



# La Roya del Café en Colombia:

¿Por qué seguimos *produciendo*  
café *para* el mundo?

Gustavo Adolfo Marín Ramírez  
Disciplina de Fitopatología



# Temas a tratar

1. **Introducción a la roya del cafeto:** Descripción de la enfermedad y del patógeno *Hemileia vastatrix*.
2. **Interacción *H. vastatrix* - café:** Biotrofia y su impacto en la planta.
3. **Planta-clima-patógeno, acción! :** Combinación de factores que modulan la susceptibilidad vs variantes.
4. **Estrategias de manejo en “Colombia”:** enfoques adoptados para mitigar el impacto de la roya sobre la caficultura.

# La Enfermedad

- a) **Las royas** son enfermedades causadas por hongos del grupo de los basidiomicetos. Se manifiestan como manchas rojizas o anaranjadas en las hojas, tallos y excepcionalmente en frutos. Estas manchas son esporas del hongo. Afecta la fotosíntesis y la salud general de la planta, reduciendo su crecimiento y productividad.

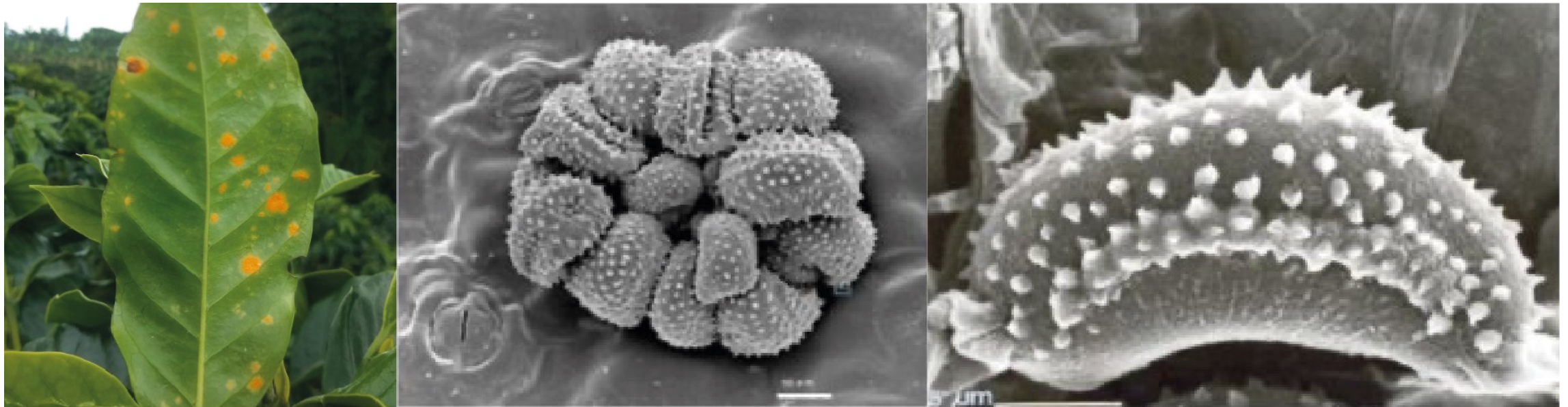


**Figura.** Signos de royas causados por diferentes patógenos fotos tomadas de <https://cultivers.es/roya/>



# El patógeno causante de la roya del cafeto

**b) *Hemileia vastatrix*** es el nombre del hongo causante de la roya del cafeto. Se reproduce a través de uredosporas de tamaño microscópico. Son lisas en la cara interna y rugosas en la externa. Es un parásito obligado y **no se puede aislar en medio de cultivo.**



**Figura.** Signos de la roya del cafeto y uredosporas típicas de *Hemileia vastatrix* Fuente: Várzea, V. 2013. Foro regional sobre roya del café. CATIE, Costa Rica 2013.



# El ciclo patogénico

- c) **El proceso de infección** es complejo. Es condicionado por diversos factores climáticos. La temperatura y la humedad influyen en la rapidez con la que se desarrolla y se propaga la enfermedad (23 - 45 días).

