxystrobin	0,6	120	3 + 11	M + A	8 + 12
7	Extracto de <i>Melaleuca alternifolia</i>	1,5	127	46	B	2

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
8	Myclobutanil	0,4	134	3	M	8
Total						88

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

En esta fenología, se emplearon 5 modos de acción distintos para 8 aplicaciones, se usaron productos biológicos y mezclas; además, se combinó el uso de fungicidas de alto, medio y bajo riesgo. Por otro lado, se realizaron aplicaciones cada 6,1 días. En esta etapa, las condiciones son óptimas para el desarrollo de la enfermedad, sin embargo, los racimos van volviéndose más resistentes al daño por oidiosis.

Se acumula un valor de riesgo combinado de 88, principalmente, por el uso repetido de fungicidas QoI y el número de aplicaciones. La incorporación de un activo de origen biológico permite reducir la carga química y alternar fungicidas de medio y alto riesgo. En la Tabla 21 se pueden ver las aplicaciones realizadas durante enero.

**Tabla 21: Caso 2: Aplicaciones realizadas durante enero**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	<i>Bacillus subtilis</i>	4,125	148	BM 02	B	0,5
2	Azufre	25	155	M 02	B	0,5
3	Azufre	25	160	M 02	B	0,5
4	Azufre	25	165	M 02	B	0,5
Total						2

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

En esta etapa se realizaron 4 aplicaciones; previas al inicio de la cosecha. En este caso, el tiempo entre aplicaciones se acorta más de lo usual (5,6 días en promedio). Esto podría explicarse por el control dirigido a botrytis. Por otra parte, el RC se muestra bajo, porque los fungicidas elegidos son de riesgo bajo y permitieron una adecuada rotación.

Como recuento final, los días controlando oidiosis fueron 145, y se realizaron 23 aplicaciones. Las aplicaciones de riesgo medio y bajo fueron 35% cada una. Se acumuló un RC para oidiosis de 141. El aporte principal para este cálculo fueron el número de aplicaciones durante crecimiento de bayas y la frecuencia de aplicación; en ese sentido, el objetivo es ajustar el parámetro de modo que se equilibre un buen control con un bajo riesgo combinado.

### Caso 3

Este programa corresponde a un plan de aplicaciones fitosanitarias para el control de *Erysiphe necator* en el cultivar Sweet Globe. Se diseñó para la temporada 2019-2020. En la Tabla 22 se puede observar la secuencia de aplicaciones realizadas en la etapa de brotación.

**Tabla 22: Caso 3: Aplicaciones realizadas durante brotación**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Azoxystrobin	0,25	25	11	A	6
2	Myclobutanil	0,3	30	3	M	4
3	Metrafenone	0,3	35	50	M	4
4	Triadimenol	0,5	40	3	M	4
5	Azufre	3	45	M 02	B	1
6	Azoxystrobin + Tebuconazole	0,4	50	11 + 3	A + M	6 + 4
7	Azufre	0,3	55	M 02	B	1
8	Difenoconazole	0,6	60	3	M	4
Total						34

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

En este caso, usó 4 códigos diferentes para 8 aplicaciones, empleó fungicidas multisitio (2 de 8) dentro de la secuencia y tuvo una cantidad reducida de aplicaciones de alto riesgo (1 de 9).

Por otro lado, consideró aplicaciones cada 5 días en promedio. Al tratarse del cultivar Sweet Globe, se entiende que su alto vigor evitaría alargar el periodo entre aplicaciones, como en los casos vistos anteriormente. Por las condiciones de agrometeorológicas, el parrón se

encontraba expuesto a unos 25 °C, canopia densa, medianamente aireado; por tanto, son condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad.

Respecto al riesgo combinado, se consideró la categoría de riesgo medio (Factor = 0,5) para el riesgo agronómico en esta etapa; sin embargo, por las características propias del cultivar, solo se utilizará para brotación. En ese sentido, el resultado de riesgo combinado es 34. El mayor aporte es causado por las aplicaciones de riesgo medio y alto; por otro lado, aunque la secuencia sea bastante segura, el uso de este tipo de fungicidas limitaría las opciones para las etapas próximas.

Según las indicaciones de FRAC, sería ideal cambiar triazoles por activos como spiroxamine o quinoxifen; si bien, su uso no bajaría sustancialmente el riesgo combinado, permitiría asegurar la efectividad de los fungicidas SBI a lo largo de la campaña. Además, podría intercambiar una aplicación de azufre o sulfato de cobre en vez de myclobutanil.

La Tabla 23 muestra las aplicaciones realizadas para la etapa de floración. Como se puede observar, se emplearon 6 aplicaciones, con un total de 7 modos de acción diferentes; también, se emplearon mezclas recomendadas por FRAC y fungicidas multisitio.

**Tabla 23: Caso 3: Aplicaciones realizadas durante floración**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Spiroxamine	0,8	65	5	M-B	6
2	Cyprodinil + Difenoconazole	1,5	70	9 + 3	M + M	8 + 8
3	Bupirimate	1,4	75	8	M	8
4	Cyproconazole	0,5	80	3	M	8
5	Kresoxim-methyl + Spiroxamine	0,6	85	11 + 5	A + M-B	12 + 6
6	Azufre	25	90	M 02	B	2
Total						58

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

Por otro lado, acumuló un riesgo combinado de 58, con un promedio de 5 días entre aplicaciones. Esto se explica por la susceptibilidad del cultivar a oidiosis, el número de aplicaciones y las condiciones agronómicas de esa etapa (inicios de agosto); entonces, se

estimó un factor de 1 para el riesgo agronómico. En tanto, para esta etapa se acumularon 4 aplicaciones de triazoles; y aumentan 2 aplicaciones más del mismo grupo. Esto podría acarrear problemas para la etapa de crecimiento de bayas. Además, aunque realizó una rotación recomendada, el número de aplicaciones pone en riesgo la efectividad de los activos usados. Por último, las mezclas que se ocuparon son recomendadas para la protección de efectividad de fungicidas de medio y alto riesgo.

La Tabla 24 muestra las aplicaciones en la etapa de crecimiento de bayas.

**Tabla 24: Caso 3: Aplicaciones realizadas durante crecimiento de bayas**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	Azoxystrobin + Tebuconazole	0,4	95	11 + 3	A + M	12 + 8
2	Quinoxifen	0,3	100	13	M	8
3	Myclobutanil	0,3	105	3	M	8
4	Pyriofenone	0,35	110	50	M	8
5	Flutriafol	0,4	115	3	M	8
6	Azufre	25	120	M 02	B	2
7	Myclobutanil	0,35	124	3	M	8
8	Triadimenol	0,5	129	3	M	8
9	Azufre	25	134	M 02	B	2
10	Polyoxin	0,25	138	19	M	8
11	Azufre	20	143	M 02	B	2
12	<i>Bacillus subtilis</i>	3	148	BM 02	B	2
13	Extracto de árbol de té	5	157	46	B	2
Total						86

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

Las aplicaciones se realizaron cada 5,2 días en promedio. A diferencia de Red Globe, esta variedad es más susceptible a oidiosis; por tanto, se reduce el tiempo entre aplicaciones. Por otro lado, los fungicidas usados son de riesgo medio y bajo; sin embargo, se realizó un uso excesivo de triazoles. Ingredientes activos como boscalid, cyprodinil, bupirimate, sulfato de

cobre o *Bacillus subtilis*, servirían en gran medida para mejorar la alternancia en este programa.

En esta fenología, se emplearon 8 modos de acción diferentes para 13 aplicaciones, se usaron productos biológicos y mezclas; además, se combinó el uso de fungicidas de alto, medio y bajo riesgo. En esta etapa, las condiciones son óptimas para el desarrollo de la enfermedad, sin embargo, los racimos se vuelven más resistentes al daño por oidiosis. A su vez, se acumuló un valor de riesgo combinado de 86, principalmente, por el uso frecuente de triazoles y el número de aplicaciones. Cabe mencionar que, por las consideraciones mostradas, se consideró un factor alto para el riesgo agronómico. Por último, la incorporación de fungicidas de origen biológico y multisitio ayudaría a preservar la efectividad de moléculas potentes como tebuconazole o myclobutanil.

En la Tabla 25 se pueden ver las aplicaciones realizadas durante enero.

**Tabla 25: Caso 3: Aplicaciones realizadas durante enero**

N° de aplicación	Ingrediente activo	Dosis	DDC	Código FRAC	Categoría	RC
1	<i>Bacillus subtilis</i>	5	162	BM 02	B	0,5
2	Extractos vegetales	4	172	BM 02	B	0,5
3	Extractos vegetales	4	182	BM 02	B	0,5
Total						1,5

*Nota.* La columna DDC (Días después de cianamida) considera la cantidad de días a partir de la aplicación de cianamida hidrogenada. La dosis está expresada en kg-L/ha. Para la columna Categoría, las letras indican el riesgo de fungicida: A (Alto), M-A (Medio-Alto), M (Medio), M-B (Medio-Bajo) y B (Bajo). La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

En esta etapa se realizaron 3 aplicaciones; previas al inicio de la cosecha. El tiempo promedio entre aplicación fue de 10 días. Se consideró un riesgo agronómico de 0,5; por tanto, sumado al uso de productos biológicos, se acumuló un RC de 1,5 en esta etapa. Los fungicidas elegidos son de riesgo bajo y permitieron una adecuada rotación.

