

Pronóstico del riesgo de crecimiento de la roya: Guía de usuario del modelo ExpeRoya

Autores :

**Natacha Motisi, Jacques Avelino, Pierre Bommel, Grégoire Leclerc,
Isabelle Merle, Edwin Treminio**

Colaboradores externos :

Marie-Hélène Robin, Jean-Noël Aubertot

El subdelegado CIRAD desarrolló un modelo para el pronóstico del
riesgo epidemiológico de la roya del café
en relación con el **clima, el hospedero y el manejo**



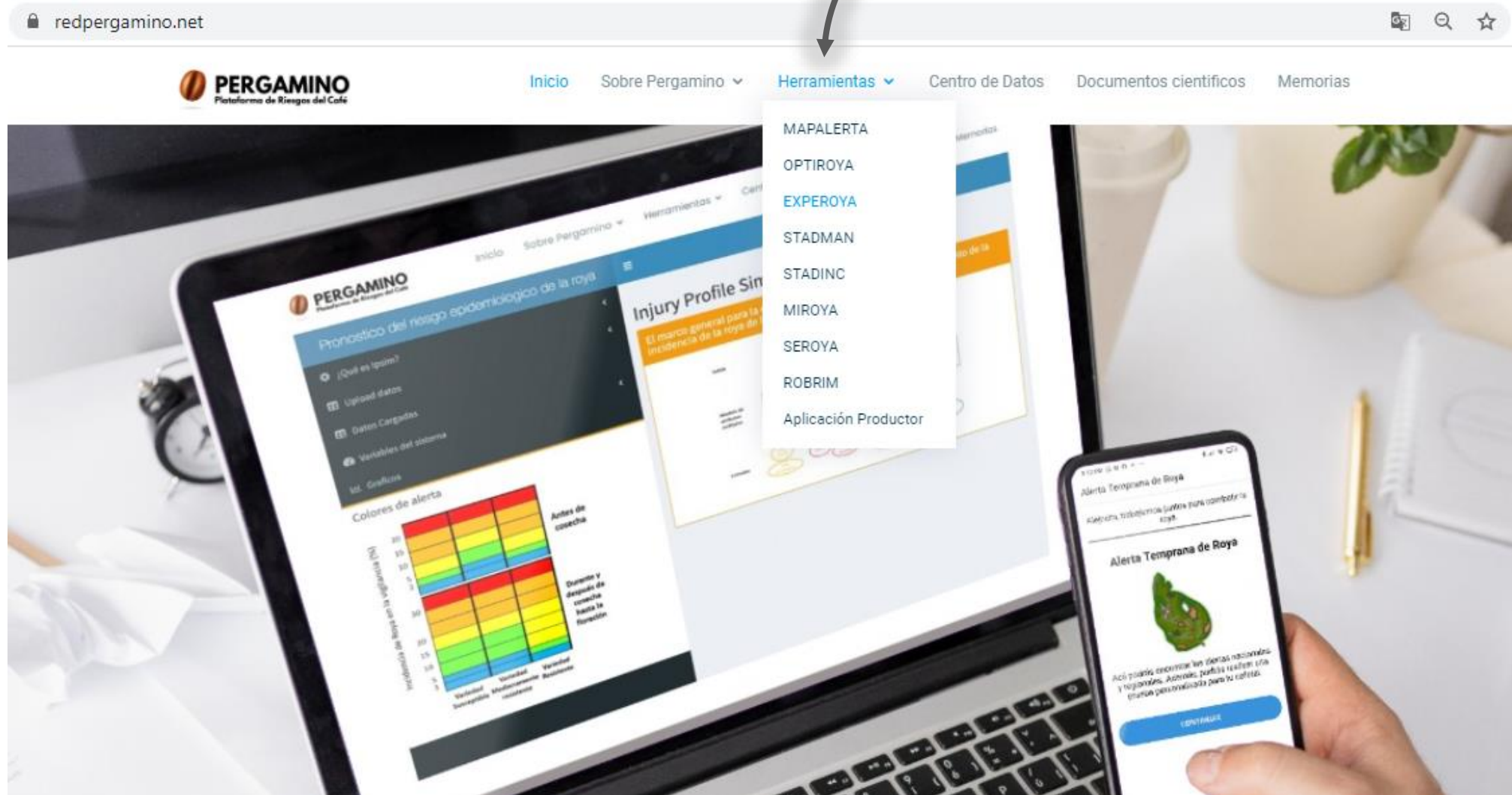
¿Cómo se usa la aplicación ExpeRoya?

Plataforma PERGAMINO

<http://www.redpergamino.net/>

Etapa 1 : Conectarse en la plataforma PERGAMINO <http://www.redpergamino.net/>

Haga clic en “Herramientas”
y elige **EXPEROYA**



Aquí son las informaciones sobre la metodología Ipsim y el modelo **EXPEROYA**

Carga sus datos aquí

Vizualiza sus datos aquí

defina las variables del sistema aquí

Vizualiza los graficos aquí

Vizualiza los arboles de relaciones aquí

Pronostico del riesgo epidemiologico de la roya

- ¿Qué es Ipsim?
- Upload datos
- Datos Cargadas
- Variables del sistema
- Graficos
- Arbol de relaciones

Injury Profile Simulator

El marco general para la evaluación multiatributo del riesgo de aumento de la incidencia de la roya de la hoja del café

Salida

Riesgo de crecimiento de la incidencia de la

Modelo de atributos múltiples

Roya

Cafeto

Entradas

Daily rainfall

Daily temperature

Shade

Fungicide

Coffee nutrition

Fruit load

Type of

Date of begin of harvest

Date of end of harvest

Colores de alerta

20			
15			
10			
5			
3			

Antes de cosecha

Etapa 2.1 : Preparar los datos epidemiológicos y meteorológicos y guardar en .csv

Ejemplos de archivos csv

Las únicas variables utilizadas en el modelo son:

1. la fecha
2. la incidencia

!!

Los nombres de las columnas fecha, incidencia, tmean y precip deben escribirse en el archivo como en el ejemplo

Datos epidemiológicos

Zona	Sitio	fecha	incidencia	latitud	longitud	Fenología	Variedad
JINOTEGA	LA RAQUEL - JI	18/03/2020	4.52	13.1331253	-85.9841003	Floracion Loc	CATIMOR
JINOTEGA	LOS PAPALES - JI	16/03/2020	11.98	13.0926352	-85.9784927	Floración	
JINOTEGA	EL CEDRO - JI 2	16/03/2020	2.11	13.2933292	-85.9061203	Floracion Loc	CATURRA
JINOTEGA	SANTA MARTHA - JI	13/03/2020	19.18	13.3435001	-85.6533966	Floración	CATURRA
JINOTEGA	SAN ANTONIO - JI	10/03/2020	9.4	13.2570047	-85.8382111	Floración	
JINOTEGA	LA CHIRIPA - JI	10/03/2020	5.47	13.1821003	-85.898201	Floración	CATURRA
JINOTEGA	EL PAPALON - JI	10/03/2020	8.41	13.3122997	-86.0690002	Floración	CATURRA
JINOTEGA	EL PORVENIR - JI	09/03/2020	0.29	13.257	-86.0348969	Fruto Consis	CATURRA

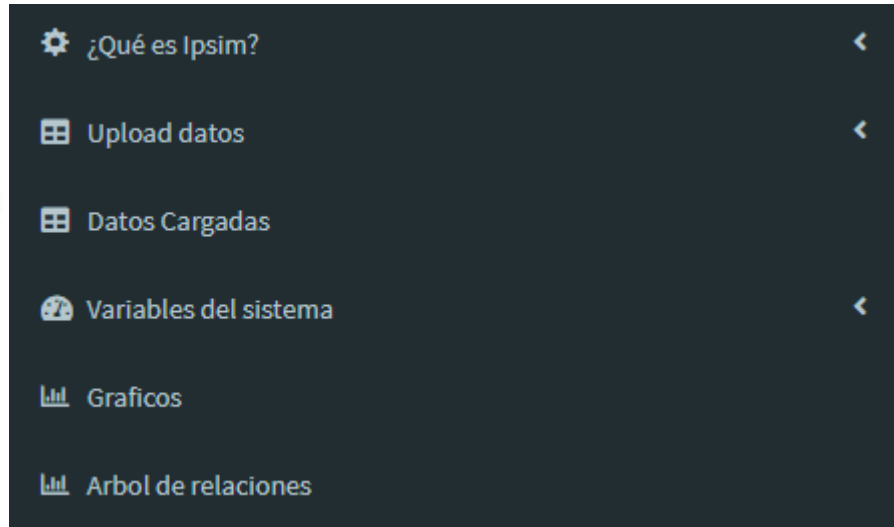
Datos meteorológicos

A	B	C	D
Estación	fecha	tmean	precip
Apanas	2019-09-12	26.95	0
Apanas	2019-09-13	22.48	0.2
Apanas	2019-09-14	21.82	0.6
Apanas	2019-09-15	21.9	8
Apanas	2019-09-16	21.58	5.2
Apanas	2019-09-17	22.09	6.6
Apanas	2019-09-18	22.46	0
Apanas	2019-09-19	21.26	2.4

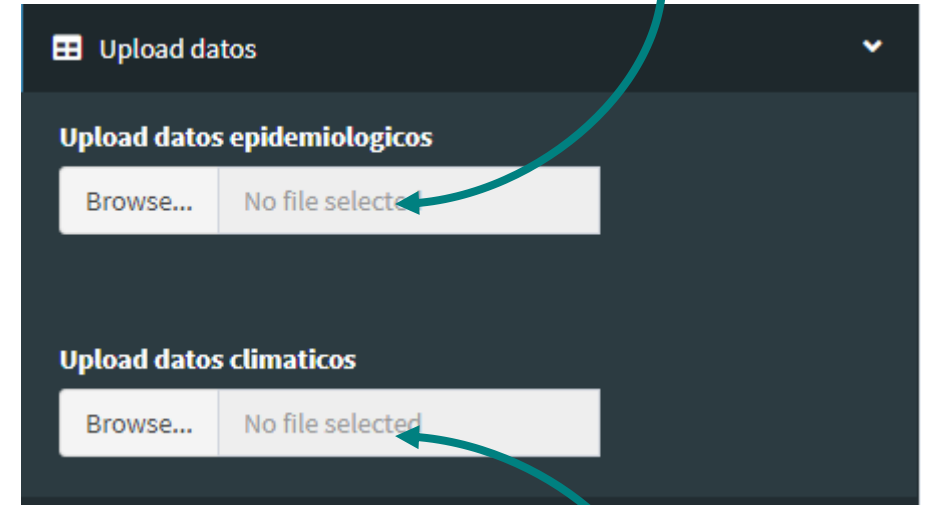
1. la fecha,
2. la temperatura promedio diaria (tmean)
3. la precipitación diaria (precip)

Etapa 2.2 : Cargar los datos epidemiológicos y meteorológicos

Haga clic en
"Upload
datos"



Cargar el archivo
epidemiológico
Ex: monitoreo.csv



Cargar el archivo
del clima diario
Ex: clima.csv



El archivo del clima
tiene que cubrir
todo el periodo
monitoreado.

Puede visualizar el archivo
de sus datos
epidemiológicos...

...y el grafico
de sus datos

Pronostico del riesgo epidemiologico de la roya

¿Qué es Ipsim?