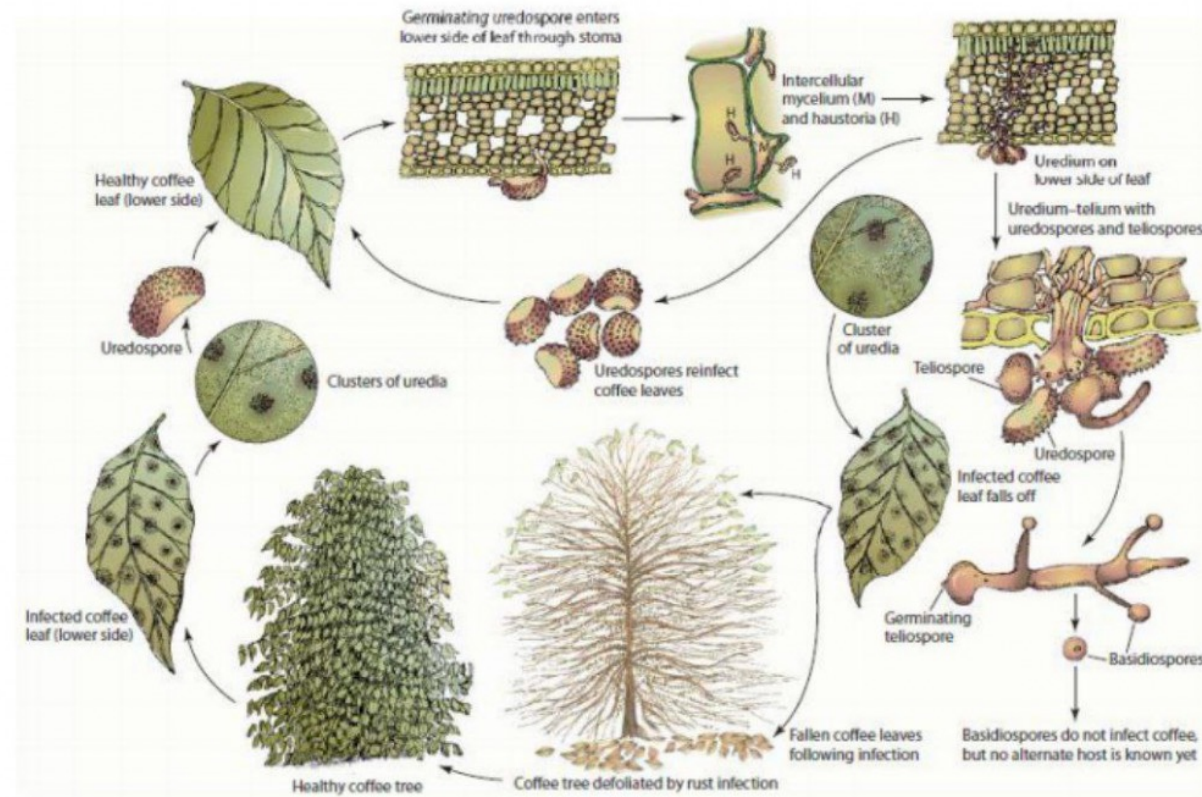


Figura. Ciclo de vida de *H. vastatrix* énfasis ciclo asexual.

# El clima

d) **Zona de confluencia intertropical (ZCIT):** es un área cerca del ecuador donde se encuentran los vientos de los hemisferios norte y sur, causando muchas lluvias y tormentas.

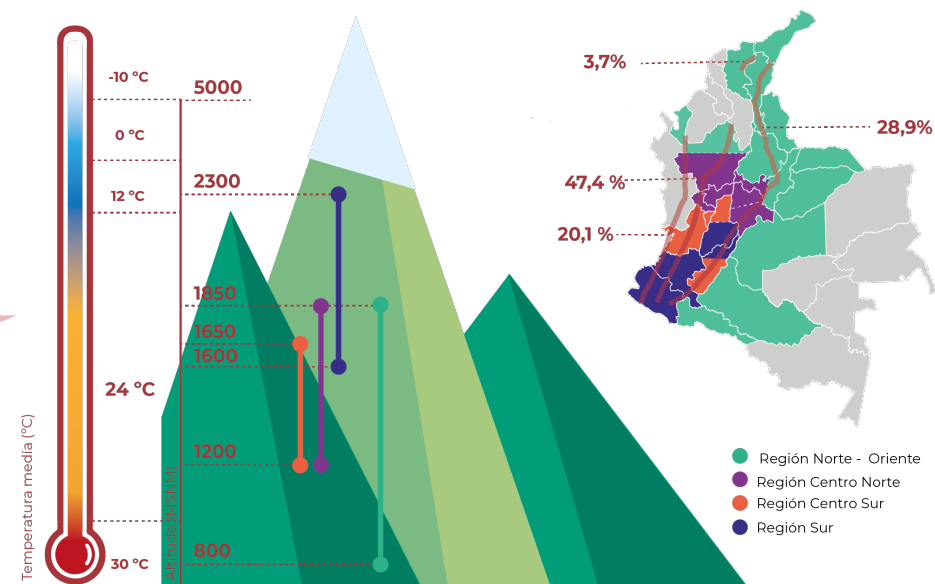
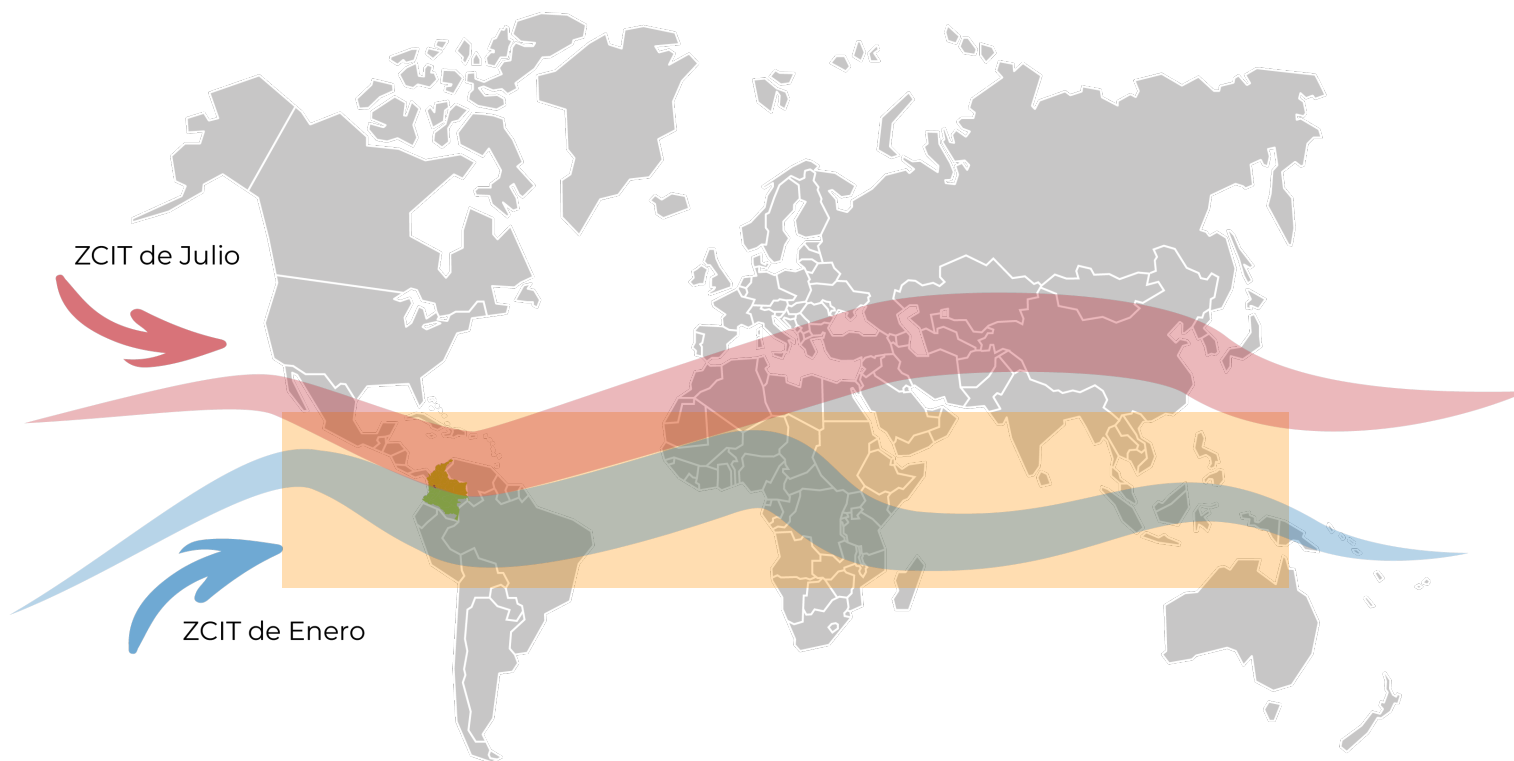


Figura. Esquema de la zona de confluencia intertropical y distribución de la zona cafetera colombiana asociada a la altitud.