Como recuento final, los días controlando oidiosis fueron 157, y se realizaron 30 aplicaciones. De estas, la mayoría fueron fungicidas de riesgo medio (47%). Se acumuló un RC para oidiosis de 179,5; debido, principalmente, al número de aplicaciones durante brotación y crecimiento de bayas, y la frecuencia de aplicación.

El detalle de los tres casos presentados se observa en la Tabla 26.

**Tabla 26: Resumen de casos**

Programa	Cultivar	Aplicaciones	Días de control	RC
1	Red Globe	22	135	118,5
2	Red Globe	23	145	135
3	Sweet Globe	30	157	179,5

*Nota.* La columna RC hace referencia al riesgo combinado.

Los casos presentados para el cultivar Red Globe son similares en el número de aplicaciones, fenología y días de control. Por otra parte, el caso del cultivar Sweet Globe muestra diferencias, principalmente, en el número de aplicaciones y riesgo combinado. Esto podría explicarse por la susceptibilidad del cultivar frente a la enfermedad. Respecto a las secuencias de aplicación, se observa que existe un conocimiento sobre el orden recomendado; sin embargo, no se siguen las indicaciones en todas las etapas. De seguir con esta tendencia, el resultado sería pérdida de efectividad de moléculas muy empleadas; por ejemplo, tebuconazole, difenoconazole o azoxystrobin.

#### **4.2. Experiencia en prácticas culturales oportunas y pulverizaciones**

El trabajo del asesor comercial de agroquímicos consiste en ayudar a los productores a mejorar sus programas de aplicación, para evitar la generación de resistencias de patógenos y preservar la efectividad de los activos existentes. Sus recomendaciones están enfocadas, principalmente, en el control químico y biológico. Sin embargo, es necesario que estas se articulen con conocimientos sobre las labores del cultivo y las pulverizaciones.

En primer lugar, las prácticas que más se relacionan al control de condiciones para oidiosis es el deshoje, y el raleo. Respecto al deshoje, permite reducir el volumen de la canopia para generar condiciones poco favorables para el desarrollo de la enfermedad; y el raleo, reduce las probabilidades de desarrollo de oidiosis en racimos. Si bien no se tiene control directamente sobre la programación de las labores, la programación de la aplicación debería hacerse poco después de realizarla; si se realiza después, se eliminaría ingrediente activo en el material vegetal y la cobertura no habría sido efectiva para mojar toda la canopia. En variedades altamente vigorosas, convendría programar más de un deshoje por campaña.

Respecto a pulverizaciones, se recurre a la practicidad para el cálculo de volumen de aplicación. Se suele considerar por etapa fenológica de 1000 a 2000 L.ha<sup>-1</sup> de agua; no hay un consenso sobre el cálculo que más se ajusta a la época de aplicación. Los conceptos de

*Tree Row Volume*, aplicados al cultivo, podrían aclarar estas dudas; por ejemplo, un parrón cercano a cosecha, con un espesor de 1 m, ancho de 4 m, y estimando un volumen alto de pulverización ( $100 \text{ L} \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ ), le correspondería  $1000 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$  para la aplicación. De acuerdo a la información recogida en campo, en esas etapas se suele emplear  $1500 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$  como volumen de aplicación. En suma, una diferencia del 30% entre estos dos volúmenes generaría menos gasto en maquinaria y menos dosis por hectárea, para aquellos fungicidas que dependan del contacto. Un objetivo crucial sería establecer parámetros para cada cultivar por etapa fenológica, de manera que, se ajuste el volumen de aplicación a lo realmente necesario para controlar a la enfermedad.

Por otra parte, las boquillas usadas para aplicaciones de fungicidas suelen ser las de cono vacío; esto va de acuerdo a la recomendación técnica. Otros factores como la velocidad del tractor y la presión de trabajo se ajustan, generalmente, a las recomendaciones; sin embargo, existe la tendencia de darle poca importancia a la calibración constante. Una propuesta sencilla para comprobar la correcta aplicación es el uso de papeles hidrosensibles, instalados previos a una aplicación. Con este método, se detectará rápidamente los ajustes necesarios para la maquinaria de pulverización.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Se concluye que, conocer las recomendaciones técnicas para rotación efectiva de moléculas y control sobre la generación de resistencias en patógenos, permitirá mejorar la estructura de programas fitosanitarios para *Erysiphe necator* en el cultivo de uva de mesa. De este modo, los activos más mencionados fueron tebuconazole, difenoconazole, azoxystrobin, metrafenone, triadimenol, quinoxifen, azufre, kresoxim-methyl, boscalid, pyraclostrobin, sulfato de cobre, *Bacillus subtilis*; entonces, conocerlos junto a sus valores de riesgo, permitirá ampliar el panorama para correcta alternancia. Por otro lado, los programas expuestos no sostienen los conceptos clave ni recomendaciones FRAC durante toda la campaña; se percibe que se entiende la importancia del tema, pero, es difícil de sostenerla. Asimismo, la revisión de condiciones óptimas para el desarrollo de oidiosis, permitió rotaciones especializadas por etapa fenológica; por ejemplo, los programas expuestos ejecutaron de 7 a 9 aplicaciones durante brotación, de 3 a 6 durante floración, de 7 a 13 durante crecimiento de bayas y de 3 a 4 durante envero. Por último, la estimación del riesgo combinado permitió conocer el punto de partida para mejorar la rotación de moléculas, no solo por el lado de intercambiar modos de acción, sino de considerar el efecto a largo plazo de la repetición de activos; por ejemplo, los programas acumularon un riesgo combinado de entre 118,5 y 179,5; a partir de esto, depende del usuario el mantener este valor, o replantear el programa completo para evitar problemas a largo plazo.

### 5.2. Recomendaciones

Se recomienda el uso del valor de riesgo combinado. Por lo anteriormente expuesto, servirá para realizar mejores rotaciones y preservar la eficacia de fungicidas de alto y medio riesgo. Por otro lado, incluir mezclas y combinaciones a los programas de aplicación, ya que, permiten mantener la eficacia de activos aplicados de manera individual. También, emplear fungicidas multisitio y biológicos, para reducir la carga química y diseñar mejores planes fitosanitarios.

Por otra parte, se sugiere programar las labores culturales de acuerdo a las aplicaciones, y viceversa, para mejorar el éxito sobre el control de oidiosis. Además, poner en práctica los conceptos de *Tree Row Volume* y el cálculo de volumen de aplicación, ya que, permitirá ahorrar tiempo, esfuerzo y dinero; además de, reducir la carga de fungicidas enviada al cultivo.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Agraria de Noticias. (2020a). *ADEX: Exportaciones de uva de mesa crecieron en valor 13% en la campaña 2019/2020*. <https://agraria.pe/noticias/adex-exportaciones-de-uva-de-mesa-crecieron-en-valor-13-en-1-21541>
- Agencia Agraria de Noticias. (2020b). *Campaña de uva 2020/2021 inició con crecimiento en exportaciones de 10.96% en valor durante octubre*. <https://agraria.pe/noticias/campana-de-uva-2020-2021-inicio-con-crecimiento-en-exportaci-23341>
- Agrios, G. (2004). Plant pathology: Fifth edition. In *Plant Pathology: Fifth Edition* (5th ed., Vol. 9780080473). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02037-6>
- Alenazi, M. M., Shafiq, M., Alobeed, R. S., Alsdon, A. A., Abbasi, N. A., Ali, I., Mubushar, M., & Javed, I. (2019). Application of abscisic acid at veraison improves red pigmentation and accumulation of dietary antioxidants in red table grapes cv. Red Globe at harvest. *Scientia Horticulturae*, 257(March). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108672>
- Almanza-Merchán, P. J., Cely, P. A. S., & Gebauer, G. F. (2012). *Manual de Viticultura Tropical*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Alston, J. M., & Sambucci, O. (2019). Grapes in the World Economy. In C. Kole (Ed.), *The grape genome* (p. 367). Springer Nature Switzerland AG.
- Brent, K. J., & Hollomon, D. W. (2007a). *FUNGICIDE RESISTANCE: THE ASSESSMENT OF RISK* (2nd ed.). Fungicide Resistance Action Committee.
- Brent, K. J., & Hollomon, D. W. (2007b). *FUNGICIDE RESISTANCE IN CROP PATHOGENS: HOW CAN IT BE MANAGED?* (2nd ed.). Fungicide Resistance Action Committee.
- Burbano-Figueroa, Ó. (2020). Plant resistance to pathogens: A review describing the vertical and horizontal resistance concepts. *Revista Argentina de Microbiología*,

52(3), 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.04.006>

Carisse, O., Bacon, R., Lefebvre, A., & Lessard, K. (2009). A degree-day model to initiate fungicide spray programs for management of grape powdery mildew [*Erysiphe necator*]. *Epidemiology*, *194*(March), 186–194.