Upload datos

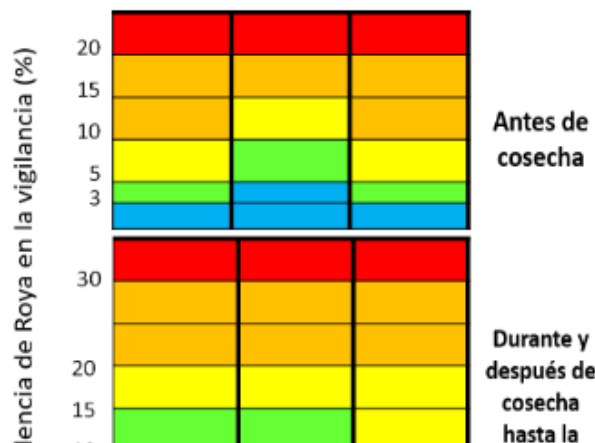
Datos Cargadas

Variables del sistema

Graficos

Arbol de relaciones

Colores de alerta

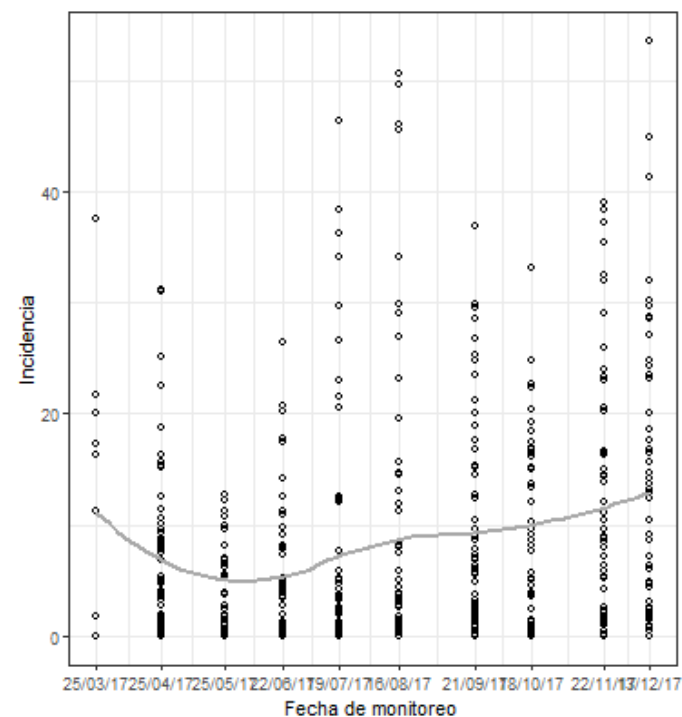


Datos epidemiologicos

Datos climaticos

fecha	pais	altitud	variedad	incidencia
20/04/2017	honduras	1097	catuai	0.18
20/04/2017	honduras	865	mezcla	2.79
29/04/2017	honduras	1157	catuai	30.99
29/04/2017	honduras	1092	catuai	9.38
19/04/2017	honduras	1052	catuai	3.93
24/04/2017	honduras	1037	catuai	0.48
27/04/2017	honduras	1040	bourbon	15.12
28/04/2017	honduras	1198	pacas	8.78
29/04/2017	honduras	1198	catuai	4.89
24/04/2017	honduras	984	catuai	7.43
27/04/2017	honduras	1157	catuai	8.47
27/04/2017	honduras	1092	catuai	4.03
24/04/2017	honduras	1063	catuai	2.69
25/04/2017	honduras	1180	catuai	0.00

Sus datos epidemiologicos

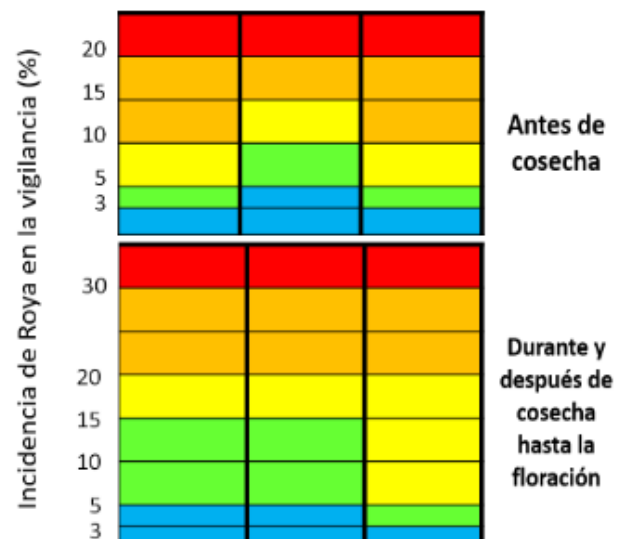


Aquí puede visualizar el archivo de sus datos climaticos...

...y el grafico de estos datos

- ¿Qué es Ipsim?
- Upload datos
- Datos Cargadas
- Variables del sistema
- Graficos
- Arbol de relaciones

Colores de alerta

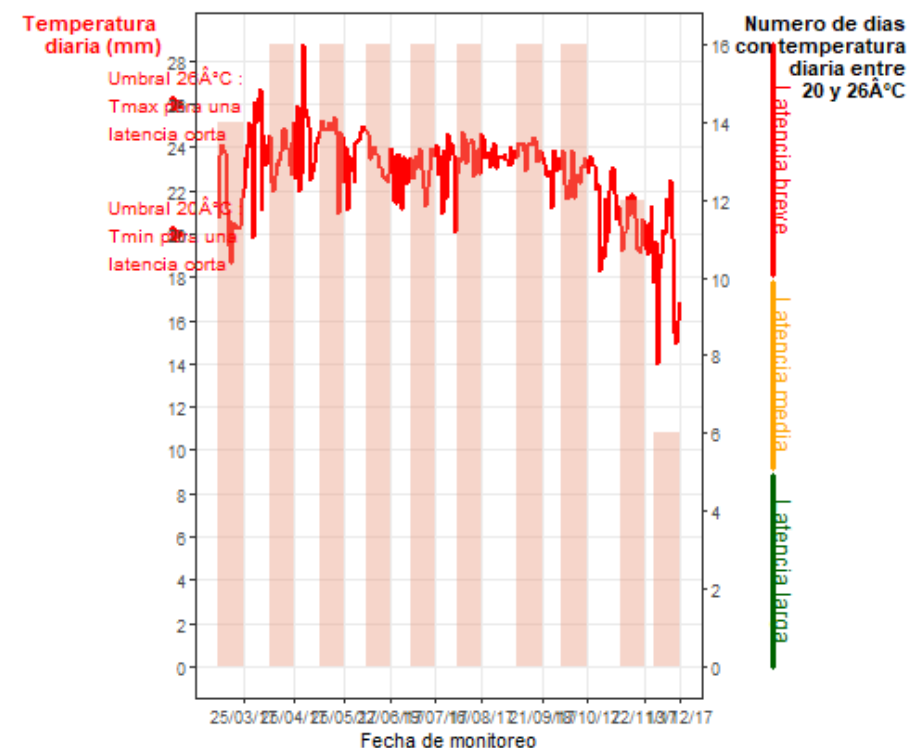


Datos epidemiologicos

Datos climaticos

fecha	precip	tmean
1/1/2015	0.07	21.30
1/1/2016	2.53	23.10
1/1/2017	0.00	21.73
1/10/2015	0.00	23.87
1/10/2016	5.33	23.90
1/10/2017	13.97	23.47
1/11/2015	0.00	24.43
1/11/2016	1.93	22.30
1/11/2017	0.00	22.00
1/12/2015	0.67	14.70
1/12/2016	0.00	22.40
1/12/2017	1.15	18.35
1/2/2015	0.00	21.90
1/2/2016	0.00	22.23
1/2/2017	0.00	21.43
1/3/2015	0.00	23.77

Temperatura y eficacia de la latencia



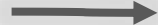
Precipitaciones y eficacia de la aparicion de las hojas, la infeccion y el lavado de las esporas

NB: Los datos meteorologicos considerados son los de los 15 dias antes de la fecha de monitoreo

Etapa 3 : Rellenar las variables del sistema, eligiendo una opción para cada variable

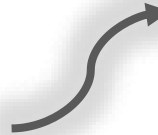
Variedad

Susceptible
Moderadamente susceptible
Resistente



Nutrición suficiente

Sí : según análisis de suelo
No : menos que la dosis adecuada



Mes de aplicación de los químicos

Marque los meses de aplicación



Carga fructífera (que afecta la incidencia)

Alta : > 40 q/ha
Media : 17-40 q/ha
Baja : < 17 q/ha



Sombra

Alta : > 60% de sombra
Media : 40-60% de sombra
Baja o pleno sol : < 40% de sombra



Indique la fecha de la floración, la fecha del inicio de la cosecha y la fecha de la fin de la cosecha (son fechas esperadas u observadas)



Calidad de la poda de los cafetos

Cada mes, indique si había un poda o no
Total: poda del cafeto entera
50%: poda de 50% de las hojas
25%: poda de 25% de las hojas
No: no poda



Variables del sistema

Variedad	Carga fructifera	
<input type="text" value="Susceptible"/>	<input type="text" value="Baja"/>	
Nutrición suficiente	Sombra	
<input type="text" value="Si"/>	<input type="text" value="Baja o pleno sol"/>	
Fecha de la floración	Fecha del inicio de la cosecha	Fecha de la fin de la cosecha
<input type="text" value="2017-04-01"/>	<input type="text" value="2017-10-01"/>	<input type="text" value="2018-01-01"/>
Mes de aplicación de químicos		
<input type="checkbox"/> Enero	<input type="checkbox"/> Julio	
<input type="checkbox"/> Febrero	<input type="checkbox"/> Agosto	
<input type="checkbox"/> Marzo	<input type="checkbox"/> Setiembre	
<input type="checkbox"/> Abril	<input type="checkbox"/> Octubre	
<input type="checkbox"/> Mayo	<input type="checkbox"/> Noviembre	
<input type="checkbox"/> Junio	<input type="checkbox"/> Diciembre	
Calidad de la poda		
Enero	Julio	
<input type="text" value="No"/>	<input type="text" value="No"/>	

Etapa 4 : Visualizar los resultados del modelo

Los boxplots definen los datos del monitoreo

Las flechas rojas corresponden al pronóstico del crecimiento de la roya para el próximo mes

las letras rojas en la parte superior del gráfico indican la dirección del crecimiento pronosticado
B: la incidencia va bajar
E: la incidencia es estable o va aumentar levemente
A: la incidencia va aumentar
AF: la incidencia va aumentar fuertemente

Haga clic en "Graficos"

¿Qué es Ipsim?

Upload datos

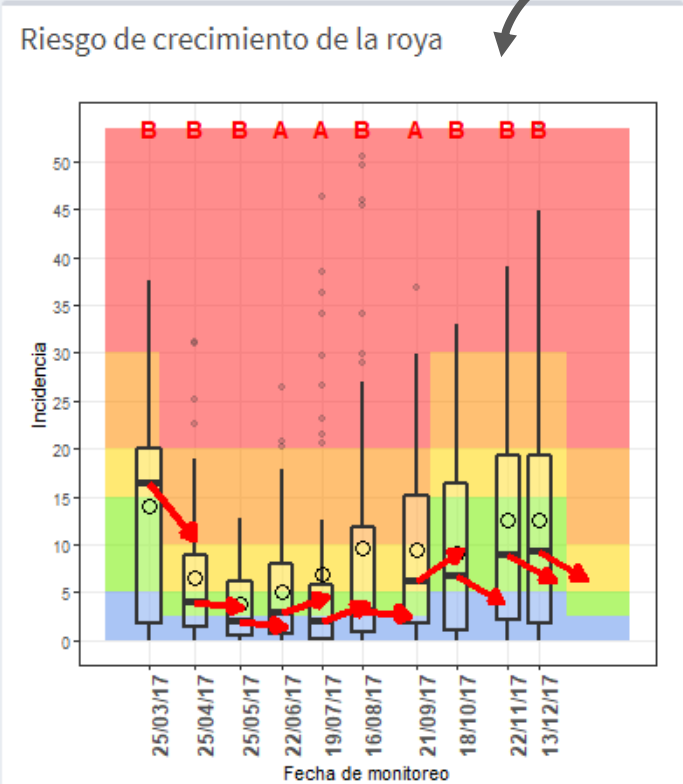
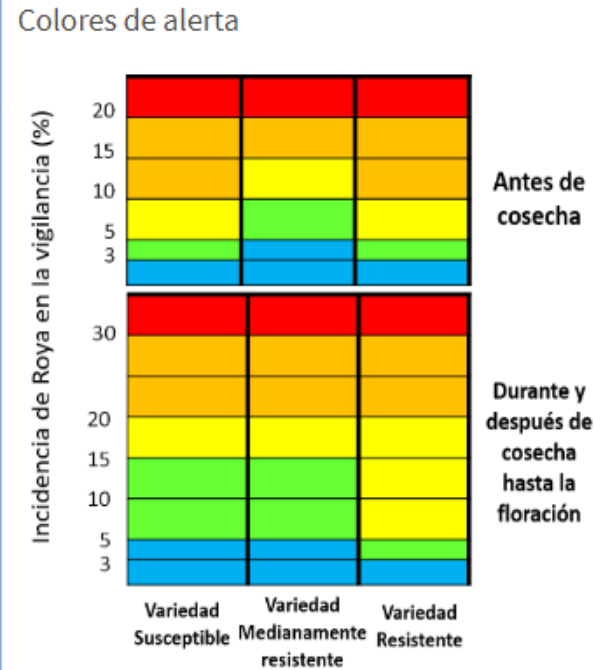
Datos Cargadas

Variables del sistema

Graficos

Arbol de relaciones

Descripción de como se definen los colores de alertas en el grafico



Las letras en rojo significan: AF : La incidencia va aumentar fuertemente el proximo mes, A : La incidencia va aumentar el proximo mes, E : La incidencia es estable o va aumentar levemente el proximo mes, B : La inciencia va bajar el proximo mes

MES EN CURSO: DICIEMBRE

La incidencia va bajar el próximo mes
Color de alerta del mes en curso: Verde
Color de alerta del proximo mes: Amarillo

Descripción del riesgo por el proximó mes de acuerdo al último monitoreo (en este caso es el mes de diciembre)

La metodología IPSIM

¿Qué es?

Puntos fundamentales

IPSIM

*Simulador de perfil de daños*¹ es una metodología para desarrollar modelos agroecológicos de protección de cultivos basados en enfoques multi-plagas/multi-daños. Esta metodología permite describir los efectos de diferentes factores (sistema de cultivo, clima, medio ambiente de la parcela etc.) sobre los patrones de daño

Este enfoque tiene la particularidad de poder combinar diferentes fuentes de conocimiento:



Información disponible en la bibliografía



Opinión de expertos

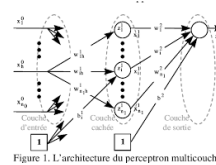


Figure 1. L'architecture du perceptron multicouches

Modelos de simulación cuantitativa



Conjuntos de datos resultantes de la experimentación o diagnóstico en parcelas agrícolas.