# Historia

- e. **Caso Ceilán (Sri Lanka):** Para dar una idea del impacto económico de esta enfermedad, basta pensar que la producción de café cayó de **750.000** en 1870 a **42.000** en 1889.

Ceilán tuvo que cambiar el café por cultivos alternativos.

↓ **95%**



**Figura.** Fotografía de cultivo de te en Ceilán 1900, cultivo de café en Colombia 1975 y propaganda de protección contra la roya del cafeto en 1980 por la FNC en el aeropuerto del dorado. Fuente: APS, 2024



**¿Por qué la enfermedad tuvo este impacto?**

**¿Que medidas de manejo se implementaron?**

**¿Las medidas de control no funcionaron?**

# Estilos de vida de los fitopatógenos

	Necrotrófico	Biotrófico	Hemibiotrófico
Estrategia de ataque	Penetración directa. Enzimas degradadoras de pared celular o toxinas.	Penetración indirecta. Mínimo daño a la planta.	Inicialmente biotrófico luego necrotrófico.
Características específicas de la interacción.	Adquisición de nutrientes por degradación y colonización del tejido.	Adquisición de nutrientes a través de una estructura especializada. Daño celular mínimo. La célula vegetal permanece viva durante la infección.	Daño mínimo en las etapas iniciales. Daño extenso de células vegetales en etapas posteriores.
Rango de hospederos	Amplio	<b>Específico</b> (Ataca una sola especie o especies cercanas)	Variable.
Ejemplos	Pudrición acuosa ( <i>Erwinia</i> spp.) Descomponedor ( <i>Botrytis cinerea</i> )	Royas, virus y nematodos endoparásitos.	<i>Phytophthora infestans</i> (tizón tardío de la papa)

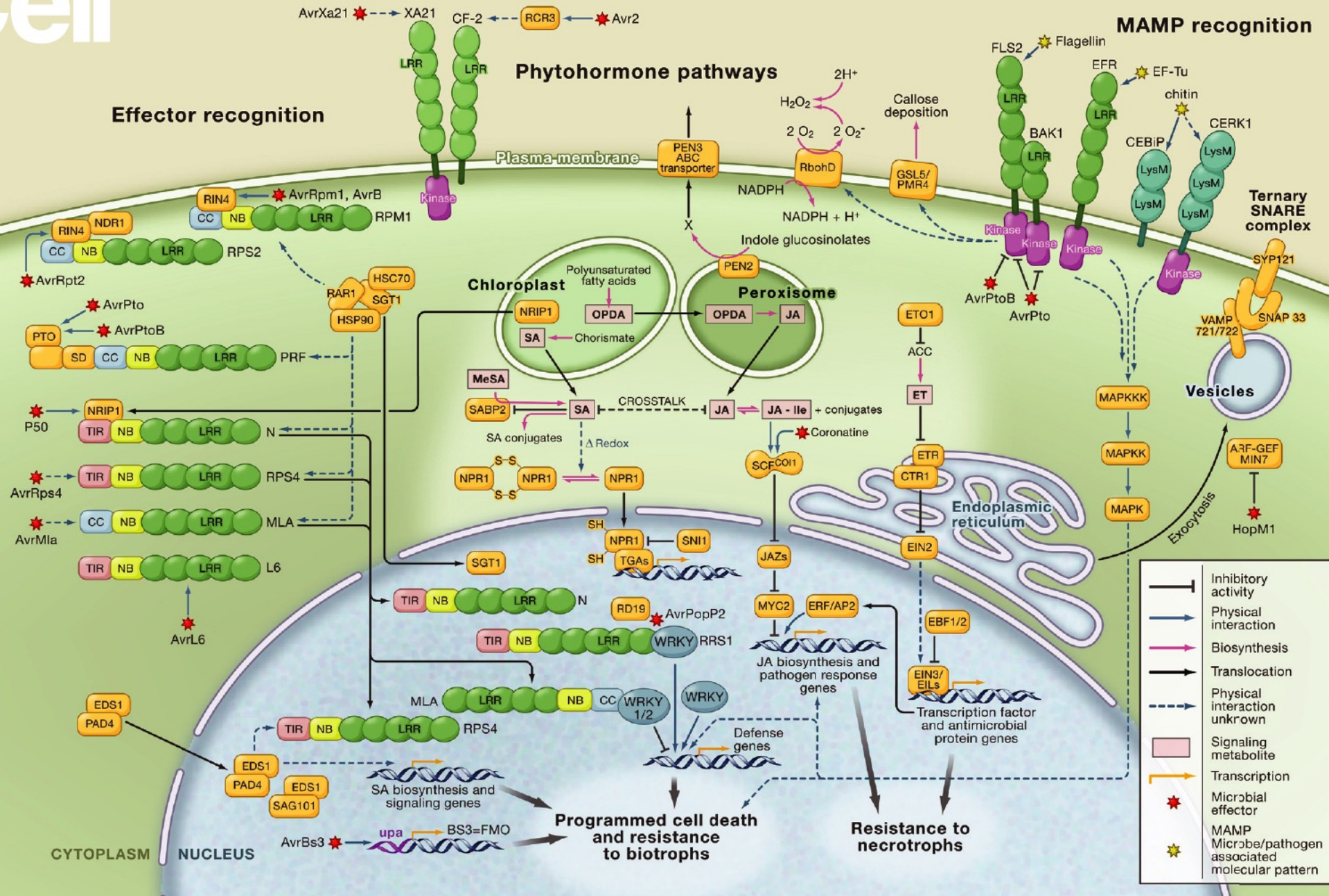
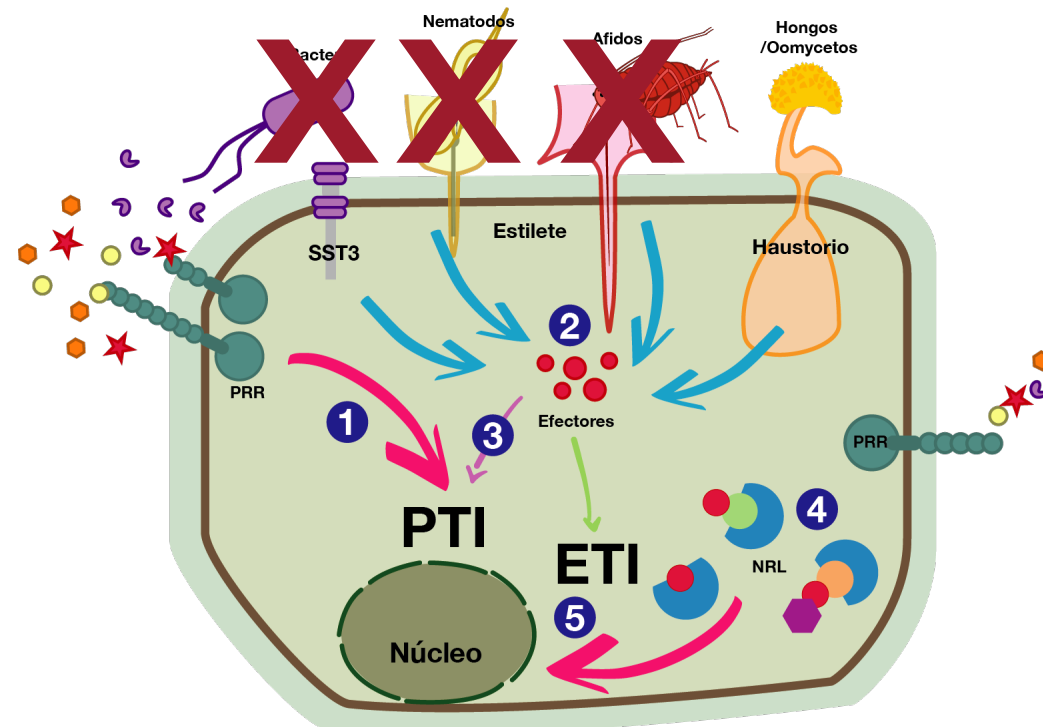