Champagnol, F. (1984). *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*.

Deliere, L., Miclot, A. S., Sauris, P., Rey, P., & Calonnec, A. (2010). Efficacy of fungicides with various modes of action in controlling the early stages of an *Erysiphe necator*-induced epidemic. *Pest Management Science*, *66*(12), 1367–1373. <https://doi.org/10.1002/ps.2029>

Delp, C. J. (1954). Effect of temperature and humidity on the Grape powdery mildew fungus. *Phytopathology*, *44*(11), 615–626.

Doster, M. A., & Schnathorst, W. C. (1985). Effects of Leaf Maturity and Cultivar Resistance on Development of the Powdery Mildew Fungus on Grapevines. *Phytopathology*, *75*, 318–321.

Dry, I., Riaz, S., Fuchs, M., Sosnowski, M., & Thomas, M. (2019). Scion Breeding for Resistance to Biotic Stresses. In Chittaranjan Kole (Ed.), *The grape genome* (p. 367). Springer Nature Switzerland AG.

Essling, M., McKay, S., & Petrie, P. R. (2021). Fungicide programs used to manage powdery mildew (*Erysiphe necator*) in Australian vineyards. *Crop Protection*, *139*(August 2020), 105369. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105369>

Fungicide Resistance Action Committee. (2010). *FRAC recommendations for fungicide mixtures designed to delay resistance evolution*. January, 1–7.

Fungicide Resistance Action Committee. (2019). *Pathogen risk list* (Issue September).

Fungicide Resistance Action Committee. (2020a). *FRAC Code List 2020: Fungal control agents sorted by cross resistance pattern and mode of action (including FRAC Code numbering)*. 1–16.

Fungicide Resistance Action Committee. (2020b). *Succinate Dehydrogenase Inhibitor (SDHI) Working Group*.

Gadoury, D. M., Seem, R. C., Pearson, R. C., & Wilcox, W. F. (2001). Effects of powdery

- mildew on vine growth, yield, and quality of Concord grapes. *Plant Disease*, 85(2), 137–140. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.2.137>
- Gadoury, David M., Cadle-Davidson, L., Wilcox, W. F., Dry, I. B., Seem, R. C., & 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. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00728.x>
- Gadoury, David M., Seem, R. C., Ficke, A., & Wilcox, W. F. (2003). Ontogenic resistance to powdery mildew in grape berries. *Phytopathology*, 93(5), 547–555. <https://doi.org/10.1094/PHTO.2003.93.5.547>
- Gadoury, David M., Wilcox, W. F., Rumbolz, J., & Gubler, W. D. (2011). Powdery mildew. In *Compendium of Grapevine Diseases*. APS Press.
- Gil, E. (2000, June). Viticultura de precisión: Aplicación modular de fitosanitario en viña. *Vida Rural*, 109, 44–46.
- Hidalgo, L. (1991). *Poda de la vid* (4th ed.). Mundi-Prensa.
- Jones, G. V., & Davis, R. E. (2000). Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *American Journal of Enology and Viticulture*, 51(3), 249–261.
- Leroux, P., Fritz, R., Albertini, C., Lanen, C., Bach, J., Gredt, M., & Chapeland, F. (2002). Mechanism of resistance to fungicides in field strains of *Botrytis cinerea*. *Pest Management Science*, 58, 876–888.
- Lu, W., Newlands, N. K., Carisse, O., Atkinson, D. E., & Cannon, A. J. (2020). Disease risk forecasting with Bayesian learning networks: Application to grape powdery mildew (*Erysiphe necator*) in vineyards. *Agronomy*, 10(5), 1–29. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050622>
- MIDAGRI. (2021). *Las exportaciones agrarias cierran el 2020 con ventas de US\$ 7,791 millones*. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/342351-las-exportaciones-agrarias-cierran-el-2020-con-ventas-de-us-7-791-millones>
- Muñoz, I., & Muena, V. (2017). Sistemas de Conducción en Uva de Mesa. In A. Torres (Ed.), *Manual del Cultivo de Uva de Mesa. Convenio INIA-INDAP* (p. 152). Instituto

de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

- Pellegrino, A., Lebon, E., Voltz, M., & Wery, J. (2005). Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.). *Plant and Soil*, 266(1–2), 129–142. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-0874-y>
- Pergher, G., & Petris, R. (2008). Pesticide Dose Adjustment in Vineyard Spraying and Potential for Dose Reduction. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal*, X(Mayo), 1–9.
- Quiroz Escobar, C., Luengo Castañeda, F., Salas Figueroa, C., Abarca Reyes, P., Bermudez Ortiz, P., Lobos Lobos, G., Larraín Sanhueza, P., Rodríguez Álvarez, F., Riquelme Sanhueza, J., & Santelices Salinas, S. (2016). Manejo integrado de plagas del nogal en la provincia de Choapa. In 324. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Redagícola. (2017). “*Se debe anticipar porque no hay umbrales en las enfermedades de uva de mesa.*” <https://www.redagricola.com/pe/se-anticipar-no-umbrales-las-enfermedades-uva-mesa/>
- Redagícola. (2018). *Un manejo integral no solo controla la enfermedad.* <https://www.redagricola.com/pe/un-manejo-integral-no-solo-controla-la-enfermedad/>
- Rodrigues da Cunha, J. P. A., & Guoveia Pereira, R. (2009). Nozzle and spray volume effects on chemical control of maize diseases. *Revista Ciência Agronômica*, 40(4), 533–538.
- Rodrigues da Cunha, J. P. A., & Manssano Peres, T. C. (2010). Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 32(4), 597–602. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.2502>
- Rossi, V., Caffi, T., Legler, S. E., & Fedele, G. (2020). A method for scoring the risk of fungicide resistance in vineyards. *Crop Protection*, October, 105477. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105477>
- Rüegg, J., Viret, O., & Raisigl, U. (1999). Adaptation of spray dosage in stone-fruit orchards on the basis of tree row volume. *OEPP/EPPO*, 29, 103–110.
- Sánchez-Hermosilla, J., Páez, F., Rincón, V. J., & Pérez-Alonso, J. (2013). Volume application rate adapted to the canopy size in greenhouse tomato crops. *Scientia Agricola*, 70(December), 390–396.

- Sasaki, R., Teixeira, M., Fernandes, H., Monteiro, P., & Rodrigues, D. (2013). Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. *Ciência Rural*, 43(September), 1605–1609.
- SENASA. (2020). *Guía para la Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para el Cultivo de Uva*. MIDAGRI.
- Sepúlveda, P. (2017). Enfermedades en Uva de Mesa. In A. Torres (Ed.), *Manual del Cultivo de Uva de Mesa. Convenio INIA-INDAP* (p. 152). Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Shigueaki, R., Teixeira, M., & Batista de Alverenga, C. (2011). Volumen diferenciado. *Máquinas - Cultivar*, 109(Año X), 8–10.
- Thiessen, L. D., Neill, T. M., & Mahaffee, W. F. (2017). Timing Fungicide Application Intervals Based on Airborne Erysiphe necator Concentrations. *Plant Disease*, 101(7), 1246–1252. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-16-1727-RE>
- Torres, E. (2017). Poda de la Vid. In Andrea Torres (Ed.), *Manual del Cultivo de Uva de Mesa. Convenio INIA-INDAP* (Vol. 18, p. 152). Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/18 Manual Uva de Mesa.pdf>
- Valdés-Gómez, H., Gary, C., Cartolaro, P., Lolas-Caneo, M., & Calon nec, A. (2011). Powdery mildew development is positively influenced by grapevine vegetative growth induced by different soil management strategies. *Crop Protection*, 30(9), 1168–1177. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.05.014>
- Walker, M. A., Claire, H., Summaira, R., & Uretsky, J. (2019). Grape Taxonomy and Germplasm. In Chittaranjan Kole (Ed.), *The grape genome* (p. 367). Springer Nature Switzerland AG.
- Walklate, J., Cross, J. V., Richardson, G. M., Baker, D. E., & Murray, R. A. (2003). A generic method of pesticide dose expression: Application to broadcast spraying of apple trees. *Annals of Applied Biology*, 143, 11–23.
- Zoffoli, J. P., & Latorre, B. A. (2011). Table grape (*Vitis vinifera* L.). In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Cocona to Mango* (pp. 179–212). Woodhead Publishing Limited.

<https://doi.org/10.1533/9780857092885.179>

## **VII. ANEXOS**



**FRAC Code List ©\*2020:  
Fungal control agents sorted by cross resistance pattern and  
mode of action  
(including FRAC Code numbering)**

**Disclaimer**

The technical information contained in the global guidelines/the website/the publication/the minutes is provided to CropLife International/RAC members, non-members, the scientific community and a broader public audience.