Este enfoque tiene la ventaja de simplificar la representación de relaciones complejas dentro de los agroecosistemas. Además, permite una rápida apropiación de la herramienta por parte de los actores del sector (en nuestro caso el sector cafetalero).

¹ Aubertot & Robin (2013)

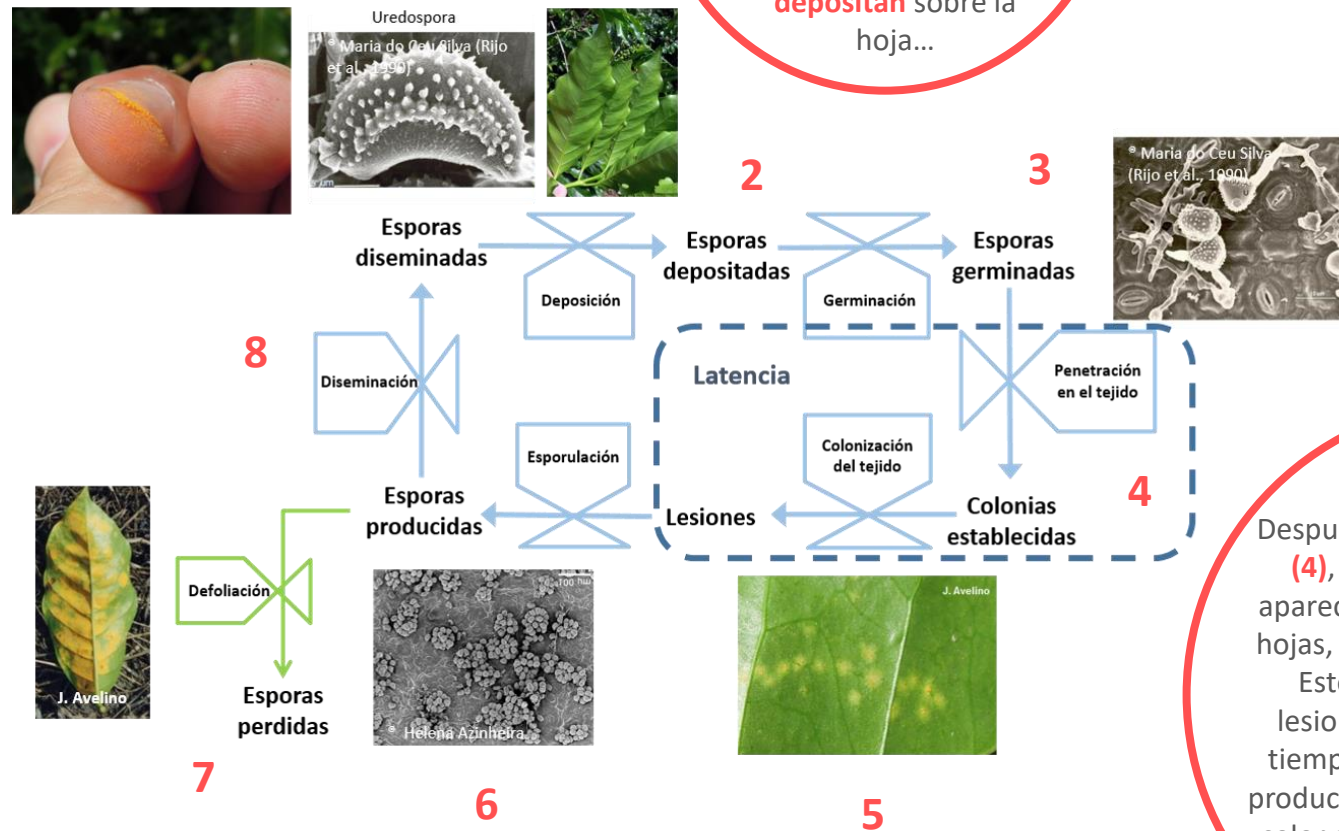
Conocimientos integrados en IPSIM Royá

1
La roya del cafeto es causada por un hongo *Hemileia vastatrix*
La principal forma de multiplicación de *H. vastatrix* es la **uredospora.**

2
La roya es un parásito obligatorio que afecta las hojas vivas del cafeto. La especie *Coffea arabica* es la más afectada. Las uredosporas se **depositan** sobre la hoja...

3
... y con condiciones meteorológicas favorables, **germinan** para penetrar en la parte inferior de la hoja, a través de los estomas.

8 Las uredosporas que aún están presentes en las hojas vivas del árbol pueden **dispersarse** en seco, ya sea por el viento o por el impacto de las gotas de lluvia en la parte superior de la hoja.

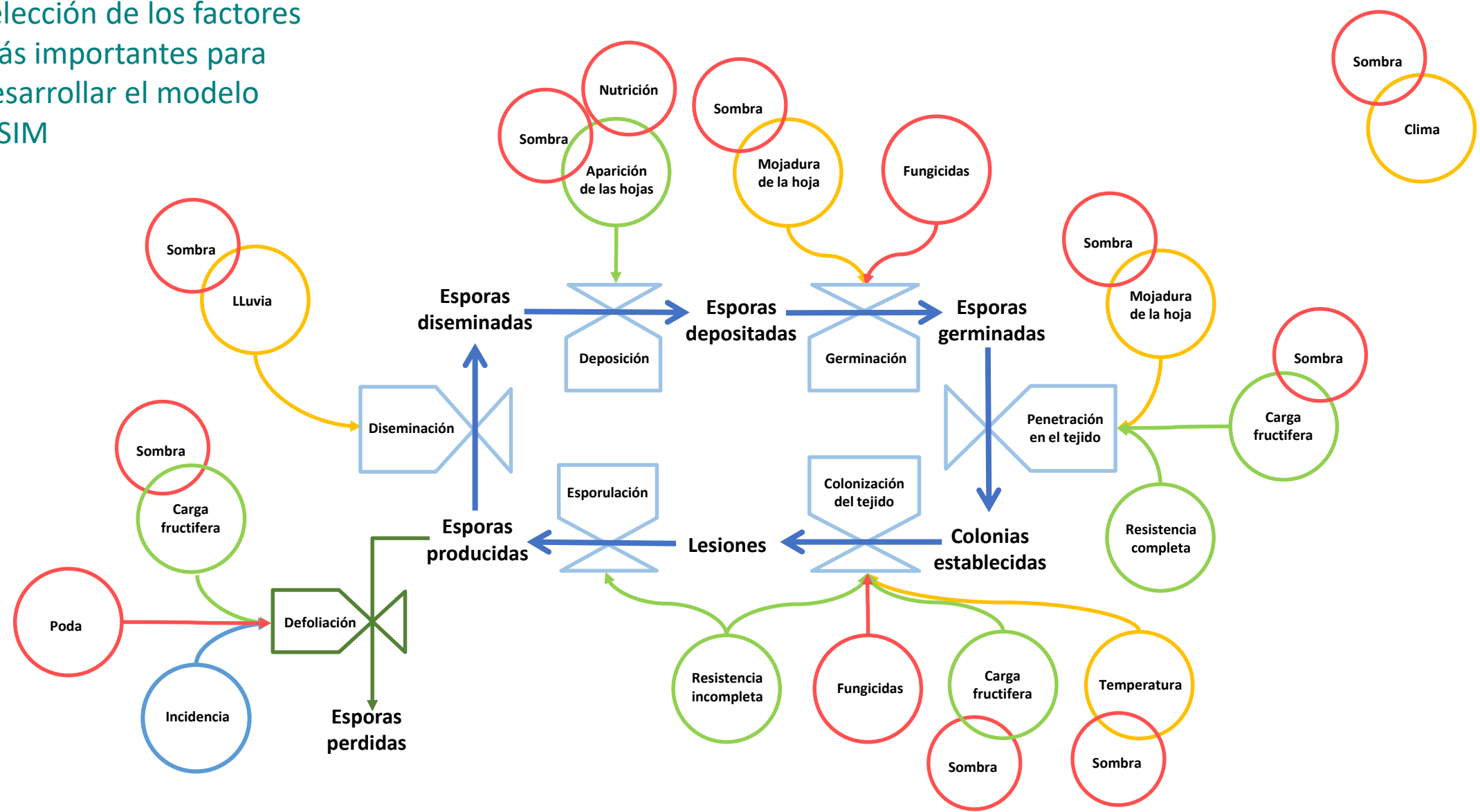


Después un **período de incubación (4)**, los **primeros síntomas (5)** aparecen en la parte inferior de las hojas, por donde penetra el hongo. Estos consisten en pequeñas lesiones amarillentas que con el tiempo se vuelven coalescentes y producen las **uredosporas (6)** con su color anaranjado característico. En la parte superior de las hojas se divisan manchas cloróticas.

Finalmente, las lesiones se vuelven necróticas si la hoja no ha caído antes. La defoliación provoca la **pérdida de las esporas** ya que la hoja muere.

Ciclo de vida de la roya y algunos de los factores más importantes que lo afectan de acuerdo a la literatura

Selección de los factores más importantes para desarrollar el modelo IPSIM



La sombra y la nutrición tienen un efecto indirecto en las variables epidemiológicas al cambiar las condiciones climáticas o el estado del hospedero

Codigo de color de los factores

- Manejo
- Hospedero
- Clima

La estructura de IPSIM Royo

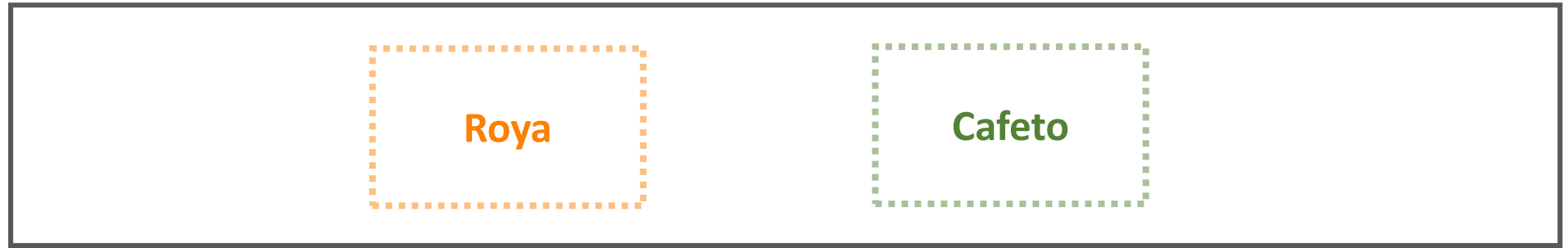
Resumen del modelo

Salida

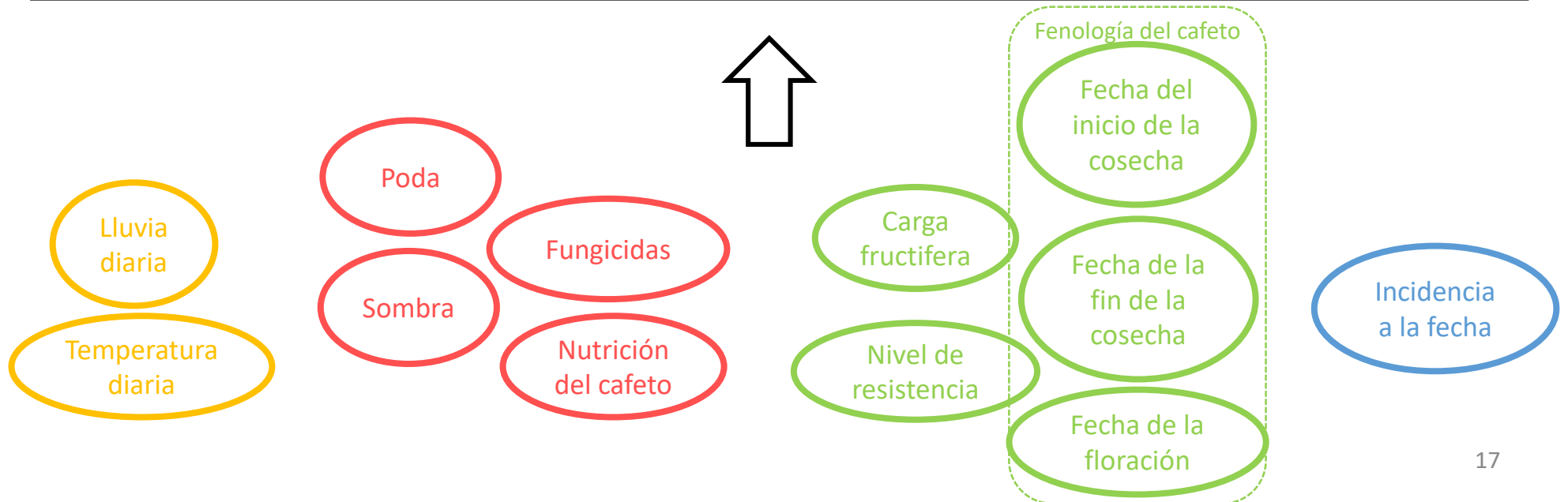
Riesgo mensual de crecimiento de la incidencia de la roya