Figura. Esquema de interacción molecular planta-patógeno Plant Cell , 2018.



## Comunicación molecular: Efectores

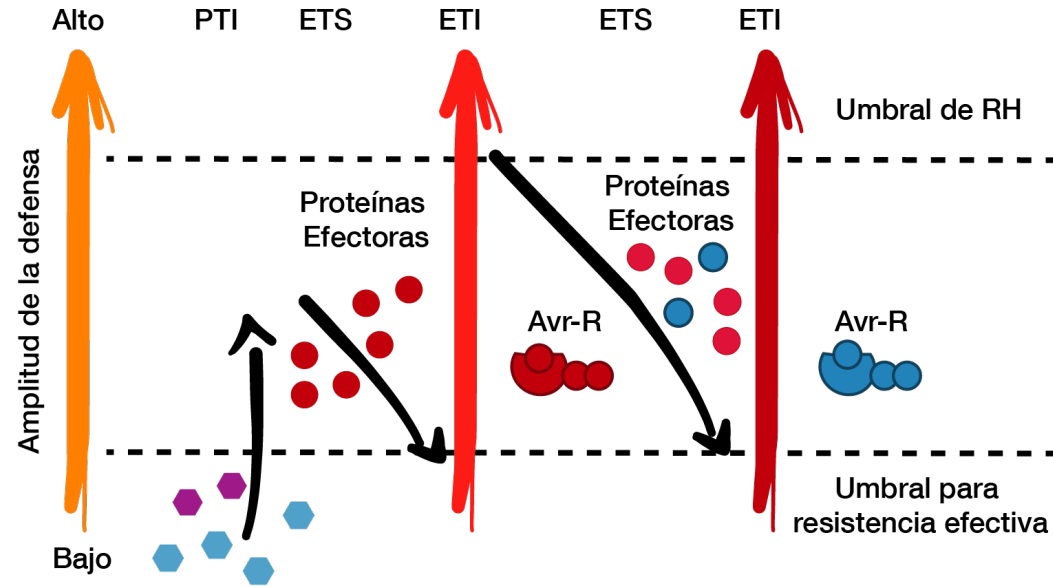
- Proteínas secretadas por los patógenos, en el apoplasto o citoplasma del hospedero para suprimir la respuesta inmune activada por los PAMP e interferir en el metabolismo del hospedero.



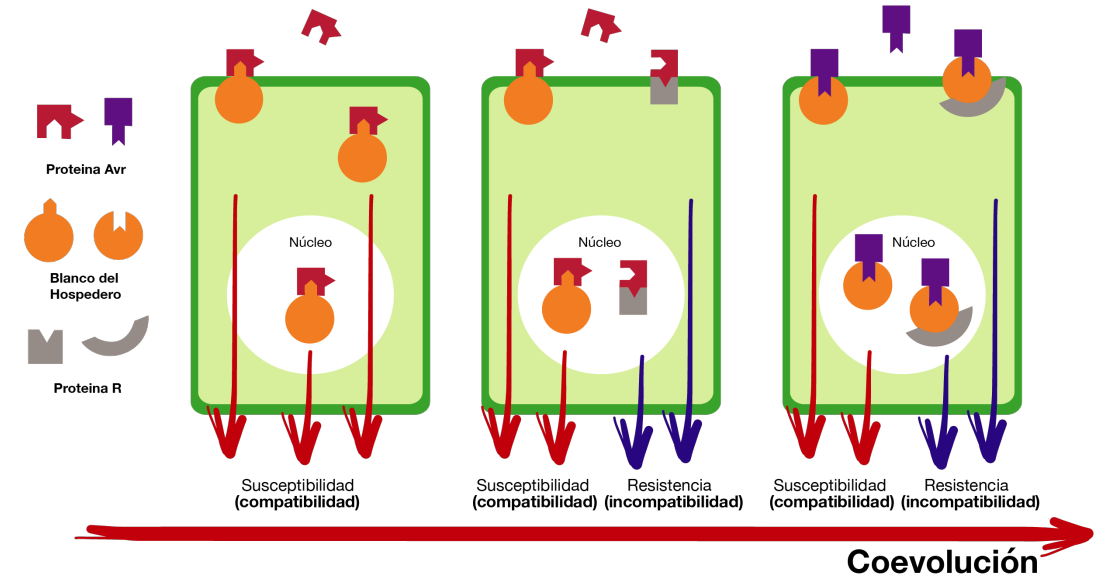
Adaptado de Dangl *et al.*, (2013) Pivoting the Plant Immune System from Dissection to Deployment