While CropLife International and the RACs make every effort to present accurate and reliable information in the guidelines, CropLife International and the RACs do not guarantee the accuracy, completeness, efficacy, timeliness, or correct sequencing of such information. CropLife International and the RACs assume no responsibility for consequences resulting from the use of their information, or in any respect for the content of such information, including but not limited to errors or omissions, the accuracy or reasonableness of factual or scientific assumptions, studies or conclusions.

Inclusion of active ingredients and products on the RAC Code Lists is based on scientific evaluation of their modes of action; it does not provide any kind of testimonial for the use of a product or a judgment on efficacy. CropLife International and the RACs are not responsible for, and expressly disclaim all liability for, damages of any kind arising out of use, reference to, or reliance on information provided in the guidelines.

Listing of chemical classes or modes of action in any of the CropLife International/RAC recommendations must not be interpreted as approval for use of a compound in a given country. Prior to implementation, each user must determine the current registration status in the country of use and strictly adhere to the uses and instructions approved in that country.

## INTRODUCTION

The following table lists commercial fungicides, mainly for use in plant protection, according to their mode of action and resistance risk. The most important bactericides are also included. Grouping is considering the biochemical mode of action, but a main driver is to identify cross-resistance patterns between chemistries.

The Table headings are defined as:

### MOA Code

Different letters (A to P, with added numbers) are used to distinguish fungicide groups according to their biochemical mode of action (MOA) in the biosynthetic pathways of plant pathogens. The grouping was made according to processes in the metabolism starting from nucleic acids synthesis (A) to secondary metabolism, e.g. melanin synthesis (I), followed by host plant defence inducers (P), recent molecules with an unknown mode of action and unknown resistance risk (U, transient status, until information about mode of action and mechanism of resistance becomes available), and chemical multi-site inhibitors (M). Fungicidal compositions of biological origin are grouped according to the main mode of action within the respective pathway categories. A more recently introduced category "Biologicals with multiple modes of action" (BM) is used for agents from biological origin showing multiple mechanisms of action.

### Target Site and Code

If available, the biochemical mode of action is given. In several cases the precise target site may not be known, however, a grouping within a given pathway / functional cluster is still possible. Grouping can also be made due to cross resistance profiles within a group or in relation to other groups.

### Group Name

The Group Names listed are based on chemical relatedness of structures which are accepted in literature (e.g. The Pesticide Manual). They are based on different sources (chemical structure, site of action, first important representative in group).

---

### **Chemical or Biological Group**

Grouping is based on chemical considerations. Nomenclature is according to IUPAC and Chemical Abstract name. Taxonomic information may be used for agents of biological origin.

### **Common name**

BSI/ISO accepted (or proposed) common name for an individual active ingredient expected to appear on the product label as definition of the product.

### **Comments on Resistance**

Details are given for the (molecular) mechanism of resistance and the resistance risk. If field-resistance is known to one member of the Group, it is most likely but not exclusively valid that cross resistance to other group members will be present. There is increasing evidence that the degree of cross resistance can differ between group members and pathogen species or even within species. For the latest information on resistance and cross resistance status of a pathogen / fungicide combination, it is advised to contact local FRAC representatives, product manufacturer's representatives or crop protection advisors. The intrinsic risk for resistance evolution to a given fungicide group is estimated to be **low, medium or high** according to the principles described in FRAC Monographs 1, 2 and 3. Resistance management is driven by intrinsic risk of fungicide, pathogen risk and agronomic risk (see FRAC pathogen risk list).

Similar classification lists of fungicides have been published by T. Locke on behalf of FRAG – UK (Fungicide Resistance, August 2001), and by P. Leroux (Classification des fongicides agricoles et résistance, Phytoma, La Défense des Végétaux, No. 554, 43-51, November 2002).

### **FRAC Code**

Numbers and letters are used to distinguish the fungicide groups according to their cross-resistance behaviour. This code should be used to define the GROUP Number on product labels. The numbers were assigned primarily according to the time of product introduction to the market. The letters refer to P = host plant defence inducers, M = chemical multi-site inhibitors, U = unknown mode of action and unknown resistance risk, and BM = biologicals with multiple modes of action. Reclassification of compounds based on new research may result in codes to expire. This is most likely in the U – section when the mode of actions gets clarified. These codes are not re-used for new groups; a note is added to indicate reclassification into a new code.

### **Last update: June 2020**

Next update decisions: January 2021

### *\* Disclaimer*

*The FRAC Code List is the property of FRAC and protected by copyright laws. The FRAC Code List may be used for educational purposes without permission from FRAC. Commercial use of this material may only be made with the express, prior and written permission of FRAC. Inclusion to the FRAC Code List is based on scientific evaluation of the mode of action of the active ingredients; it does not provide any kind of testimonial for the use of a product or a judgment on efficacy.*

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
A: nucleic acids metabolism	A1 RNA polymerase I	PA – fungicides (PhenylAmides)	acylalanines	benalaxyl benalaxyl-M (=kiralaxyl) furalaxyl metalaxyl metalaxyl-M (=mefenoxam)	Resistance and cross resistance well known in various Oomycetes but mechanism unknown.  <b>High risk.</b> <b>See FRAC Phenylamide Guidelines for resistance management</b>	4
			oxazolidinones	oxadixyl		
			butyrolactones	ofurace		
	A2 adenosin-deaminase	hydroxy-(2-amino-) pyrimidines	hydroxy-(2-amino-) pyrimidines	bupirimate dimethirimol ethirimol	Medium risk. Resistance and cross resistance known in powdery mildews. Resistance management required.	8
	A3 DNA/RNA synthesis (proposed)	heteroaromatics	isoxazoles	hymexazole	Resistance not known.	32
		isothiazolones	octhilinone			
A4 DNA topoisomerase type II (gyrase)	carboxylic acids	carboxylic acids	oxolinic acid	Bactericide. Resistance known. Risk in fungi unknown. Resistance management required.	31	

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
<b>B: Cytoskeleton and motor protein</b>	<b>B1</b> β-tubulin assembly in mitosis	<b>MBC - fungicides (Methyl Benzimidazole Carbamates)</b>	benzimidazoles	benomyl carbendazim fuberidazole thiabendazole	Resistance common in many fungal species. Several target site mutations, mostly E198A/G/K, F200Y in β-tubulin gene.	<b>1</b>
			thiophanates	thiophanate thiophanate-methyl	Positive cross resistance between the group members. Negative cross resistance to N-phenyl carbamates. <b>High risk.</b> <b>See FRAC Benzimidazole Guidelines for resistance management.</b>	
	<b>B2</b> β-tubulin assembly in mitosis	N-phenyl carbamates	N-phenyl carbamates	diethofencarb	Resistance known. Target site mutation E198K. Negative cross resistance to benzimidazoles. High risk. Resistance management required.	<b>10</b>
	<b>B3</b> β-tubulin assembly in mitosis	benzamides	toluamides	zoxamide	Low to medium risk. Resistance management required.	<b>22</b>
		thiazole carboxamide	ethylamino-thiazole-carboxamide	ethaboxam		
	<b>B4</b> cell division (unknown site)	phenylureas	phenylureas	pencycuron	Resistance not known.	<b>20</b>
	<b>B5</b> delocalisation of spectrin-like proteins	benzamides	pyridinylmethyl-benzamides	fluopicolide fluopimomide	Resistant isolates detected in grapevine downy mildew. Medium risk. Resistance management required	<b>43</b>
	<b>B6</b> actin/myosin/fimbrin function	cyanoacrylates	aminocyanoacrylates	phenamacril	Resistance known in <i>Fusarium graminearum</i> . Target site mutations in the gene coding for myosin-5 found in lab studies. Medium to high risk. Resistance management required.	<b>47</b>
aryl-phenyl-ketones			benzophenone	metrafenone	Less sensitive isolates detected in powdery mildews ( <i>Blumeria</i> and <i>Sphaerotheca</i> ) Medium risk. Resistance management required.  Reclassified from U8 in 2018	<b>50</b>
		benzoylpyridine	pyriofenone			

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
C. respiration	C1 complex I NADH oxido-reductase	pyrimidinamines	pyrimidinamines	diflumetorim	Resistance not known.	39
		pyrazole-MET1	pyrazole-5-carboxamides	tolfenpyrad		
		Quinazoline	quinazoline	fenazaquin		
	C2 complex II: succinate-dehydrogenase	SDHI (Succinate-dehydrogenase inhibitors)	phenyl-benzamides	benodanil flutolanil mepronil	Resistance known for several fungal species in field populations and lab mutants. Target site mutations in sdh gene, e.g. H/Y (or H/L) at 257, 267, 272 or P225L, dependent on fungal species. Resistance management required.  <b>Medium to high risk.</b>  <b>See FRAC SDHI Guidelines for resistance management.</b>	7
			phenyl-oxo-ethyl thiophene amide	isofetamid		
			pyridinyl-ethyl-benzamides	fluopyram		
			furan- carboxamides	fenfuram		
			oxathiin-carboxamides	carboxin oxycarboxin		
			thiazole-carboxamides	thiifluzamide		
			pyrazole-4-carboxamides	benzovindiflupyr bixafen fluidapyr fluxapyroxad furametpyr inpyrfluxam isopyrazam penflufen penthiopyrad sedaxane		
			N-cyclopropyl-N-benzyl-pyrazole-carboxamides	isoflucypram		
			N-methoxy-(phenyl-ethyl)-pyrazole-carboxamides	pydiflumetofen		
			pyridine-carboxamides	boscalid		
pyrazine-carboxamides	pyraziflumid					