Modelo de atributos múltiples



Variables de entrada



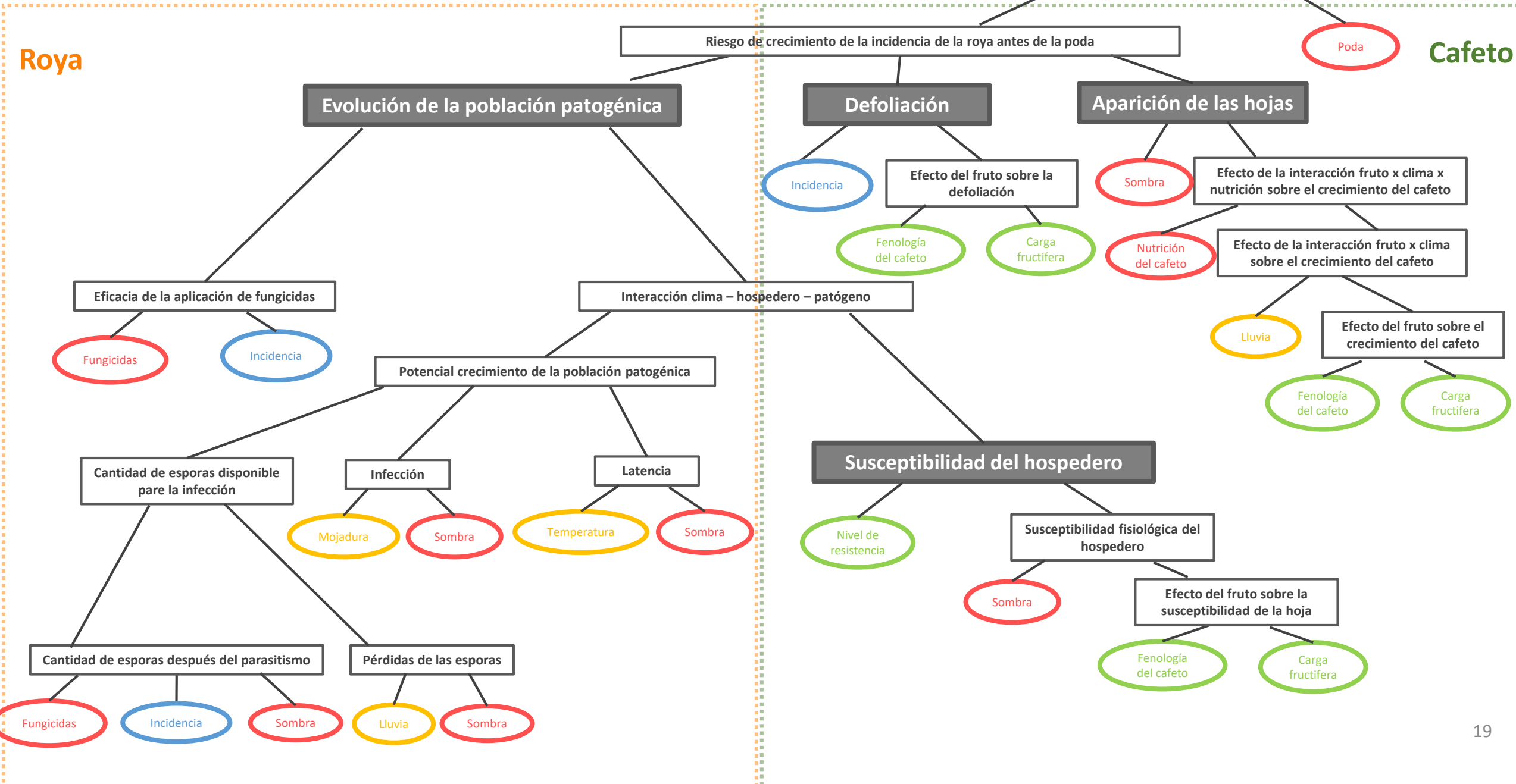
La estructura de IPSIM Royá - 1

Modelo completo de atributos múltiples

Roya

Cafeto

Riesgo de crecimiento de la incidencia de la roya



La estructura de IPSIM Royá - 2

Justificaciones de los procesos de acuerdo a las referencias bibliográficas y a los conocimientos expertos

1.1. Cantidad de esporas disponibles para la infección

1.1.1. Inóculo disponible antes de lavado

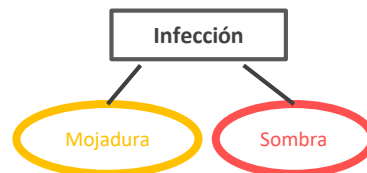
La presencia de *Lecanicillium lecani* se ocurre cuando hay mucho roya (Merle et al, 2019) y presencia de sombra (Galvao & Bettiol, 2014) L'aplicación de fungicidas reduce el inóculo del parásito (Gonzalez et al, 2010; Gonzalez al, 2014)

1.1.2. Pérdidas de las esporas

La pérdida de las esporas se produce por efecto de la lluvia que elimina las esporas por lavado; y la sombra reduce este lavado
Avelino et al (2020)
Boudrot et al (2016)

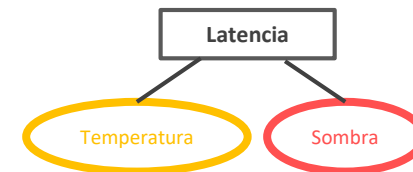
1.2. Infección

Se define por la interacción entre la duración de la mojadura de las hojas (el indicador de la mojadura es el numero de días con lluvia >5mm, cf. p.21) y de la sombra
La duración de la mojadura aumenta el riesgo de infección, Khushalappa (1983) y la sombra aumenta la mojadura (López-Bravo et al, 2012)



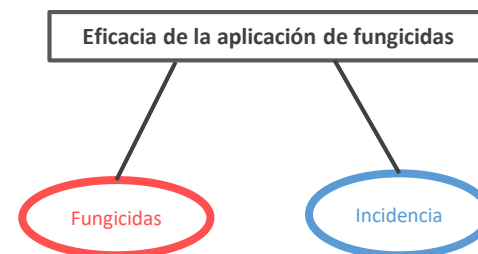
1.3. Latencia

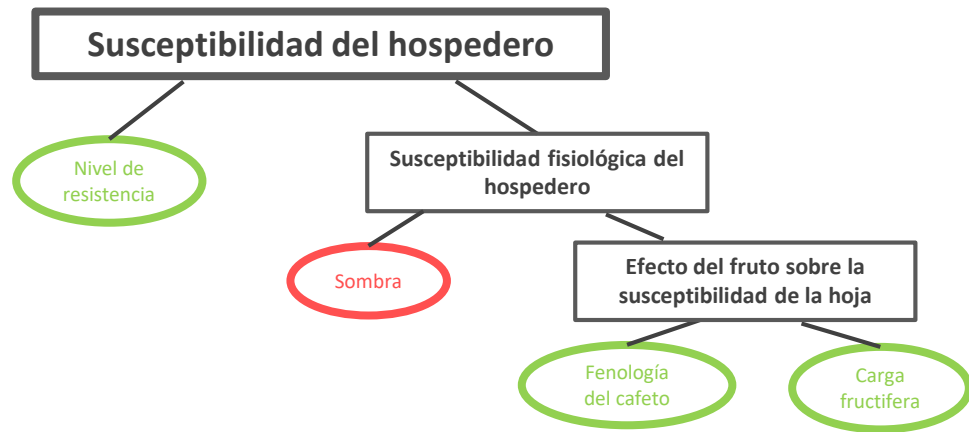
Se define por la interacción entre la temperatura y la sombra
Las temperaturas entre 20 y 26°C favorecen una latencia corta (Nutman et al, 1963; Kushalappa, 1983) y la sombra mantiene las temperaturas a este óptimo (López-Bravo et al, 2012)



1.4. Eficacia de la aplicación de fungicidas

Cuanto mayor sea la incidencia, mayor será la cantidad de inóculo y menos eficaces serán los fungicidas para controlar la enfermedad (Hipótesis experta)





2.1. Susceptibilidad del hospedero

Se define por la interacción entre la susceptibilidad fisiológica del hospedero y el nivel de resistencia de la variedad

La susceptibilidad fisiológica del hospedero se define por la interacción entre la carga fructífera (números de nudos fructíferos por árbol), la fenología del café (floración, estado de crecimiento de los frutos, cosecha) y la sombra

La carga fructífera aumenta la susceptibilidad del hospedero a la roya (Lopez Bravo, 2012)

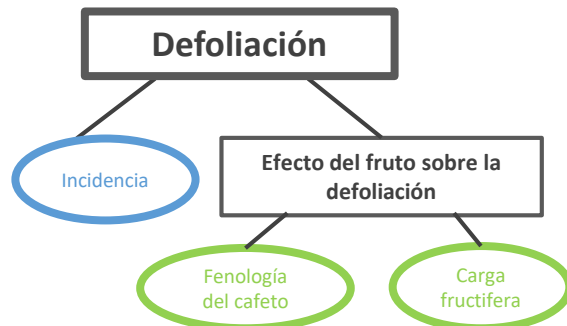
La sombra reduce la susceptibilidad del café a la roya con respecto a un café a pleno sol (Tonutti et al, 2017)

2.2. Defoliación

Se define por la interacción entre el efecto del fruto sobre la defoliación y el nivel de ataque de las hojas (la incidencia es un indicador de este nivel, cf. p.22)

Una carga fructífera alta (números de nudos fructíferos por árbol) aumenta el riesgo de defoliación del café (DaMatta et al, 2008; Taugourdeau et al, 2014) que depende igualmente de la fenología del café (floración, estado de crecimiento de los frutos, cosecha)

Si la incidencia está alta, el número de caídas de las hojas aumenta (López-Bravo et al, 2012)



2.3. Aparición de las hojas

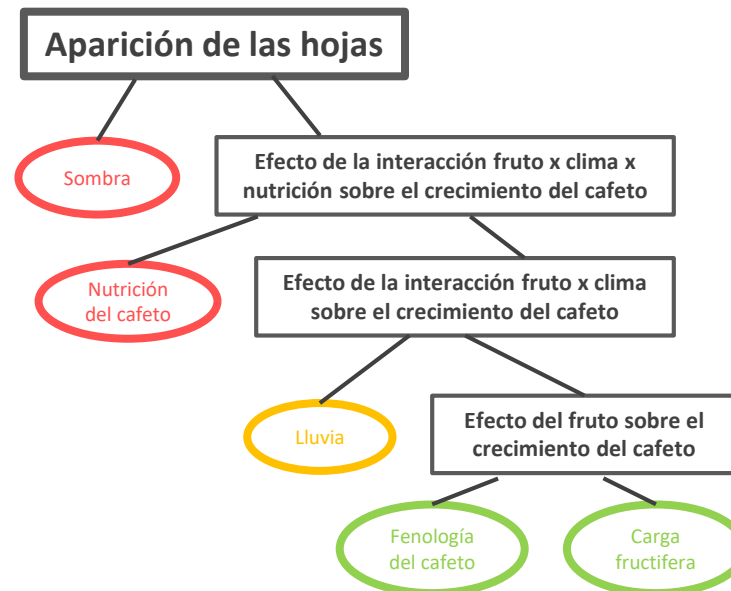
Se define por la interacción entre el efecto del fruto sobre el crecimiento del café, la cantidad de lluvia diaria, el nivel de nutrición del café y el nivel de sombra

Una carga fructífera baja (números de nudos fructíferos por árbol) aumenta la probabilidad de aparición de las hojas que depende igualmente de la fenología del café (floración, estado de crecimiento de los frutos, cosecha) (DaMatta et al, 2008; Taugourdeau et al, 2014)

En condiciones de temperatura adecuadas, una cantidad de lluvia diaria superior a 1mm favorece la aparición de las hojas (DaMatta et al, 2008)

Una nutrición del café adecuada favorece la aparición de las hojas

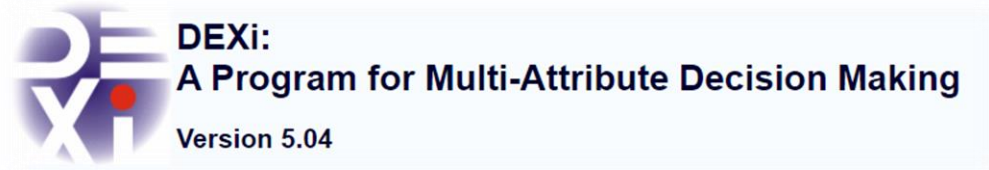
La sombra reduce la aparición de las hojas (López-Bravo et al, 2012)



La estructura de IPSIM Royá - 3

Tablas de agregación de las variables y definiciones de las interacciones entre las diferentes variables

La lógica Ipsim Roya se basa en la metodología DEX implementada en el software DEXi¹.



el software es gratuito y fácilmente instalable a través del siguiente enlace

<https://kt.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>

El marco de modelación es del tipo **si... entonces...**

Por ejemplo, *“si el cielo es gris, entonces hay una buena posibilidad de que llueva pronto”*.