1. Inmunidad mediada por PRR (PTI).
2. Los patógenos producen efectores.
3. Efectores se dirigen a ubicaciones subcelulares para suprimir (PTI).
4. Los receptores intracelulares tipo NLR pueden detectar efectores.
5. Inmunidad activada por efectores (ETI).

# Comunicación molecular: Reconocimiento o evasión



teoría del zigzag: Desarrollo nuevos efectores (2006)



Adaptado de De Wit et al., (2009): Efectores de Hongos: Pasado, Presente y Futuro.

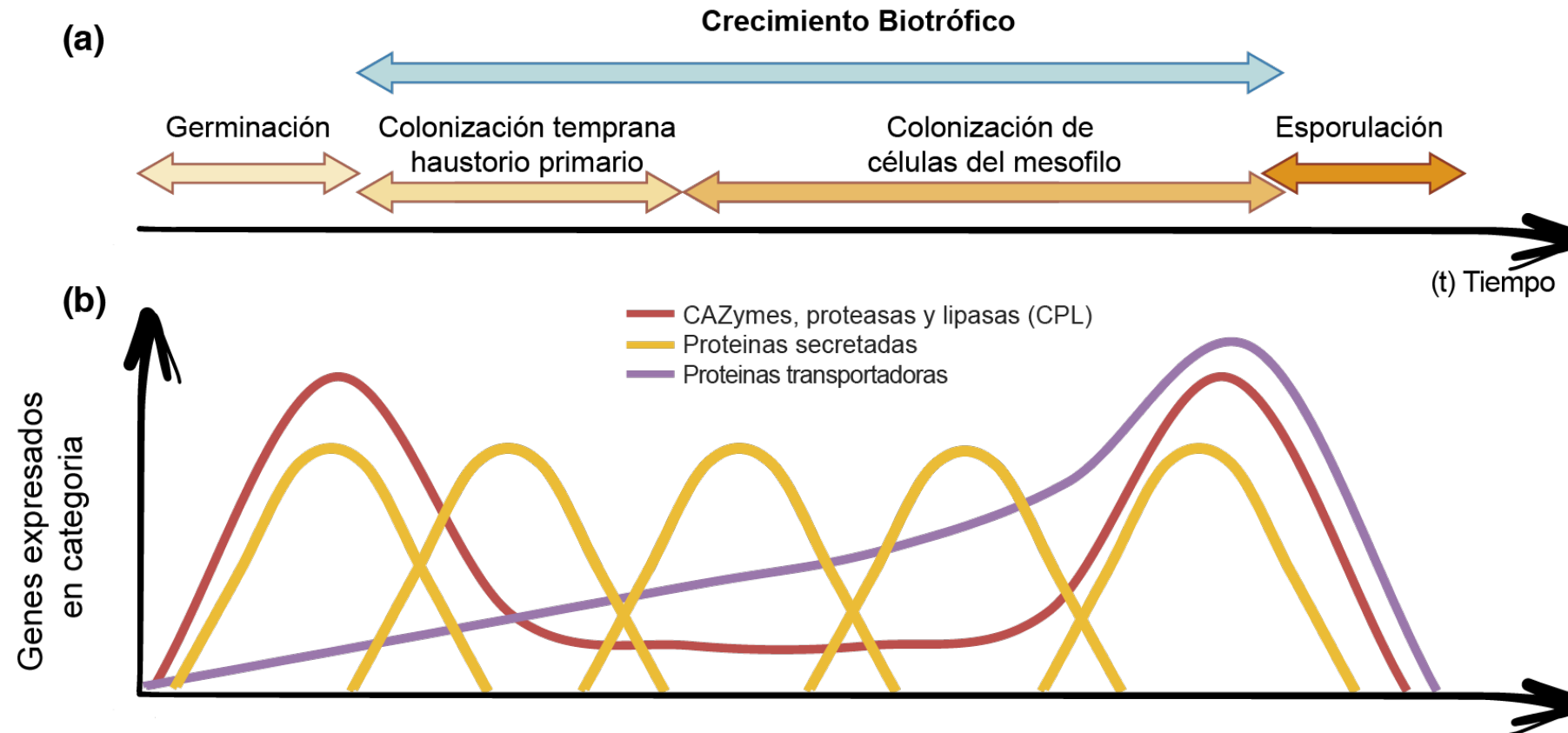
- PRRs : PAMPs Recognition Receptors
- PTI : PAMPs Triggered immunity
- ETI : Effector Triggered immunity

# Efectores (características)

- **Expresión del gen:** estar en el lugar correcto en el momento correcto.
- **Translocación y lugar de acción:** apoplasto o citoplasma.
- **Funciones efectoras:** evita alarma, activa lo que sirve e inhibe lo que daña
  - Auto-encubridor y auto-modificador
  - Inhibidor
  - Activador