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
C. respiration	C3 complex III: cytochrome bc1 (ubiquinol oxidase) at Qo site (cyt b gene)	QoI-fungicides (Quinone outside Inhibitors)	methoxy-acrylates	azoxystrobin coumoxystrobin enoxastrobin flufenoxystrobin picoxystrobin pyraoxystrobin	Resistance known in various fungal species. Target site mutations in cyt b gene (G143A, F129L) and additional mechanisms.  Cross resistance shown between all members of the Code 11 fungicides.  <b>High risk.</b>  <b>See FRAC QoI Guidelines for resistance management.</b>	11
			methoxy-acetamide	mandestrobin		
			methoxy-carbamates	pyraclostrobin pyrametostrobin tricyopyricarb		
			oximino-acetates	kresoxim-methyl trifloxystrobin		
			oximino-acetamides	dimoxystrobin fenaminostrobin metominostrobin orysastrobin		
			oxazolidine-diones	famoxadone		
			dihydro-dioxazines	fluoxastrobin		
			imidazolinones	fenamidone		
		benzyl-carbamates	pyribencarb			
		QoI-fungicides (Quinone outside Inhibitors; Subgroup A)	tetrazolinones	metyltetraprole	Resistance not known. Not cross resistant with Code 11 fungicides on G143A mutants.  <b>High risk.</b>  <b>See FRAC QoI Guidelines for resistance management.</b>	11A

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
C: respiration (continued)	C4 complex III: cytochrome bc1 (ubiquinone reductase) at Qi site	Qil - fungicides (Quinone inside Inhibitors)	cyano-imidazole	cyazofamid	Resistance risk unknown but assumed to be medium to high (mutations at target site known in model organisms). Resistance management required.	21
			sulfamoyl-triazole	amisulbrom		
			picolinamides	fenpicoxamid	No spectrum overlap with Oomycete fungicides cyazofamid and amisulbrom	
	C5 uncouplers of oxidative phosphorylation		dinitrophenyl-crotonates	binapacryl meptyldinocap dinocap	Resistance not known. Also acaricidal activity.	29
			2,6-dinitro-anilines	fluazinam	Low risk. However, resistance claimed in <i>Botrytis</i> in Japan.	
			(pyr.-hydrazones)	(ferimzone)	Reclassified to U 14 in 2012.	
C6 inhibitors of oxidative phosphorylation, ATP synthase	organo tin compounds	tri-phenyl tin compounds	fentin acetate fentin chloride fentin hydroxide	Some resistance cases known. Low to medium risk.	30	
C7 ATP transport (proposed)	thiophene-carboxamides	thiophene-carboxamides	siltiofam	Resistance reported. Risk low.	38	
C8 complex III: cytochrome bc1 (ubiquinone reductase) at Qo site, stigmatellin binding sub-site	QoSI fungicides (Quinone outside Inhibitor, stigmatellin binding type)	triazolo-pyrimidylamine	ametoctradin	Not cross resistant to Qol fungicides. Resistance risk assumed to be medium to high (single site inhibitor). Resistance management required.	45	
D: amino acids and protein synthesis	D1 methionine biosynthesis (proposed) ( <i>cgs</i> gene)	AP - fungicides (Anilino-Pyrimidines)	anilino-pyrimidines	cyprodinil mepanipyrim pyrimethanil	Resistance known in <i>Botrytis</i> and <i>Venturia</i> , sporadically in <i>Oculimacula</i> .  Medium risk. See FRAC Anilino-pyrimidine Guidelines for resistance management.	9
	D2 protein synthesis (ribosome, termination step)	enopyranuronic acid antibiotic	enopyranuronic acid antibiotic	blasticidin-S	Low to medium risk. Resistance management required.	23
	D3 protein synthesis (ribosome, initiation step)	hexopyranosyl antibiotic	hexopyranosyl antibiotic	kasugamycin	Resistance known in fungal and bacterial ( <i>P. glumae</i> ) pathogens. Medium risk. Resistance management required.	24
	D4 protein synthesis (ribosome, initiation step)	glucopyranosyl antibiotic	glucopyranosyl antibiotic	streptomycin	Bactericide. Resistance known. High risk. Resistance management required.	25
	D5 protein synthesis (ribosome, elongation step)	tetracycline antibiotic	tetracycline antibiotic	oxytetracycline	Bactericide. Resistance known. High risk. Resistance management required.	41

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
<b>E: signal transduction</b>	<b>E1</b> signal transduction (mechanism unknown)	aza-naphthalenes	aryloxyquinoline	quinoxifen	Resistance to quinoxifen known. Medium risk. Resistance management required. Cross resistance found in <i>Erysiphe (Uncinula) necator</i> but not in <i>Blumeria graminis</i> .	<b>13</b>
			quinazolinone	proquinazid		
	<b>E2</b> MAP/Histidine-Kinase in osmotic signal transduction (os-2, HOG1)	PP-fungicides (PhenylPyrrroles)	phenylpyrroles	fenpiclonil fludioxonil	Resistance found sporadically, mechanism speculative. Low to medium risk. Resistance management required.	<b>12</b>
	<b>E3</b> MAP/Histidine-Kinase in osmotic signal transduction (os-1, Daff)	dicarboximides	dicarboximides	chlozolinate dimethachlone iprodione procymidone vinclozolin	Resistance common in <i>Botrytis</i> and some other pathogens. Several mutations in OS-1, mostly I365S.  Cross resistance common between the group members.  <b>Medium to high risk. See FRAC Dicarboximide Guidelines for resistance management.</b>	<b>2</b>

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE	
F: lipid synthesis or transport / membrane integrity or function	F1	formerly dicarboximides					
	F2 phospholipid biosynthesis, methyltransferase	phospho-thiolates	phospho-thiolates	edifenphos iprobenfos (IBP) pyrazophos	Resistance known in specific fungi. Low to medium risk. Resistance management required if used for risky pathogens.	6	
		Dithiolanes	dithiolanes	isoprothiolane			
	F3 cell peroxidation (proposed)	AH-fungicides (Aromatic Hydrocarbons) (chlorophenyls, nitroanilines)	aromatic hydrocarbons	biphenyl chloroneb dicloran quintozene (PCNB) tecnazene (TCNB) tolclofos-methyl	Resistance known in some fungi. Low to medium risk. Cross resistance patterns complex due to different activity spectra.	14	
		heteroaromatics	1,2,4-thiadiazoles	etridiazole			
	F4 cell membrane permeability, fatty acids (proposed)	Carbamates	carbamates	iodocarb propamocarb prothiocarb	Low to medium risk. Resistance management required.	28	
	F5	formerly CAA-fungicides					
	F6 microbial disrupters of pathogen cell membranes	formerly <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> strains (FRAC Code 44); reclassified to BM02 in 2020					
	F7 cell membrane disruption	plant extract	terpene hydrocarbons, terpene alcohols and terpene phenols	extract from <i>Melaleuca alternifolia</i> (tea tree)	Resistance not known.	46	
				plant oils (mixtures): eugenol, geraniol, thymol			
F8 ergosterol binding	Polyene	amphoteric macrolide antifungal antibiotic from <i>Streptomyces natalensis</i> or <i>S. chattanoogensis</i>	natamycin (pimaricin)	Resistance not known. Agricultural, food and topical medical uses.	48		
F9 lipid homeostasis and transfer/storage	OSBPI oxysterol binding protein homologue inhibition	piperidinyl-thiazole-isoxazolines	oxathiapiroline fluoxapiroline	Resistance risk assumed to be medium to high (single site inhibitor). Resistance management required. (Previously U15).	49		

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE	
G: sterol biosynthesis in membranes	G1 C14- demethylase in sterol biosynthesis (erg11/cyp51)	DMI-fungicides (DeMethylation Inhibitors) (SBI: Class I)	piperazines	triforine	There are big differences in the activity spectra of DMI fungicides.  Resistance is known in various fungal species. Several resistance mechanisms are known incl. target site mutations in cyp51 (erg 11) gene, e.g. V136A, Y137F, A379G, I381V; cyp51 promotor; ABC transporters and others.  Generally wise to accept that cross resistance is present between DMI fungicides active against the same fungus.  DMI fungicides are Sterol Biosynthesis Inhibitors (SBIs), but show no cross resistance to other SBI classes.  <b>Medium risk.</b>  <b>See FRAC SBI Guidelines for resistance management.</b>	3	
			pyridines	pyrifenoxy pyrisoxazole			
			pyrimidines	fenarimol nuanimol			
			imidazoles	imazalil oxpoconazole pefurazoate prochloraz triflumizole			
			triazoles	azaconazole bitertanol bromuconazole cyproconazole difenoconazole diniconazole epoxiconazole etaconazole fenbuconazole fluquinconazole flusilazole flutriafol hexaconazole imibenconazole ipconazole mefentrifluconazole metconazole myclobutanil penconazole propiconazole simeconazole tebuconazole tetraconazole triadimefon triadimenol triticonazole prothioconazole			
				triazolinthiones			
				G2 $\Delta^{14}$ -reductase and $\Delta^8 \rightarrow \Delta^7$ -isomerase in sterol biosynthesis (erg24, erg2)			amines ("morpholines") (SBI: Class II)
	piperidines	fenpropidin piperalin					
	spiroketal-amines	spiroxamine					
	G3 3-keto reductase, C4- de-methylation (erg27)	KRI fungicides (KetoReductase Inhibitors) (SBI: Class III)	hydroxylanilides	fenhexamid	Low to medium risk. Resistance management required.	17	
			amino-pyrazolinone	fenpyrazamine			
	G4 squalene-epoxidase in sterol biosynthesis (erg1)	(SBI class IV)	thiocarbamates	pyributicarb	Resistance not known, fungicidal and herbicidal activity.	18	
			allylamines	naftifine terbinafine	Medical fungicides only.		