En este sentido, Ipsim Roya puede considerarse como un modelo bayesiano determinista.

¹ Bohanec M (2009) DEXi: program for multi-attribute decision making, Version 5.04. Jozef Stefan Institute, Ljubljana.

Efecto del clima sobre

1. Los procesos epidemiológicos de la roya

Lavado

Lavado de las esporas por lluvia
Condición: si hay más de 10 mm de lluvia por día

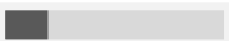
> 10mm

Lluvia diaria



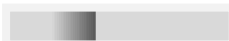
Lavado
insuficiente

< 3 días



Lavado regular

3 - 5 días



Lavado
eficiente

> 5 días

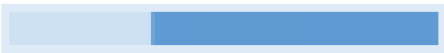


Infección

Germinación y penetración de las esporas por mojadura
Condición: si hay más de 5 mm de lluvia por día

> 5mm

Lluvia diaria



Infección baja

< 3 días



Infección
media

3 - 7 días



Infección alta

> 7 días



¿Como leer las miniaturas?

> 7 días



Periodo de 15 días antes de la fecha del monitoreo del mes

Si el periodo tiene mas de 7 días con lluvia diaria de mas de 5mm, entonces la infeccion sera alta

Latencia

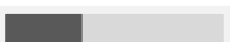
Aparición de las esporas
Condición: si la temperatura diaria esta entre 20 y 26°C
 $20^{\circ}\text{C} < T < 26^{\circ}\text{C}$

Temperatura media diaria



Latencia larga

< 5 días



Latencia media

5 - 10 días



Latencia corta

> 10 días



2. El desarrollo del hospedero

Aparición de las hojas

Condición: si hay más de 1mm de lluvia por día

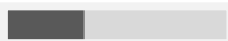
> 1mm

Lluvia diaria



Clima desfavorable al
crecimiento
vegetativo

< 5 días



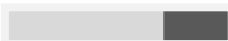
Clima
moderadamente
favorable

5 - 10 días



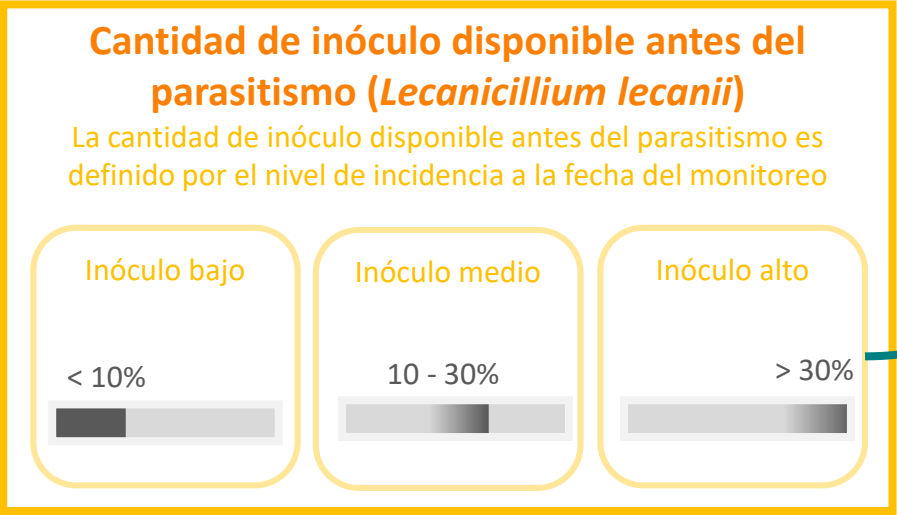
Clima favorable al
crecimiento
vegetativo

> 10 días

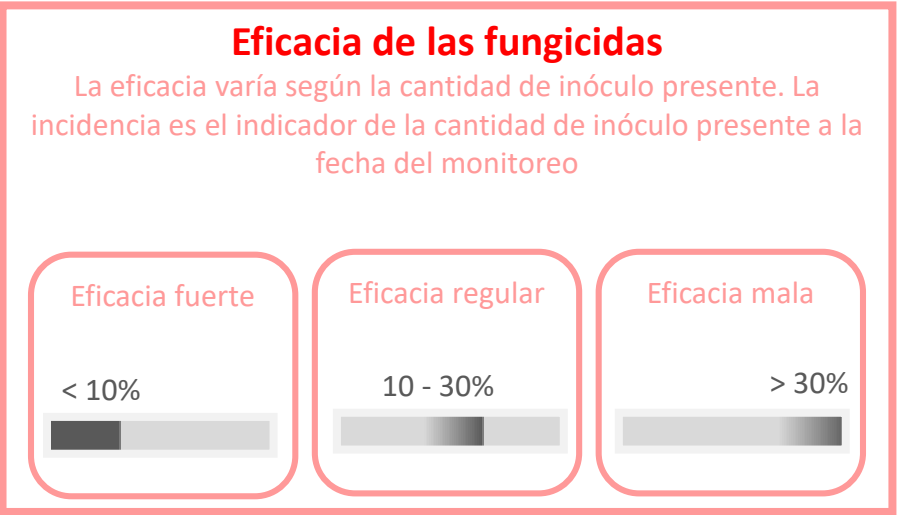


Efecto de la incidencia sobre

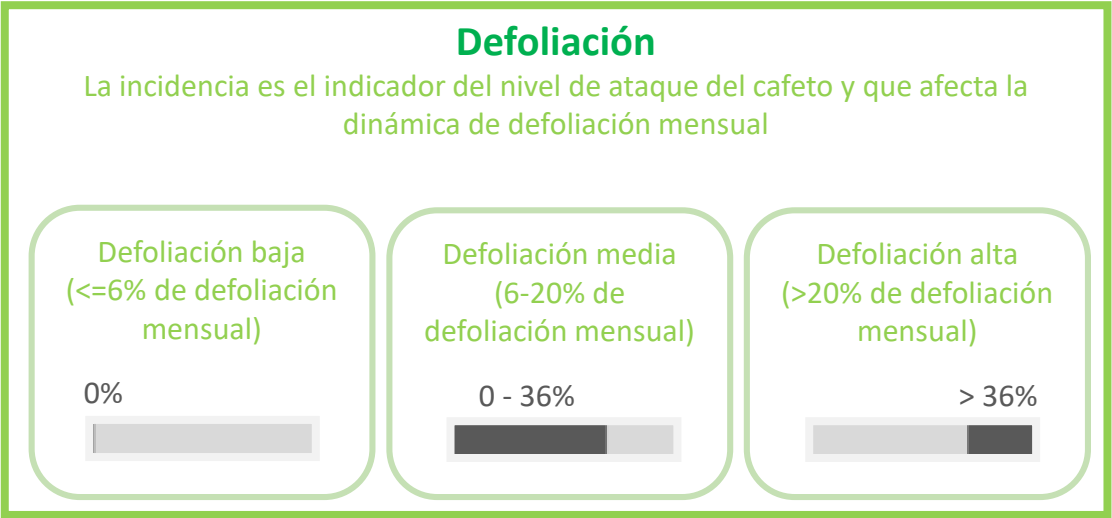
1. Los procesos epidemiológicos de la roya



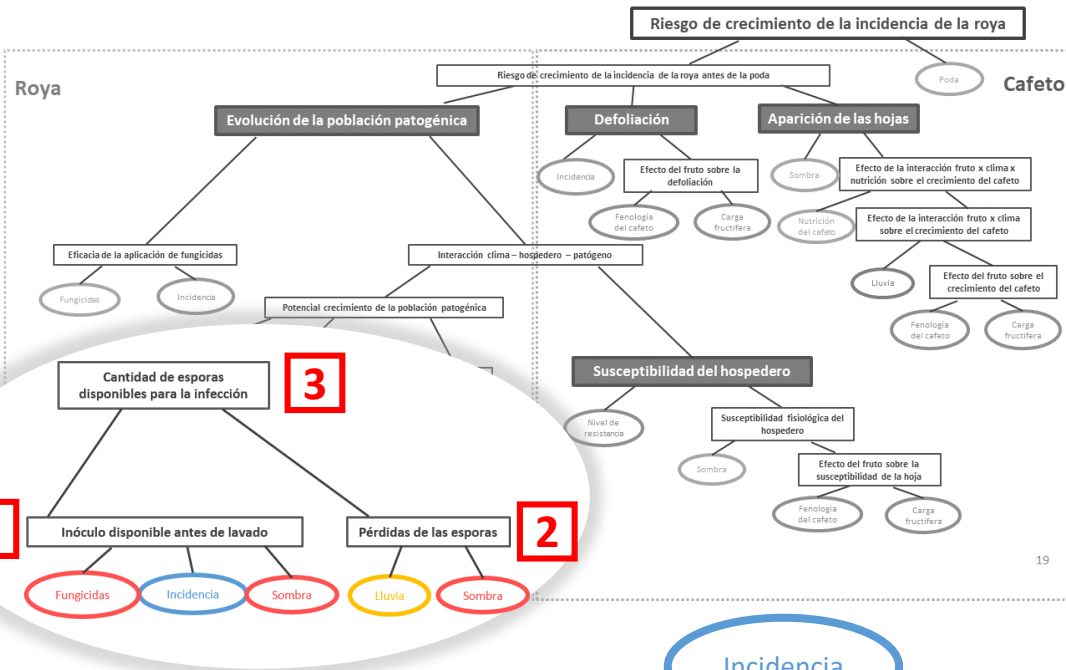
2. La aplicación de fungicidas



3. El desarrollo del hospedero



NB: Estas variables se calculan automaticamente con el archivo de datos epidemiologicos (p.4)



Tablas de agregación: Reglas de decisiones

1. Inóculo disponible antes de lavado
2. Pérdidas de las esporas
3. Cantidad des esporas disponibles para la infección

Cantidad de esporas después del parasitismo

Inoculum bajo
Inoculum bajo
Inoculum bajo
Inoculum medio
Inoculum medio
Inoculum medio
Inoculum alto
Inoculum alto
Inoculum alto

Pérdidas de las esporas

Pérdida baja
Pérdida regular
Pérdida alta
Pérdida baja
Pérdida regular
Pérdida alta
Pérdida baja
Pérdida regular
Pérdida alta

Cantidad de esporas disponibles para la infección

Cantidad esporas baja
Cantidad esporas baja
Cantidad esporas baja
Cantidad esporas media
Cantidad esporas baja
Cantidad esporas baja
Cantidad esporas alta
Cantidad esporas media
Cantidad esporas baja

3

NB:
- Tabla 1: La cantidad de inóculo presente antes del parasitismo se calcula por medio del nivel de incidencia (p.22)

- Tabla 2: La categoria de lavado se calcula por medio de la lluvia diaria (p.21)

Sombra	Inóculo antes del parasitismo	Fungicidas	Cantidad de esporas después del parasitismo
Alta	Inoculum bajo	Si	Inoculum bajo
Alta	Inoculum bajo	No	Inoculum bajo
Alta	Inoculum medio	Si	Inoculum medio
Alta	Inoculum medio	No	Inoculum medio
Alta	Inoculum alto	Si	Inoculum alto
Alta	Inoculum alto	No	Inoculum medio
Media	Inoculum bajo	Si	Inoculum bajo
Media	Inoculum bajo	No	Inoculum bajo
Media	Inoculum medio	Si	Inoculum medio
Media	Inoculum medio	No	Inoculum medio
Media	Inoculum alto	Si	Inoculum alto
Media	Inoculum alto	No	Inoculum medio
Baja o pleno sol	Inoculum bajo	Si	Inoculum bajo
Baja o pleno sol	Inoculum bajo	No	Inoculum bajo
Baja o pleno sol	Inoculum medio	Si	Inoculum medio
Baja o pleno sol	Inoculum medio	No	Inoculum medio
Baja o pleno sol	Inoculum alto	Si	Inoculum alto
Baja o pleno sol	Inoculum alto	No	Inoculum alto

1

Lluvia

Lavado	Sombra	Pérdidas de las esporas
Lavado insuficiente	Alta	Pérdida baja
Lavado insuficiente	Media	Pérdida baja
Lavado insuficiente	Baja o pleno sol	Pérdida baja
Lavado regular	Alta	Pérdida baja
Lavado regular	Media	Pérdida baja
Lavado regular	Baja o pleno sol	Pérdida regular
Lavado eficiente	Alta	Pérdida regular
Lavado eficiente	Media	Pérdida alta
Lavado eficiente	Baja o pleno sol	Pérdida alta