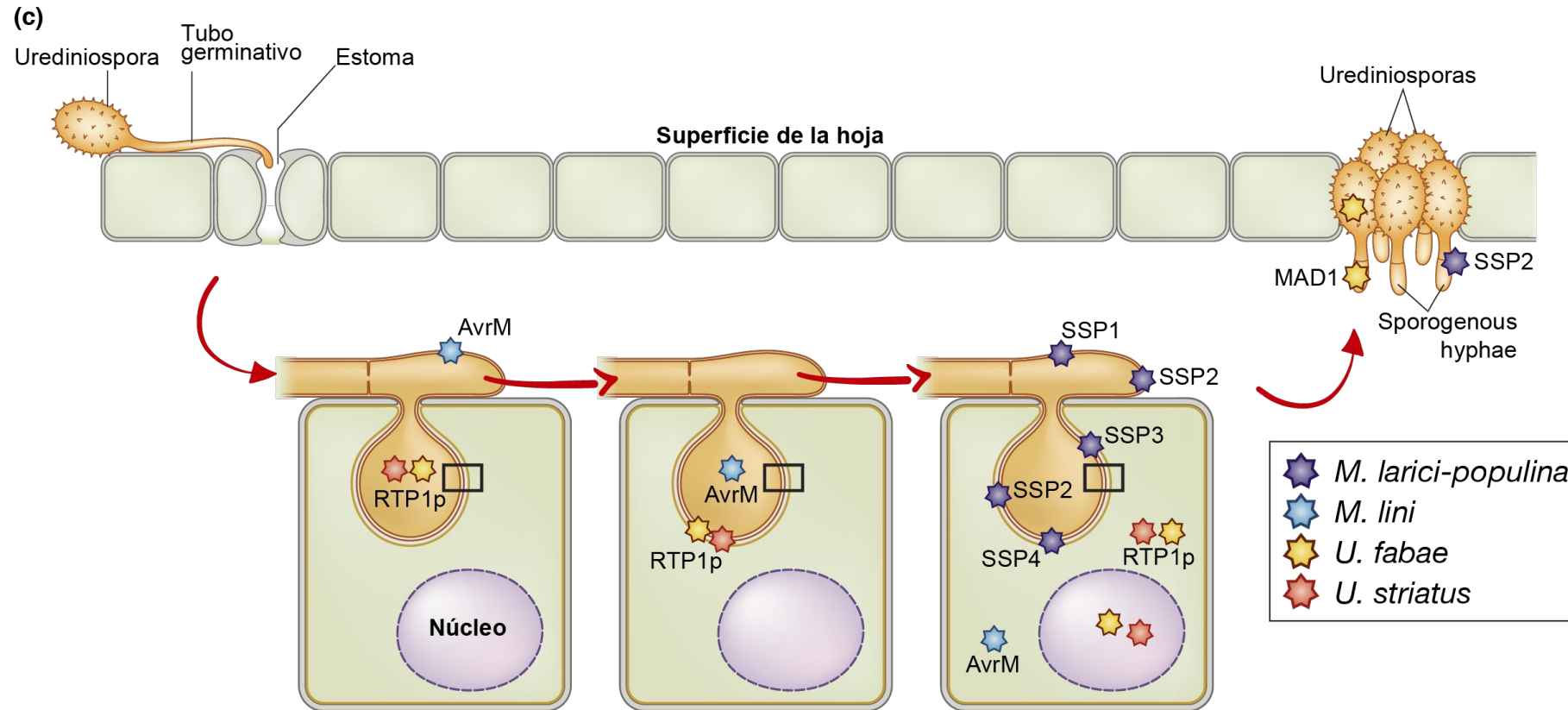


# Expresión de efectores en royas



Adaptado de Lorraine et al., (2018): Advances in understanding obligate biotrophy in rust fungi.

# Expresión de efectores en royas

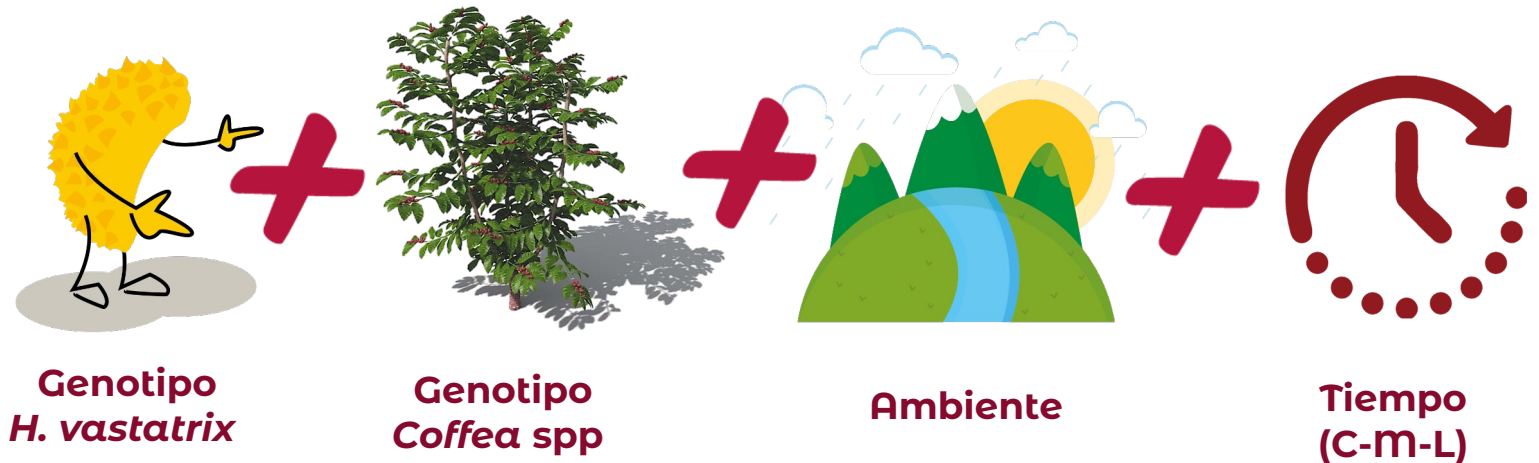


Adaptado de Lorraine et al., (2018): Advances in understanding obligate biotrophy in rust fungi.