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
H: cell wall biosynthesis	H3		Formerly glucopyranosyl antibiotic (validamycin)		reclassified to U18	26
	H4 chitin synthase	polyoxins	peptidyl pyrimidine nucleoside	polyoxin	Resistance known. Medium risk. Resistance management required.	19
	H5 cellulose synthase	CAA-fungicides (Carboxylic Acid Amides)	cinnamic acid amides	dimefthomorph flumorph pyrimorph	Resistance known in <i>Plasmopara viticola</i> but not in <i>Phytophthora infestans</i> . Cross resistance between all members of the CAA group. <b>Low to medium risk.</b> <b>See FRAC CAA Guidelines for resistance management.</b>	40
			valinamide carbamates	benthiavalicarb iprovalicarb valifenalate		
mandelic acid amides			mandipropamid			
I: melanin synthesis in cell wall	I1 reductase in melanin biosynthesis	MBI-R (Melanin Biosynthesis Inhibitors – Reductase)	isobenzo-furanone	fthalide	Resistance not known.	16.1
			pyrrolo-quinolinone	pyroquilon		
			triazolobenzothiazole	tricyclazole		
	I2 dehydratase in melanin biosynthesis	MBI-D (Melanin Biosynthesis Inhibitors – Dehydratase)	cyclopropane-carboxamide	carpropamid	Resistance known. Medium risk. Resistance management required.	16.2
			carboxamide	diclocymet		
			propionamide	fenoxanil		
I3 polyketide synthase in melanin biosynthesis	MBI-P (Melanin Biosynthesis Inhibitors – Polyketide synthase)	trifluoroethyl-carbamate	tolprocarb	Resistance not known. Additional activity against bacteria and fungi through induction of host plant defence	16.3	

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
<b>P: host plant defence induction</b>	<b>P 1</b> salicylate-related	benzo-thiadiazole (BTH)	benzo-thiadiazole (BTH)	acibenzolar-S-methyl	Resistance not known.	<b>P 01</b>
	<b>P 2</b> salicylate-related	benzothiazole	benzothiazole	probenazole (also antibacterial and antifungal activity)	Resistance not known.	<b>P 02</b>
	<b>P 3</b> salicylate-related	thiadiazole-carboxamide	thiadiazole-carboxamide	tiadinil isotianil	Resistance not known.	<b>P 03</b>
	<b>P 4</b> polysaccharide elicitors	natural compound	polysaccharides	laminarin	Resistance not known.	<b>P 04</b>
	<b>P 5</b> anthraquinone elicitors	plant extract	complex mixture, ethanol extract (anthraquinones, resveratrol)	extract from <i>Reynoutria sachalinensis</i> (giant knotweed)	Resistance not known.	<b>P 05</b>
	<b>P 6</b> microbial elicitors	microbial	bacterial <i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus mycoides</i> isolate J	Resistance not known.	<b>P 06</b>
			fungal <i>Saccharomyces</i> spp.	cell walls of <i>Saccharomyces cerevisiae</i> strain LAS117		
<b>P 7</b> phosphonates	phosphonates	ethyl phosphonates	fosetyl-AI	Few resistance cases reported in few pathogens. Low risk. Reclassified from U33 in 2018	<b>P 07 (33)</b>	
			phosphorous acid and salts			

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE	
<b>U: Unknown mode of action</b> (U numbers not appearing in the list derive from reclassified fungicides)	unknown	cyanoacetamide-oxime	cyanoacetamide-oxime	cymoxanil	Resistance claims described. Low to medium risk. Resistance management required.	<b>27</b>	
	formerly phosphonates (FRAC code 33), reclassified to P 07 in 2018						
	unknown	phthalamic acids	phthalamic acids	tecloftalam (Bactericide)	Resistance not known.	<b>34</b>	
	unknown	benzotriazines	benzotriazines	triazoxide	Resistance not known.	<b>35</b>	
	unknown	benzene-sulfonamides	benzene-sulphonamides	flusulfamide	Resistance not known.	<b>36</b>	
	unknown	pyridazinones	pyridazinones	diclomezine	Resistance not known.	<b>37</b>	
	formerly methasulfocarb (FRAC code 42), reclassified to M 12 in 2018						
	unknown	phenyl-acetamide	phenyl-acetamide	cyflufenamid	Resistance in <i>Sphaerotheca</i> . Resistance management required	<b>U 06</b>	
	cell membrane disruption (proposed)	guanidines	guanidines	dodine	Resistance known in <i>Venturia inaequalis</i> . Low to medium risk. Resistance management recommended.	<b>U 12</b>	
	unknown	thiazolidine	cyano-methylene-thiazolidines	flutianil	Resistance in <i>Sphaerotheca</i> . Resistance management required	<b>U 13</b>	
	unknown	pyrimidinone-hydrazones	pyrimidinone-hydrazones	ferimzone	Resistance not known (previously C5).	<b>U 14</b>	
	complex III: cytochrome bc1, unknown binding site (proposed)	4-quinolyl-acetate	4-quinolyl-acetates	tebufloquin	Not cross resistant to QoI. Resistance risk unknown but assumed to be medium. Resistance management required.	<b>U 16</b>	
	Unknown	tetrazolyloxime	tetrazolyloximes	picarbutrazox	Resistance not known. Not cross resistant to PA, QoI, CAA.	<b>U 17</b>	
	Unknown (Inhibition of trehalase)	glucopyranosyl antibiotic	glucopyranosyl antibiotics	validamycin	Resistance not known. Induction of host plant defense by trehalose proposed (previously H3).	<b>U 18</b>	

MOA	TARGET SITE AND CODE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
<b>NC: not classified</b>	unknown	diverse	diverse	mineral oils, organic oils, inorganic salts, material of biological origin	Resistance not known.	<b>NC</b>
<b>M: Chemicals with multi-site activity</b>	multi-site contact activity	inorganic (electrophiles)	inorganic	copper (different salts)	Also applies to organic copper complexes	<b>M 01</b>
		inorganic (electrophiles)	inorganic	sulphur		<b>M 02</b>
		dithiocarbamates and relatives (electrophiles)	dithio-carbamates and relatives	ferbam mancozeb maneb metiram propineb thiram zinc thiazole zineb ziram		<b>M 03</b>
		phthalimides (electrophiles)	phthalimides	captan captafol folpet	generally considered as a low risk group without any signs of resistance developing to the fungicides.	<b>M 04</b>
		chloronitriles (phthalonitriles) (unspecified mechanism)	chloronitriles (phthalonitriles)	chlorothalonil		<b>M 05</b>
		sulfamides (electrophiles)	sulfamides	dichlofluanid tolylfluanid		<b>M 06</b>
		bis-guanidines (membrane disruptors, detergents)	bis-guanidines	guazatine iminocadine		<b>M 07</b>
		triazines (unspecified mechanism)	triazines	anilazine		<b>M 08</b>
		quinones (anthraquinones) (electrophiles)	quinones (anthraquinones)	dithianon		<b>M 09</b>
		quinoxalines (electrophiles)	quinoxalines	chinomethionat / quinomethionate		<b>M 10</b>
		maleimide (electrophiles)	maleimide	fluoroimide		<b>M 11</b>
		thiocarbamate (electrophiles)	thiocarbamate	methasulfocarb		reclassified from U42 in 2018