2

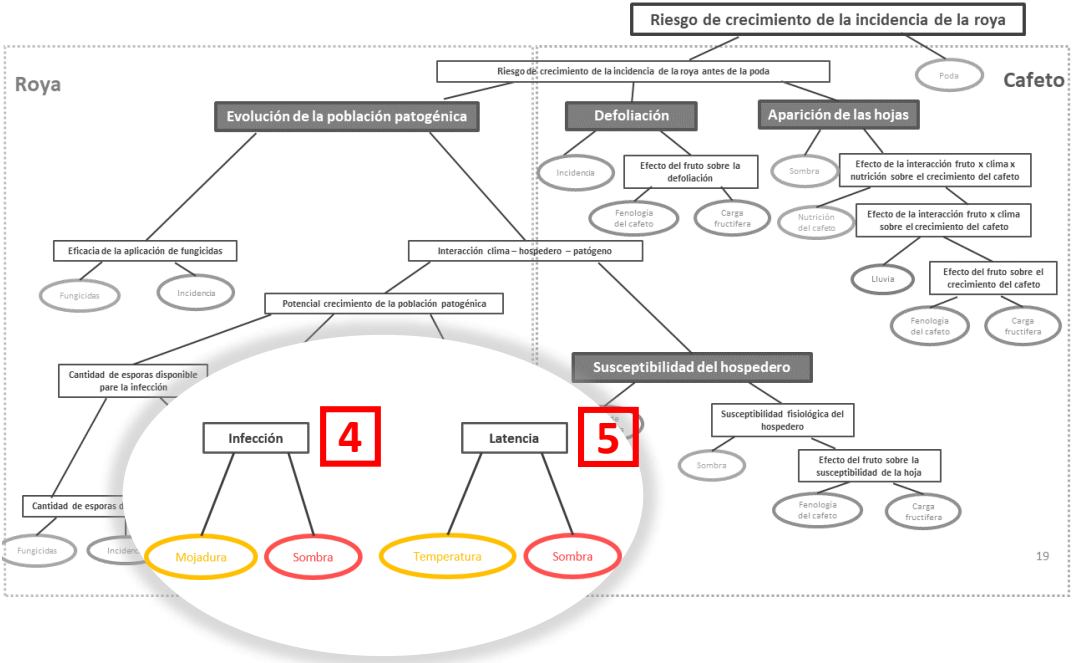
Tablas de agregación: Reglas de decisiones

4. Infección

5. Latencia

NB:

- Tabla 4: La categoria de mojadura se calcula por medio de la lluvia diaria (p.21)
- Tabla 5: La categoria del efecto de la temperatura sobre la latencia se calcula por medio de la temperatura promedia diaria (p.21)



Lluvia

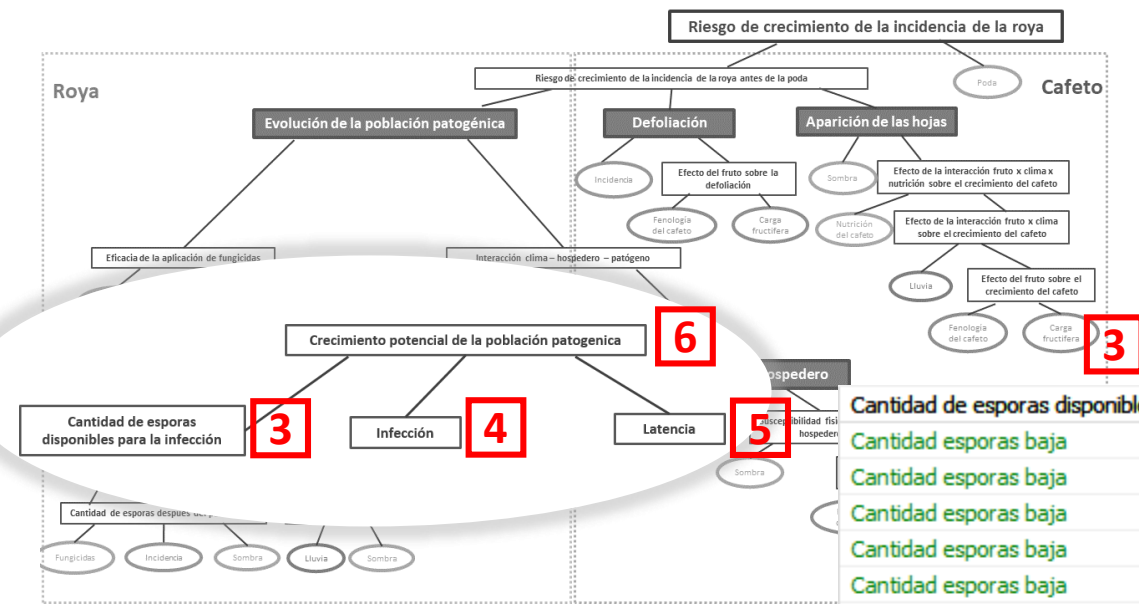
Mojadura	Sombra	Infección
Alta	Alta	Alta
Alta	Media	Alta
Alta	Baja o pleno sol	Alta
Media	Alta	Alta
Media	Media	Alta
Media	Baja o pleno sol	Media
Baja	Alta	Media
Baja	Media	Media
Baja	Baja o pleno sol	Baja

Temperatura

Temperatura	Sombra	Latencia
Temperatura optimal	Alta	Latencia breve
Temperatura optimal	Media	Latencia breve
Temperatura optimal	Baja o pleno sol	Latencia breve
Temperatura regular	Alta	Latencia breve
Temperatura regular	Media	Latencia media
Temperatura regular	Baja o pleno sol	Latencia media
Temperatura mala	Alta	Latencia media
Temperatura mala	Media	Latencia media
Temperatura mala	Baja o pleno sol	Latencia larga

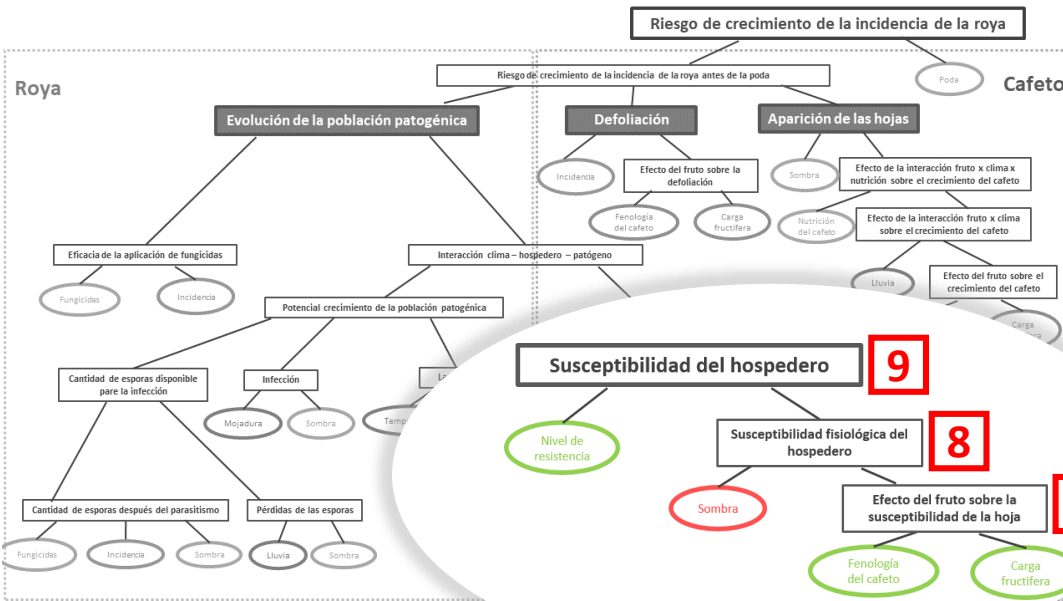
Tablas de agregación: Reglas de decisiones

6. Crecimiento potencial de la población patogénica



NB: La combinación de cada categoría de las variables de las tablas 3, 4 y 5 determinan la dirección del cambio del crecimiento potencial de la población patogénica

Cantidad de esporas disponibles para la infección	Infección	Latencia	Crecimiento potencial de la población patogénica
Cantidad esporas baja	Alta	Latencia breve	Favorable a la incidencia
Cantidad esporas baja	Alta	Latencia media	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas baja	Alta	Latencia larga	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas baja	Media	Latencia breve	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas baja	Media	Latencia media	Desfavorable a la incidencia
Cantidad esporas baja	Media	Latencia larga	Desfavorable a la incidencia
Cantidad esporas baja	Baja	Latencia breve	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas baja	Baja	Latencia media	Desfavorable a la incidencia
Cantidad esporas baja	Baja	Latencia larga	Desfavorable a la incidencia
Cantidad esporas media	Alta	Latencia breve	Favorable a la incidencia
Cantidad esporas media	Alta	Latencia media	Favorable a la incidencia
Cantidad esporas media	Alta	Latencia larga	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas media	Media	Latencia breve	Favorable a la incidencia
Cantidad esporas media	Media	Latencia media	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas media	Media	Latencia larga	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas media	Baja	Latencia breve	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas media	Baja	Latencia media	Desfavorable a la incidencia
Cantidad esporas media	Baja	Latencia larga	Desfavorable a la incidencia
Cantidad esporas alta	Alta	Latencia breve	Favorable a la incidencia
Cantidad esporas alta	Alta	Latencia media	Favorable a la incidencia
Cantidad esporas alta	Alta	Latencia larga	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas alta	Media	Latencia breve	Favorable a la incidencia
Cantidad esporas alta	Media	Latencia media	Favorable a la incidencia
Cantidad esporas alta	Media	Latencia larga	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas alta	Baja	Latencia breve	Favorable a la incidencia
Cantidad esporas alta	Baja	Latencia media	Moderadamente favorable a la incidencia
Cantidad esporas alta	Baja	Latencia larga	Moderadamente favorable a la incidencia



Tablas de agregación: Reglas de decisiones

7. Efecto del fruto sobre la susceptibilidad de la hoja
8. Susceptibilidad fisiológica del hospedero
9. Susceptibilidad del hospedero

Nivel de resistencia

Susceptibilidad fisiológica del hospedero	Nivel de resistencia	Susceptibilidad del hospedero
Alta	Susceptible	Alta
Alta	Moderadamente susceptible	Mediana
Alta	Resistente	Nula
Media	Susceptible	Mediana
Media	Moderadamente susceptible	Mediana
Media	Resistente	Nula
Baja	Susceptible	Mediana
Baja	Moderadamente susceptible	Baja
Baja	Resistente	Nula

Sombra

Efecto del fruto sobre la susceptibilidad de la hoja	Sombra	Susceptibilidad fisiológica del hospedero
Susceptibilidad alta	Alta	Media
Susceptibilidad alta	Media	Media
Susceptibilidad alta	Baja o pleno sol	Alta
Susceptibilidad media	Alta	Baja
Susceptibilidad media	Media	Media
Susceptibilidad media	Baja o pleno sol	Alta
Susceptibilidad baja	Alta	Baja
Susceptibilidad baja	Media	Baja
Susceptibilidad baja	Baja o pleno sol	Media

Fechas floración y cosecha

Carga fructífera

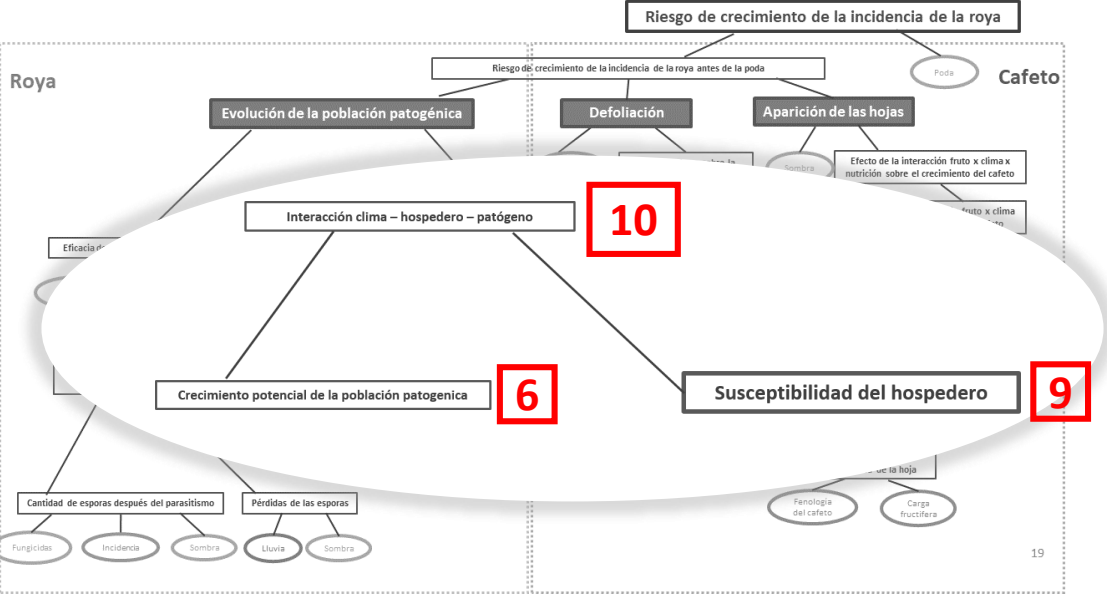
Fenología del fruto	Carga fructífera	Efecto del fruto sobre la susceptibilidad de la hoja
Desde la floración hasta el inicio de la cosecha	Alta	Susceptibilidad media
Desde la floración hasta el inicio de la cosecha	Media	Susceptibilidad media
Desde la floración hasta el inicio de la cosecha	Baja	Susceptibilidad baja
Cosecha	Alta	Susceptibilidad alta
Cosecha	Media	Susceptibilidad alta
Cosecha	Baja	Susceptibilidad media
Fin de la cosecha hasta la floración	Alta	Susceptibilidad media
Fin de la cosecha hasta la floración	Media	Susceptibilidad media
Fin de la cosecha hasta la floración	Baja	Susceptibilidad baja