# Interacción *H. vastatrix*- *Coffea*



Enfermedad




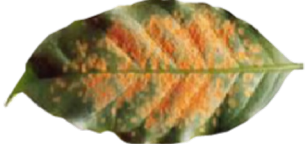
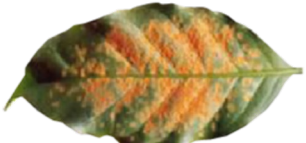

la interacción **genotipo** (*H. vastatrix*) X (*Coffea* spp.) X **ambiente** genera como resultado **fenotipo** (enfermedad\*)

# Genética de la interacción

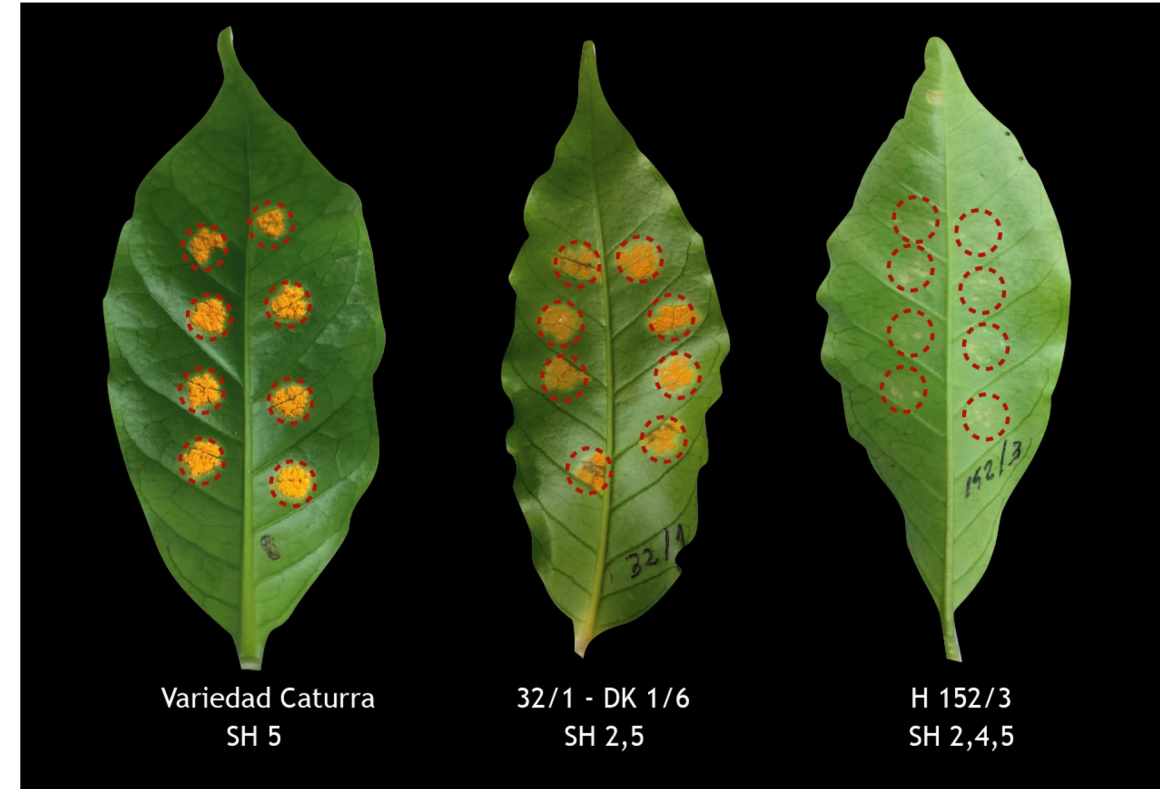
- **La resistencia específica / vertical** es efectiva para prevenir ataques exitosos solo por ciertas razas de patógenos.
- **Resistencia general / horizontal:** eficaz para prevenir ataques exitosos de todas las razas de patógenos; Resistencia poligénica, duradera y sin huésped.



## Teoría de Mendel (1866) &amp; Teoría de Flor (1955)

		Variedades de Cafeto	
		R/-	rr
Razas de Roya	Avr/-	 (Incompatibilidad)	 (Compatibilidad)
	avr/avr	 (Compatibilidad)	 (Compatibilidad)

Genética mendeliana: solo rasgos dominantes.  
Presencia vs. Ausencia  
**Resistencia completa**



Virulencia del patógeno. Presencia o ausencia de esporulación. **Resistencia Completa**

# Las royas en la era de la genómica

- **Secuenciación** del genoma fúngico de la roya  
(60 a > 300 Mb - 2Gb). - (15.000 a 20.000 genes)
- **Predicción** de efectores candidatos en secretomas  
(1000 y 2000 por genoma )
- **Transcriptómica:** Buscando la aguja en el pajar
- **Genómica poblacional:** genes efectores y avirulencia



Figura. Estructura del AND y procedimiento de secuenciación

# Hemileia vastatrix en la era de la genómica

interacción

**Cenicafé**  
Centro Nacional de Investigaciones de Café



multiplicación de  
aislamiento  
purificado



secuenciación



ensamblaje del  
genoma



análisis  
bioinformáticos



disponibilidad  
pública

The figure consists of three screenshots. The left screenshot shows the NCBI Taxonomy page for *Hemileia vastatrix*, detailing its classification and providing links to external resources like Wikipedia and GBIF. The middle screenshot is a Microbiology announcement from October 2023, titled "Genome sequence of *Hemileia vastatrix* Berk. and Br. (Race 1), the causal agent of coffee leaf rust, isolate from Risaralda, Colombia", listing authors Carlos A. Angel, Gustavo A. Marín-Ramírez, and Carlos E. Maldonado. The right screenshot is a digital repository page from Cenicafé, titled "Librería de elementos transponibles del genoma de *Hemileia vastatrix* (Race 1), agente causante de la roya del café", listing authors Maldonado, Marín-Ramírez, and Angel, and providing a DOI and abstract.

Figura. Publicaciones generadas desde cenicafe asociada al genoma de *H. vastatrix*.

Dovetail  
GENOMICS  
Part of Cantata Bio, LLC

UFV Universidade Federal  
de Viçosa

UC RIVERSIDE

**¿Es necesario continuar con estudios moleculares del patógeno?**

**¿Tenemos avances en el conocimiento?**



# patógeno, planta, clima. acción!

acción!

**Cenicafé**  
Centro Nacional de Investigaciones de Café



IN FOCUS NEWS

AGRICULTURE

## Coffee rust regains foothold

Researchers marshal technology in bid to thwart fungal outbreak in Central America.