MOA	TARGET SITE	GROUP NAME	CHEMICAL OR BIOLOGICAL GROUP	COMMON NAME	COMMENTS	FRAC CODE
<b>BM: Biologicals with multiple modes of action</b>	multiple effects on cell wall, ion membrane transporters; chelating effects	plant extract	polypeptide (lectin)	extract from the cotyledons of lupine plantlets ("BLAD")	Resistance not known (previously M12).	<b>BM 01</b>
	affects fungal spores and germ tubes, induced plant defence	plant extract	Phenols, Sesquiterpenes, Triterpenoids, Coumarins	extract from <i>Swinglea glutinosa</i>	Resistance not known	
	multiple effects described (examples, not all apply to all biological groups):  competition, mycoparasitism, antibiosis, membrane disruption by fungicidal lipopeptides, lytic enzymes, induced plant defence	microbial (living microbes or extract, metabolites)	fungal <i>Trichoderma</i> spp.	<i>Trichoderma atroviride</i> strain I-1237	Resistance not known	<b>BM 02</b>
				<i>Trichoderma atroviride</i> strain LU132		
				<i>Trichoderma atroviride</i> strain SC1		
				<i>Trichoderma asperellum</i> strain T34		
			fungal <i>Clonostachys</i> spp.	<i>Gliocladium catenulatum</i> strain J1446		
				<i>Clonostachys rosea</i> strain CR-7		
			bacterial <i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> strain QST713 strain FZB24 strain MBI600 strain D747 strain F727  <i>Bacillus subtilis</i> strain AFS032321	synonyms for <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> are <i>Bacillus subtilis</i> and <i>B. subtilis</i> var. <i>amyloliquefaciens</i> (previous taxonomic classification).  <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> reclassified from F6, Code 44 in 2020	
			bacterial <i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Pseudomonas chlororaphis</i> strain AFS009		
bacterial <i>Streptomyces</i> spp.	<i>Streptomyces griseovirides</i> strain K61					
	<i>Streptomyces lydicus</i> strain WYEC108					

## Anexo 2: Pathogen Risk List (2019)



### **PATHOGEN RISK LIST**

(September 2019)

#### **Purpose**

Information is provided about the risk of pathogens to develop resistance to fungicides under specific agronomic conditions.

#### **Introduction**

Because no scientific criteria are available to accurately determine the risk of a pathogen to develop resistance, our classification is based on experience and reported resistance claims over the last 50 years. Generally, the risk increases when a pathogen undergoes many and short disease cycles per season, the dispersal through spores over time and space is high, sexual recombination is mandatory in the disease cycle and the competitive ability of resistant individual is at least as high as that of the wild type (in the absence of selection pressure). Furthermore, the risk is considered as high when resistance evolved already after few years of product use.

#### **Examples to illustrate pathogen risk**

It is quite easy to detect single isolates of a pathogen with reduced sensitivity to a given fungicide but only their frequency over time and space will decide whether product performance will be affected significantly. Therefore, we consider the pathogen risk as medium to high only if resistance was reported in commercial situations for more than one fungicide class.

Wheat powdery mildew is considered as high risk pathogen because resistance evolved to six different chemical classes within 2 to 5 years, whereas wheat brown rust is a low risk pathogen because no resistance evolved to the major fungicide classes (DMIs, QoIs, SDHIs, amines) used against this pathogen, even not after 30 years (DMIs). Eyespot in wheat bears a medium risk, resistance evolved to MBCs and prochloraz (DMIs) only after 10 to 15 years.

An interesting case is *Phytophthora infestans* that developed resistance quite rapidly to the phenylamide fungicides but not at all to CAA fungicides, QoI fungicides, Qil fungicides, cymoxanil, carbamates, and organotin.

Therefore, we re-classified *P. infestans* as a medium risk pathogen for all modes of action (see Table 2).

### Pathogen risk classes

The following plant pathogens (Table 1) from major world markets have evolved resistance to fungicides in a time span sufficiently short to be a serious threat to the commercial success of more than one fungicide class.

Table 1: Plant pathogens accepted as showing a high risk of development of resistance to fungicides (adapted from EPPO 2002, FRAC Monograph No. 3, Russell, 2003). Yellow marking indicates pathogens, which were added to this update of the Pathogen Risk List in 2019.

Pathogen	Crop	Disease
<i>Alternaria alternata</i>	various	brown leaf spot
<i>Botrytis allii</i>	onions	neck rot
<i>Botrytis cinerea</i>	various, especially grapevine	grey mold
<i>Botrytis elliptica</i>	lilly	leaf blight
<i>Botrytis squamosa</i>	onions	leaf blight
<i>Blumeria graminis</i>	wheat/barley	powdery mildew
<i>Corynespora cassiicola</i>	soybean, various	target spot
<i>Dydimella bryoniae</i>	cucurbits, various	fruit rot
<i>Plasmopara viticola</i>	grapevine	downy mildew
<i>Pseudoperonospora cubensis</i>	cucurbits, various	downy mildews
<i>Pseudocercospora (Mycosphaerella) fijiensis</i>	banana	black sigatoka
<i>Pyricularia oryzae</i>	rice, turf	rice blast, leaf spot
<i>Ramularia collo-cygni</i>	barley	Ramularia leaf spot
<i>Sphaerotheca fuliginea, Podosphaera xanthii</i>	cucurbits, various	powdery mildews
<i>Venturia inaequalis</i>	apple	Scab, black spot

The following pathogens (Table 2) are regarded as posing a much lower risk because resistance is not a major problem or has been slow to develop. In some cases this is due to the pattern of product use. Cases of specific isolates being classed as resistant may be known in some instances, but in commercial practice resistance has not created major disease control problems. The EPPO Guideline does not list these and decisions on baseline production must be made on individual case reviews.

Table 2: Plant pathogens accepted as showing a medium risk of development of resistance to fungicides. Yellow marking indicates pathogens, which were added to this update of the Pathogen Risk List in 2019. Orange marking indicates a change in classification.

Pathogen	Crop	Disease
<i>Albugo candida</i>	Brassica species	white rust
<i>Alternaria brassicicola</i> , <i>A. brassicae</i>	oilseed rape and cabbage	black leaf spot, dark leaf spot
<i>Alternaria solani</i>	potato, tomato	early blight
<i>Ascochyta pisi</i>	peas	Ascochyta blight
<i>Bipolaris maydis</i>	maize	leaf blight
<i>Blumeriella jaapii</i>	sour cherry	leaf spot
<i>Bremia lactucae</i>	lettuce	downy mildew
<i>Cercospora beticola</i>	sugar beet	leaf spots
<i>Cercospora kikuchii</i>	peanuts, beans, various	leaf blight
<i>Cercospora sojae</i>	soybean	frogeye leaf spot
<i>Colletotrichum acutatum</i>	various	anthracnose
<i>Colletotrichum gloeosporoides</i>	various	anthracnose
<i>Drepanopeziza ribis</i>	currants	leaf spot
<i>Elsinoe</i> spp.	citrus	citrus scab
<i>Erysiphe cruciferarum</i>	powdery mildew	various
<i>Erysiphe heraclei</i>	powdery mildew	carrot
<i>Erysiphe necator</i> *	grapevine	powdery mildew
<i>Gibberella fujikuroi</i> *	rice	bakanae
<i>Glomerella cingulata</i> (anamorph: <i>Gloeosporium fructigenum</i> )	pome fruit	bitter rot
<i>Neofabraea malicorticis</i> (anamorph: <i>Gloeosporium malicorticis</i> )	pome fruit	Anthracnose, storage rot
<i>Neofabraea perennans</i> (anamorph: <i>Gloeosporium perennans</i> )	pome fruit	bull's eye rot
<i>Neofabraea vagabunda</i> (anamorph: <i>Gloeosporium album</i> )	pome fruit	bull's eye rot, bitter rot
<i>Leveillula taurica</i>	pepper	powdery mildew
<i>Monographella nivale</i>	cereals, turf	snow mold
<i>Monilinia</i> spp.	various	blossom and fruit rot
<i>Mycosphaerella brassicicola</i>	crucifer	ringspot
<i>Mycosphaerella graminicola</i> ( <i>Zymoseptoria tritici</i> )	wheat	leaf spot
<i>Mycosphaerella musicola</i>	banana	yellow sigatoka
<i>Mycosphaerella nawae</i>	kaki	circular leaf spot
<i>Mycosphaerella pinodes</i>	pea	blight, purple spot
<i>Mycovellosiella natrassii</i>	eggplant	leaf mold
<i>Oculimacula</i> spp.	wheat / barley	eyespot
<i>Oidium neolycopersici</i>	tomatoes	powdery mildew
<i>Penicillium digitatum</i>	various	green mold
<i>Penicillium expansum</i>	various	blue mold

\* The EPPO Guideline lists these pathogens as high risk pathogens of which baseline sensitivity is normally requested

Continuation of Table 2:

Pathogen	Crop	Disease
<i>Peronospora manshurica</i>	soybean	downy mildew
<i>Peronospora</i> spp.	various	downy mildews
<i>Pestalotiopsis longiseta</i>	tea, various	grey blight
<i>Phakopsora pachyrhizi</i>	soybean	Asian rust
<i>Phyllosticta citricarpa</i>	citrus	black spot
<i>Phytophthora capsici</i>	cucurbit, pepper, chili etc	damping off, leaf blight, fruit rot
<i>Phytophthora infestans</i>	potato/tomato	late blight
<i>Phytophthora porri</i>	leek	white tip
<i>Pseudoperonospora humuli</i>	hops	downy mildew
<i>Pyrenopeziza brassicae</i>	oilseed rape	light leaf spot
<i>Pyrenophora teres</i>	barley	net blotch
<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	wheat	tan spot
<i>Ramularia areola</i>	cotton	Ramularia blight
<i>Sclerotinia homoeocarpa</i>	turf, various	dollar spot
<i>Septoria glycines</i>	soybean	brown spot
<i>Septoria lycopersici</i>	tomatoes	Septoria leaf spot
<i>Setosphaeria turcica</i>	maize	Northern leaf blight
<i>Sphaerotheca macularis</i>	strawberry, various	powdery mildew
<i>Sphaerotheca mors-uvae</i>	raspberry, black currants	powdery mildew
<i>Spilocea oleagina</i>	olives	leaf spot
<i>Stemphylium vesicarium</i>	asparagus	purple spot
<i>Venturia carpophila</i>	stone fruits, almonds	scab
<i>Venturia cerasi</i>	cherry	scab
<i>Venturia nashicola</i>	Chinese pear	scab
<i>Venturia pirina</i>	pear	scab
<i>Wilsonomyces carpophilus</i> ( <i>Ascospora beijerinckii</i> )	cherries, almonds, apricots, etc	shot hole and canker
* The EPPO Guideline lists these pathogens as high risk pathogens of which baseline sensitivity is normally requested		

For certain pathogens, resistance occurred only to one chemical class but not to others and therefore, the pathogen is considered as low risk pathogen. Typical pathogens and diseases are given in Table 3. In some cases the financial outlay in establishing baselines will not be justified by the small markets involved irrespective of their risk of resistance development. Pathogens in this group are of local importance, but in commercial market terms are often considered as minor pathogens. Decisions on baseline production must be made on a case by case basis.

Table 3: Plant pathogens with low risk of development of resistance to fungicides or of minor commercial importance. Yellow marking indicates pathogens, which were added to this update of the Pathogen Risk List in 2019.

Pathogen	Crop	Disease
<i>Alternaria helianthi</i>	sunflower	leaf blight
<i>Botryosphaeria obtusa</i>	grapes	ESCA
<i>Cochliobolus carbonum, Bipolaris zeicola</i>	corn	Northern leaf spot
<i>Cochliobolus miyabeanus</i>	rice	brown spot
<i>Cronartium ribicola</i>	currants	currant rust
<i>Diaporthe helianthi</i>	sunflower	stem canker
<i>Diplocarpon mespili</i>	quince and hawthorn	leaf blight and fruit spot
<i>Eutypa lata</i>	grapes	ESCA
<i>Fusarium spp.</i>	various	Fusarioses
<i>Gloeodes pomigena</i>	apples	sooty blotch
<i>Gnomonia erythrostoma</i>	cherries	cherry leaf scorch
<i>Gnomonia leptostyla</i>	walnuts	walnut leaf blotch
<i>Guignardia bidwellii</i>	grapes	black rot
<i>Gymnosporangium sabinae</i>	pears	pear rust
<i>Helminthosporium solani</i>	potato	silver scurf
<i>Hemileia vastatrix</i>	coffee	rust
<i>Hypomyces rosellus (Dactylium dendroides)</i>	mushrooms	cobweb mould
<i>Kabatiella zeae</i>	corn	eye spot
<i>Parastagonospora nodorum (Stagonospora)</i>	wheat	leaf spot
<i>Leptosphaeria biglobosa</i>	oilseed rape	black leg
<i>Leptosphaeria maculans</i>	oilseed rape	black leg
<i>Leptothyrium pomi</i>	pome fruit	fly speck
<i>Nectria galligena</i>	pome fruit	canker and dry eye rot
<i>Phaeoacremonium aleophilum</i>	grapes	ESCA
<i>Phaeomoniella chlamydospora</i>	grapes	ESCA
<i>Phoma macdonaldii</i>	sunflower	stem disease
<i>Phomopsis viticola</i>	grapes	cane and leaf spot
<i>Phytophthora cactorum</i>	various	damping off, crown rot
<i>Phytophthora fragariae</i>	strawberry	root rot
<i>Phytophthora rubi</i>	strawberry	root rot
<i>Podosphaera leucotricha</i>	pome fruit	powdery mildew
<i>Pseudopezizica tracheiphila (Pseudopeziza)</i>	grapes	red fire disease
<i>Puccinia sorghi</i>	corn	common rust
<i>Puccinia spp.</i>	wheat / barley, various	rusts
<i>Pythium spp.</i>	various	damping off
<i>Rhizoctonia spp.</i>	various	foot and root rot
<i>Rhynchosporium commune (secalis)</i>	barley	scald
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	various	white mold
<i>Sclerotium spp.</i>	various	blight
<i>Septoria piricola</i>	pears	leaf spot
<i>Sphaerulina oryzina</i>	rice	narrow brown leaf spot
<i>Taphrina deformans</i>	peaches, almonds	leaf curl
<i>Tilletia spp.</i>	cereals	bunts
<i>Tranzschelia spp.</i>	stonefruits and nuts	rust
<i>Uromyces spp.</i>	various	rust
<i>Ustilago spp.</i>	cereals	smuts

When the pathogen risk is plotted against the inherent resistance risk of the fungicide class, the combined resistance risk for each pathogen/fungicide combination can be estimated (Figure 1).

Figure 1: Combined resistance risk diagram based on inherent fungicide risk and inherent pathogen risk (\* only most important classes and groups mentioned) (according to FRAC Monograph No. 2, by K.J. Brent and D.W. Hollomon, 2007, \*\* SDHI fungicides have been moved from medium to medium to high risk)

↓ Fungicide Classes *	↓ Fungicide Risk	Combined Risk		
benzimidazoles dicarboximides phenylamides QoI fungicides SDHI fungicides**	high = 3	3	6	9
SBI fungicides anilinopyrimidines phenylpyrroles phosphorothiolates	medium = 2	2	4	6
multi site fungicides (e.g. dithiocarbamates Copper, Sulphur) MBI-R inhibitors SAR inducers	low = 1	1	2	3
Pathogen risk →		low = 1	medium = 2	high = 3
Pathogen groups * →		seed borne pathogens (e.g. <i>Pyrenophora</i> spp., <i>Ustilago</i> spp.) soil-borne pathogens (e.g. <i>Phytophthora</i> spp.) rust fungi <i>Rhizoctonia</i> spp.	<i>Rhynchosporium commune</i> <i>Zymoseptoria tritici</i> <i>Oculimacula</i> spp.	<i>Blumeria graminis</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Penicillium</i> spp. <i>Pyricularia oryzae</i> <i>Venturia inaequalis</i> <i>Pseudocercospora fijiensis</i>

The pathogen risk should be estimated also in regard to the local intensity of disease development that is based on weather conditions, fertilization, irrigation, cultural practices and degree of resistance of cultivars. Therefore, we propose to modify the risk diagram in the following manner (Figure 2). Details can be found in the article written by KH Kuck, "Fungicide Resistance Management in a New Regulatory Environment", in the Proceedings of the Reinhardtsbrunn Symposium 2004 (Modern fungicides and antifungal agents, Dehne, Gisi, Kuck, Russell, eds., BCPC 2005).

Figure 2: Combined resistance risk diagram based on inherent fungicide risk, inherent pathogen risk, and agronomic risk (\* only most important classes and groups mentioned, \*\* medium to high risk) (modified according to Kuck, 2005)

↓ Fungicide Classes *	↓ Fungicide Risk	Combined Risk			↓ Agronomic Risk
benzimidazoles dicarboximides phenylamides QoI fungicides SDHI fungicides**	high = 6	6 3 1.5	12 6 3	18 9 4.5	high = 1 medium = 0.5 low = 0.25
SBI fungicides anilinopyrimidines phenylpyrroles	medium = 4	4 2 1	8 4 2	12 6 3	high = 1 medium = 0.5 low = 0.25
multi site fungicides (e.g. dithiocarbamates) MBI-R inhibitors SAR inducers	low = 1	1 0.5 0.25	2 1 0.5	3 1.5 0.75	high = 1 medium = 0.5 low = 0.25
Pathogen risk →		low = 1	medium = 2	high = 3	
Pathogen groups * →		seed borne pathogens (e.g. <i>Pyrenophora</i> sp., <i>Ustilago</i> sp.) soil-borne pathogens (e.g. <i>Phytophthora</i> sp.) rust fungi <i>Rhizoctonia</i> sp. <i>Fusarium</i> sp. <i>S. sclerotiorum</i>	<i>E. necator</i> <i>G. fujikuroi</i> <i>Oculimacula</i> sp. <i>R. commune</i> <i>P. teres</i> <i>Z. tritici</i> <i>S. homoeocarpa</i> <i>Monilinia</i> sp. <i>Cercospora</i> sp. <i>P. infestans</i>	<i>B. graminis</i> <i>B. cinerea</i> <i>P. viticola</i> <i>P. oryzae</i> <i>V. inaequalis</i> <i>P. fijiensis</i>	