NB:

- Tabla 7: Las fechas de floración, del inicio y de la fin de cosecha, y la categoría de carga fructífera son introducidas por el usuario (p.5)
- Tabla 8: La categoría de la sombra es introducida por el usuario (p.5)
- Tabla 9: La categoría del nivel de resistencia es introducida por el usuario (p.5)

Tablas de agregación: Reglas de decisiones

10. Interacción clima – hospedero – patógeno

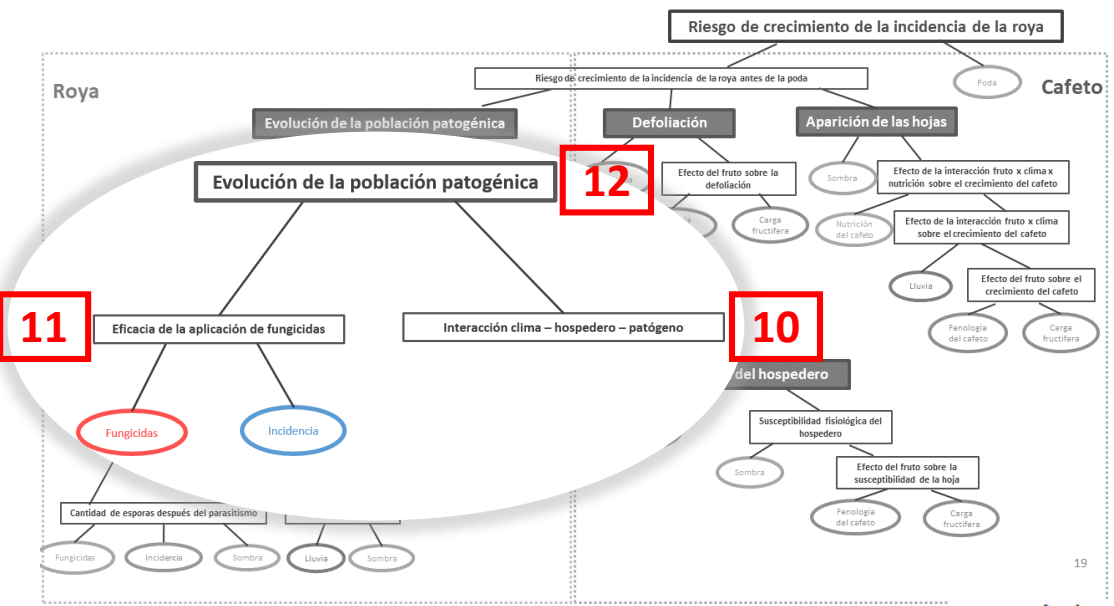


6	9	10
Crecimiento potencial de la población patogénica	Susceptibilidad del hospedero	Interacción clima - hospedero - patógeno
Favorable a la incidencia	Alta	Favorable a el crecimiento de la población patogénica
Favorable a la incidencia	Mediana	Favorable a el crecimiento de la población patogénica
Favorable a la incidencia	Baja	Moderadamente favorable a el crecimiento de la población patogénica
Favorable a la incidencia	Nula	Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica
Moderadamente favorable a la incidencia	Alta	Moderadamente favorable a el crecimiento de la población patogénica
Moderadamente favorable a la incidencia	Mediana	Moderadamente favorable a el crecimiento de la población patogénica
Moderadamente favorable a la incidencia	Baja	Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica
Moderadamente favorable a la incidencia	Nula	Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica
Desfavorable a la incidencia	Alta	Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica
Desfavorable a la incidencia	Mediana	Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica
Desfavorable a la incidencia	Baja	Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica
Desfavorable a la incidencia	Nula	Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica

Tablas de agregación: Reglas de decisiones

11. Eficacia de la aplicación de fungicidas

12. Evolución de la población patógena



10

Interacción clima - hospedero - patógeno

Favorable a el crecimiento de la población patogénica
Favorable a el crecimiento de la población patogénica
Favorable a el crecimiento de la población patogénica
Moderadamente favorable a el crecimiento de la población patogénica
Moderadamente favorable a el crecimiento de la población patogénica
Moderadamente favorable a el crecimiento de la población patogénica
Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica
Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica
Desfavorable a el crecimiento de la población patogénica

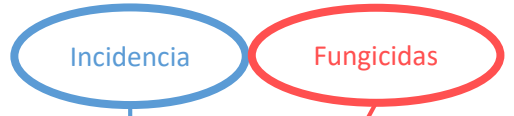
Eficacia de la aplicación de fungicidas

Buena
Regular
Mala
Buena
Regular
Mala
Buena
Regular
Mala

Evolución de la población patógena

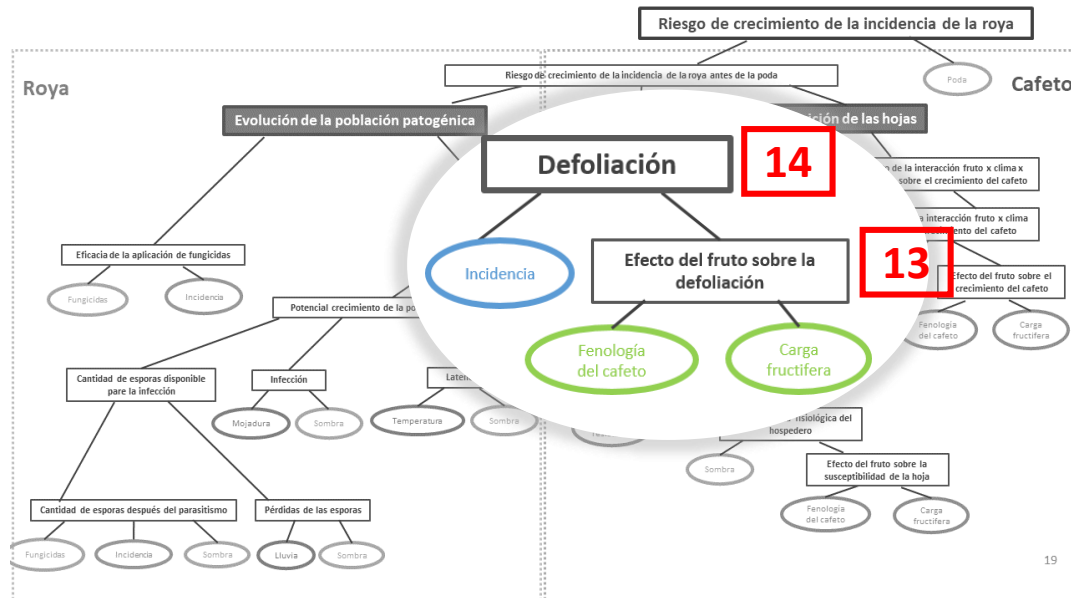
Decrecimiento
Estable
Crecimiento
Decrecimiento
Estable
Crecimiento
Decrecimiento
Decrecimiento
Decrecimiento

12



Incidencia	Fungicidas	Eficacia de la aplicación de fungicidas
Incidencia alta	Si	Mala
Incidencia alta	No	Mala
Incidencia media	Si	Regular
Incidencia media	No	Mala
Incidencia baja	Si	Buena
Incidencia baja	No	Mala

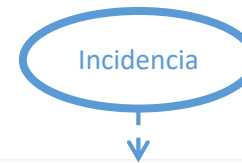
11



Tablas de agregación: Reglas de decisiones

13. Efecto del fruto sobre la defoliación

14. Defoliación

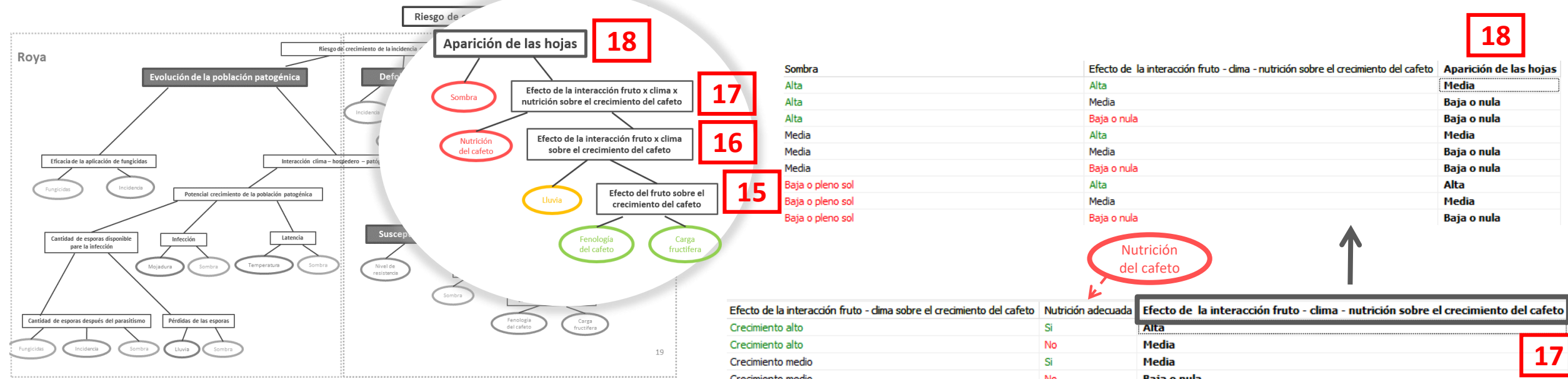


Incidencia	Efecto del fruto sobre la defoliación	Defoliación
Efecto bajo de la incidencia sobre la defoliación	Favorable para la defoliación	Alta
Efecto bajo de la incidencia sobre la defoliación	Moderadamente favorable para la defoliación	Media
Efecto bajo de la incidencia sobre la defoliación	Desfavorable para la defoliación	Baja o nula
Efecto medio de la incidencia sobre la defoliación	Favorable para la defoliación	Alta
Efecto medio de la incidencia sobre la defoliación	Moderadamente favorable para la defoliación	Alta
Efecto medio de la incidencia sobre la defoliación	Desfavorable para la defoliación	Media
Efecto alto de la incidencia sobre la defoliación	Favorable para la defoliación	Alta
Efecto alto de la incidencia sobre la defoliación	Moderadamente favorable para la defoliación	Alta
Efecto alto de la incidencia sobre la defoliación	Desfavorable para la defoliación	Alta

NB:

- **Tabla 13:** Las fechas de floración, del inicio y de la fin de la cosecha, y la categoría de carga fructífera son introducidas por el usuario (p.5)
- **Tabla 14:** La categoría de defoliación se calcula por medio del nivel de la incidencia (p.22)

Fenología del fruto	Carga fructífera	Efecto del fruto sobre la defoliación
Desde la floración hasta el inicio de la cosecha	Alta	Moderadamente favorable para la defoliación
Desde la floración hasta el inicio de la cosecha	Media	Desfavorable para la defoliación
Desde la floración hasta el inicio de la cosecha	Baja	Desfavorable para la defoliación
Cosecha	Alta	Favorable para la defoliación
Cosecha	Media	Moderadamente favorable para la defoliación
Cosecha	Baja	Desfavorable para la defoliación
Fin de la cosecha hasta la floración	Alta	Favorable para la defoliación
Fin de la cosecha hasta la floración	Media	Favorable para la defoliación
Fin de la cosecha hasta la floración	Baja	Moderadamente favorable para la defoliación



NB:

- **Tabla 16:** Las fechas de floración, del inicio y de la fin de la cosecha, y la categoría de carga fructífera son introducidas por el usuario (p.5)
- **Tabla 17:** La categoría de crecimiento vegetativo se calcula por medio de la lluvia diaria (p.21)
- **Tabla 18:** La categoría de nutrición es introducida por el usuario (p.5)



Fenología del fruto	Carga fructífera	Efecto del fruto sobre el crecimiento vegetativo
Desde la floración hasta el inicio de la cosecha	Alta	Moderadamente favorable para el crecimiento vegetativo
Desde la floración hasta el inicio de la cosecha	Media	Favorable para el crecimiento vegetativo
Desde la floración hasta el inicio de la cosecha	Baja	Favorable para el crecimiento vegetativo
Cosecha	Alta	Desfavorable para el crecimiento vegetativo
Cosecha	Media	Desfavorable para el crecimiento vegetativo
Cosecha	Baja	Moderadamente favorable para el crecimiento vegetativo
Fin de la cosecha hasta la floración	Alta	Favorable para el crecimiento vegetativo
Fin de la cosecha hasta la floración	Media	Favorable para el crecimiento vegetativo
Fin de la cosecha hasta la floración	Baja	Favorable para el crecimiento vegetativo

15

Efecto del fruto sobre el crecimiento vegetativo	Lluvia
Desfavorable para el crecimiento vegetativo	Favorable a el crecimiento vegetativo
Desfavorable para el crecimiento vegetativo	Moderadamente favorable a el crecimiento vegetativo
Desfavorable para el crecimiento vegetativo	Desfavorable a el crecimiento vegetativo
Moderadamente favorable para el crecimiento vegetativo	Favorable a el crecimiento vegetativo
Moderadamente favorable para el crecimiento vegetativo	Moderadamente favorable a el crecimiento vegetativo
Moderadamente favorable para el crecimiento vegetativo	Desfavorable a el crecimiento vegetativo
Favorable para el crecimiento vegetativo	Favorable a el crecimiento vegetativo
Favorable para el crecimiento vegetativo	Moderadamente favorable a el crecimiento vegetativo
Favorable para el crecimiento vegetativo	Desfavorable a el crecimiento vegetativo



Efecto de la interacción fruto - clima sobre el crecimiento del café
Crecimiento medio
Crecimiento bajo a nulo
Crecimiento bajo a nulo
Crecimiento medio
Crecimiento medio
Crecimiento bajo a nulo
Crecimiento bajo a nulo
Crecimiento alto
Crecimiento medio
Crecimiento bajo a nulo

16

Efecto de la interacción fruto - clima sobre el crecimiento del café
Crecimiento alto
Crecimiento alto
Crecimiento medio
Crecimiento medio
Crecimiento bajo a nulo
Crecimiento bajo a nulo
Crecimiento bajo a nulo



Efecto de la interacción fruto - clima - nutrición sobre el crecimiento del café
Alta
Media
Media
Baja o nula
Baja o nula
Baja o nula

17

Efecto de la interacción fruto - clima - nutrición sobre el crecimiento del café	Aparición de las hojas
Alta	Media
Media	Baja o nula
Alta	Baja o nula
Media	Media
Media	Baja o nula
Baja o pleno sol	Baja o nula
Baja o pleno sol	Alta
Baja o pleno sol	Media
Baja o pleno sol	Baja o nula

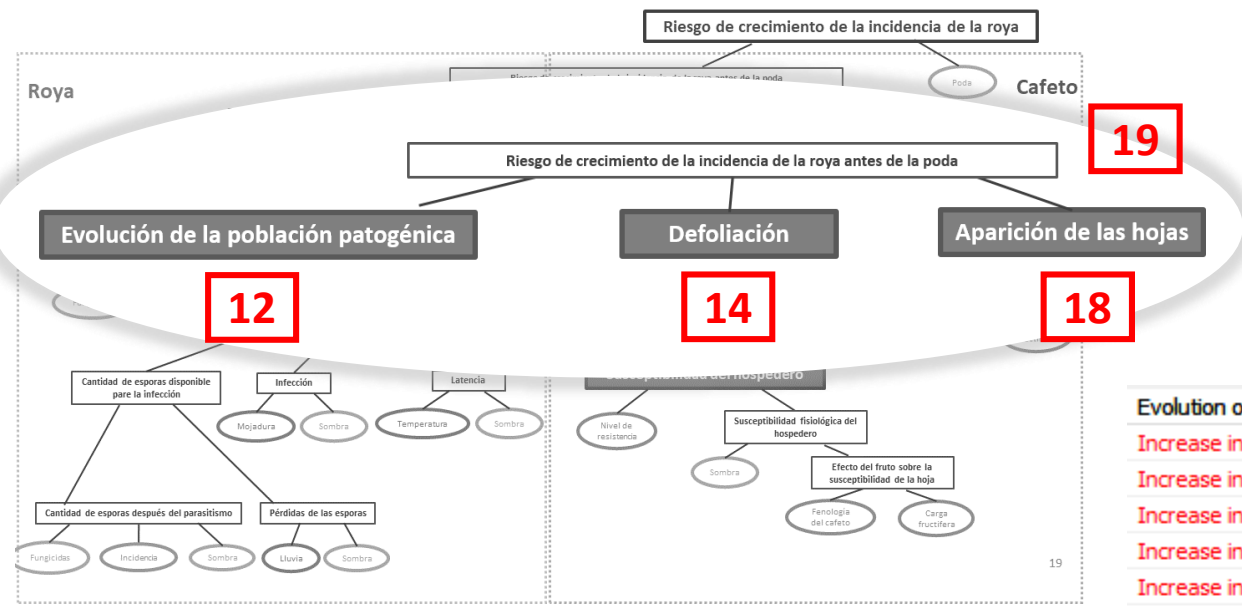
18

Tablas de agregación: Reglas de decisiones

- 15. Efecto del fruto sobre el crecimiento vegetativo
- 16. Efecto de la interacción fruto – clima sobre el crecimiento vegetativo
- 17. Efecto de la interacción fruto – clima – nutrición sobre el crecimiento vegetativo
- 18. Aparición de las hojas

Tablas de agregación: Reglas de decisiones

19. Riesgo de crecimiento de la incidencia de la roya antes de la poda



12	18	14	19
Evolution of the pathogenic population	Leaves emergence	Defoliation	Risk of increase of rust incidence before pruning
Increase in the population	Alta	High defoliation	The incidence is stable or will lightly increase
Increase in the population	Alta	Medium defoliation	The incidence will increase
Increase in the population	Alta	Low or null defoliation	The incidence will increase
Increase in the population	Media	High defoliation	The incidence is stable or will lightly increase
Increase in the population	Media	Medium defoliation	The incidence will increase
Increase in the population	Media	Low or null defoliation	The incidence will increase
Increase in the population	Baja o nula	High defoliation	The incidence will increase
Increase in the population	Baja o nula	Medium defoliation	The incidence will dramatically increase
Increase in the population	Baja o nula	Low or null defoliation	The incidence will dramatically increase
Stability of the population	Alta	High defoliation	The incidence will decrease
Stability of the population	Alta	Medium defoliation	The incidence will decrease
Stability of the population	Alta	Low or null defoliation	The incidence will decrease
Stability of the population	Media	High defoliation	The incidence will decrease
Stability of the population	Media	Medium defoliation	The incidence will decrease
Stability of the population	Media	Low or null defoliation	The incidence will decrease
Stability of the population	Baja o nula	High defoliation	The incidence will decrease
Stability of the population	Baja o nula	Medium defoliation	The incidence will decrease
Stability of the population	Baja o nula	Low or null defoliation	The incidence is stable or will lightly increase
Decrease of the population	Alta	High defoliation	The incidence will decrease
Decrease of the population	Alta	Medium defoliation	The incidence will decrease
Decrease of the population	Alta	Low or null defoliation	The incidence will decrease
Decrease of the population	Media	High defoliation	The incidence will decrease
Decrease of the population	Media	Medium defoliation	The incidence will decrease
Decrease of the population	Media	Low or null defoliation	The incidence will decrease
Decrease of the population	Baja o nula	High defoliation	The incidence will decrease
Decrease of the population	Baja o nula	Medium defoliation	The incidence will decrease
Decrease of the population	Baja o nula	Low or null defoliation	The incidence will decrease

Riesgo de crecimiento de la incidencia de la roya

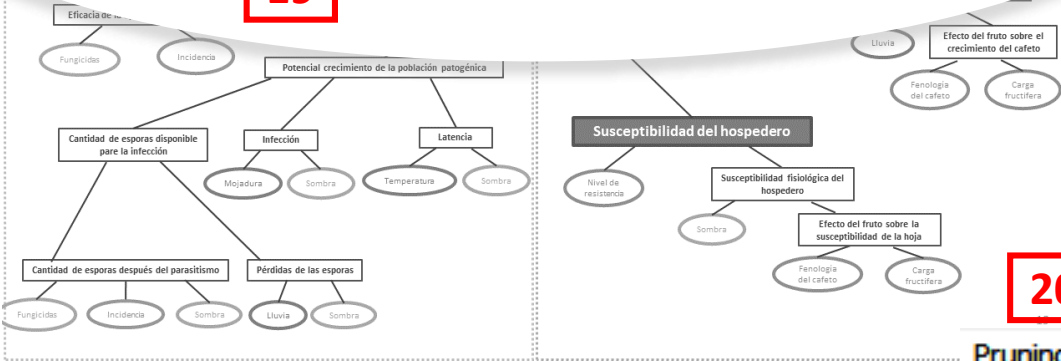
21

Riesgo de crecimiento de la incidencia de la roya antes de la poda

19

Poda

20



20

Tablas de agregación: Reglas de decisiones

20. Poda

21. Riesgo de crecimiento de la incidencia de la roya

19

21

Pruning	Risk of increase of rust incidence before pruning	Risk of increase of rust incidence
Total pruning	The incidence will dramatically increase	The incidence will decrease
Total pruning	The incidence will increase	The incidence will decrease
Total pruning	The incidence is stable or will lightly increase	The incidence will decrease
Total pruning	The incidence will decrease	The incidence will decrease
Pruning 50%	The incidence will dramatically increase	The incidence is stable or will lightly increase
Pruning 50%	The incidence will increase	The incidence will decrease
Pruning 50%	The incidence is stable or will lightly increase	The incidence will decrease
Pruning 50%	The incidence will decrease	The incidence will decrease
Pruning 25%	The incidence will dramatically increase	The incidence will increase
Pruning 25%	The incidence will increase	The incidence is stable or will lightly increase
Pruning 25%	The incidence is stable or will lightly increase	The incidence will decrease
Pruning 25%	The incidence will decrease	The incidence will decrease
No pruning	The incidence will dramatically increase	The incidence will dramatically increase
No pruning	The incidence will increase	The incidence will increase
No pruning	The incidence is stable or will lightly increase	The incidence is stable or will lightly increase
No pruning	The incidence will decrease	The incidence will decrease

Apéndices

Léxico

Pergamino : Plataforma de herramientas para la vigilancia de la roya anaranjada del café en América Central

IPSIM Roya : Modelo de pronóstico de crecimiento mensual de la incidencia de la roya

Latencia : Periodo entre la infección y la aparición de lesiones esporulantes

Infección : Etapa de germinación y penetración de la esporas en la hojas

Dispersión : Proceso de liberación de la lesión, el transporte y el depósito sobre las hojas

Perdidas de las esporas : Corresponde a las esporas que caen al suelo y no contribuyen a la infección

Referencias citadas en el documento

- Aubertot, J.-N., Robin, M.-H., 2013. Injury Profile SIMulator, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases. PLoS One 8, e73202–e73202. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073202>
- Avelino, J., Rivas, G., 2013. La roya anaranjada del cafeto.
- Avelino, J., Vilchez, S., Segura-Escobar, M.B., Brenes-Loaiza, M.A., Virginio Filho, E. de M., Casanoves, F., 2020. Shade tree *Chloroleucon eurycyclum* promotes coffee leaf rust by reducing uredospore wash-off by rain. Crop Protection 129, 105038.
- Bohanec, M., 2020. DEXi: Program for Multi-Attribute Decision Making, User's Manual, IJS Report DP-13100. Jožef Stefan Institute, Ljubljana.
- Boudrot, A., Pico, J., Merle, I., Granados, E., Vilchez, S., Tixier, P., Filho, E. de M.V., Casanoves, F., Tapia, A., Allinne, C., 2016. Shade effects on the dispersal of airborne *Hemileia vastatrix* uredospores. Phytopathology 106, 572–580.
- Galvao, J.A.H., Bettiol, W., 2014. Effects of UV-B radiation on *Lecanicillium* spp., biological control agents of the coffee leaf rust pathogen. Tropical Plant Pathology 39, 392–400.
- González, L.C., Nicao, M.E.L., Muiño, B.L., 2014. Compatibilidad de cuatro plaguicidas de diferentes grupos químicos con *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Zare & Gams. Revista de Protección Vegetal 28.
- González, L.C., Nicao, Ms.M.E.L., Muiño, B.L., 2010. Effect of six fungicides on *Lecanicillium* (*Verticillium*) *lecanii* (Zimm.) Zare & Gams. Contribution of Agricultural Sciences towards achieving the Millenium Development Goals 1.
- Kushalappa, A., Akutsu, M., Ludwig, A., 1983. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. Phytopathology 73, 96–103.
- López-Bravo, D.F., Virginio-Filho, E. de M., Avelino, J., 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. Crop Protection 38, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.011>
- Merle, I., Pico, J., Granados, E., Boudrot, A., Tixier, P., Virginio Filho, E. de M., Cilas, C., Avelino, J., 2019. Unraveling the Complexity of Coffee Leaf Rust Behavior and Development in Different *Coffea arabica* Agroecosystems. Phytopathology® 110, 418–427. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-19-0094-R>
- Toniutti, L., Breitler, J.-C., Etienne, H., Campa, C., Doulebeau, S., Urban, L., Lambot, C., Pinilla, J.-C.H., Bertrand, B., 2017. Influence of environmental conditions and genetic background of Arabica coffee (*C. arabica* L) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. Frontiers in plant science 8, 2025.