BY DANIEL CRESSEY

Where there is coffee, there is 'coffee rust'. But the long stalemate between growers and the fungus behind the devastating disease has broken — with the fungus taking the advantage. As one of the most severe outbreaks ever rages through Central America, researchers are reaching for the latest tools in an effort to combat the pest, from sequencing its genome to cross-breeding coffee plants with resistant strains.

Caused by the fungus *Hemileia vastatrix*, coffee rust generally does not kill plants, but the Institute of Coffee of Costa Rica estimates that the latest outbreak may halve the 2013–14 harvest in the worst affected areas of the nation. This outbreak is “the worst we’ve seen in Central America and Mexico since the rust arrived” in the region more than 40 years ago, says John Vandermeer, an ecologist at the University of Michigan in Ann Arbor, who has



Coffee growers are worried that a fungal outbreak will affect the next harvest of coffee berries.

CORRECTED ONLINE 30 JANUARY 2013 | 31 JANUARY 2013 | VOL 493 | NATURE | 587

© 2013 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved

- Pérdidas de 30 a 50% de la producción (Zambolim et al., 2005).
- Pérdida en **Café arábica** 1-2 billones USD (van der Vosses, 2005).
- **2008-2013** daños severos en América Central y México (Cressey, 2013).
- Honduras pierde la variedad **Lempira98** y Brasil **Catucai** (IAH, 2013).
- Costa Rica pierde **50%** producción 2013-2014 (Cressey, 2013).

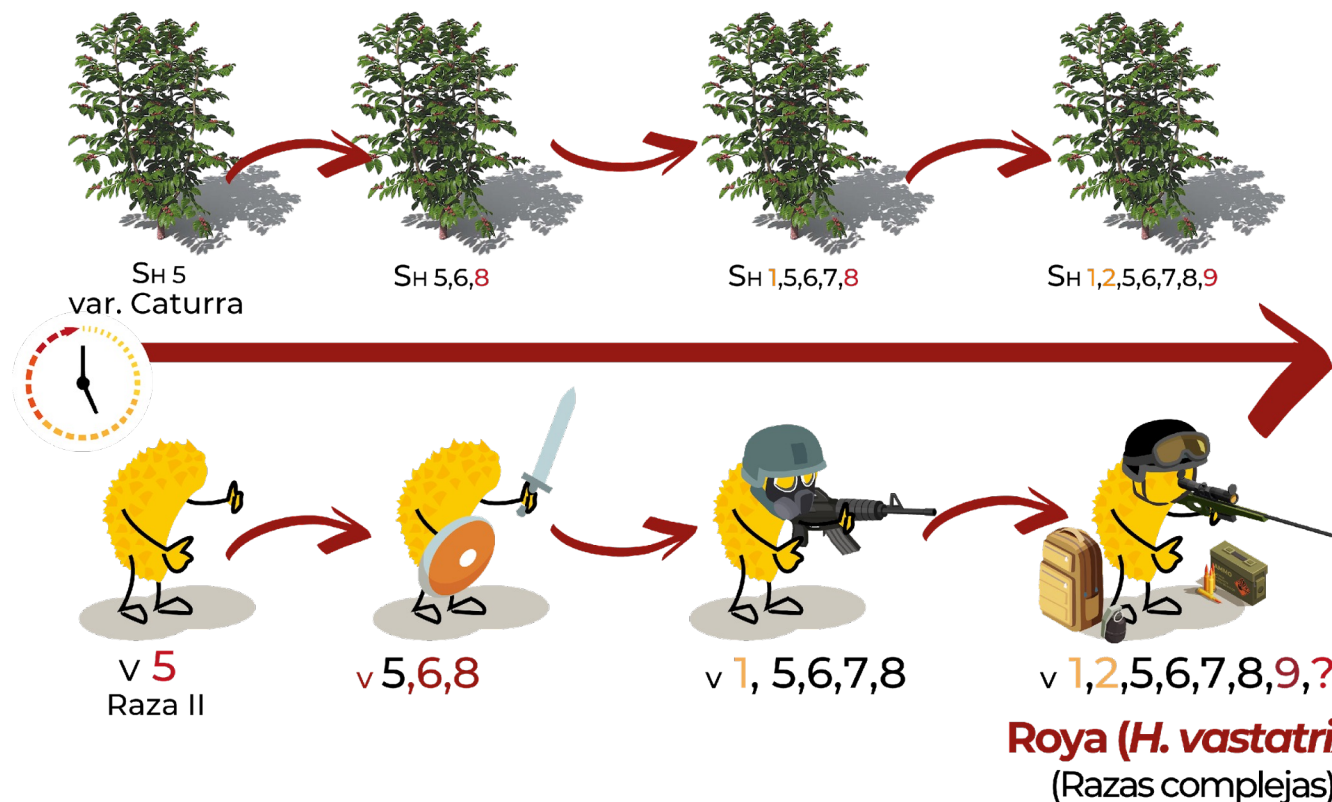
# H. vastatrix nos sigue paso a paso ...

acción!

**Cenicafé**  
Centro Nacional de Investigaciones de Café



## Variedades de Café (Variedades resistentes)



**25 o más años**  
variedad  
comercial

**Meses o  
pocos años**

H. vastatrix co-evolucionará y mutará en sus genes, *pierde* y gana mecanismos de virulencia (**adaptación**)



# Susceptible

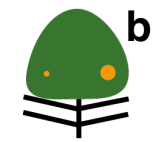
# Resistente



acción!



a.



b.



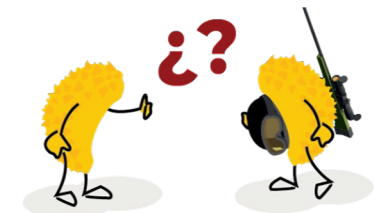
c.



# Resistencia ó inmunidad

- a) **Resistencia (*biología*):** la capacidad de un organismo para defenderse, atenuar y recuperarse de los daños causados por patógenos. el patógeno puede causar enfermedad.
- b) **Inmunidad (*biología*):** respuesta altamente efectiva que impide la infección y desarrollo del patógeno, protegiendo así la salud y el rendimiento de la planta. El patógeno no pueda causar enfermedad.

**resistencia no es sinónimo de inmunidad**





# Evaluación en campo

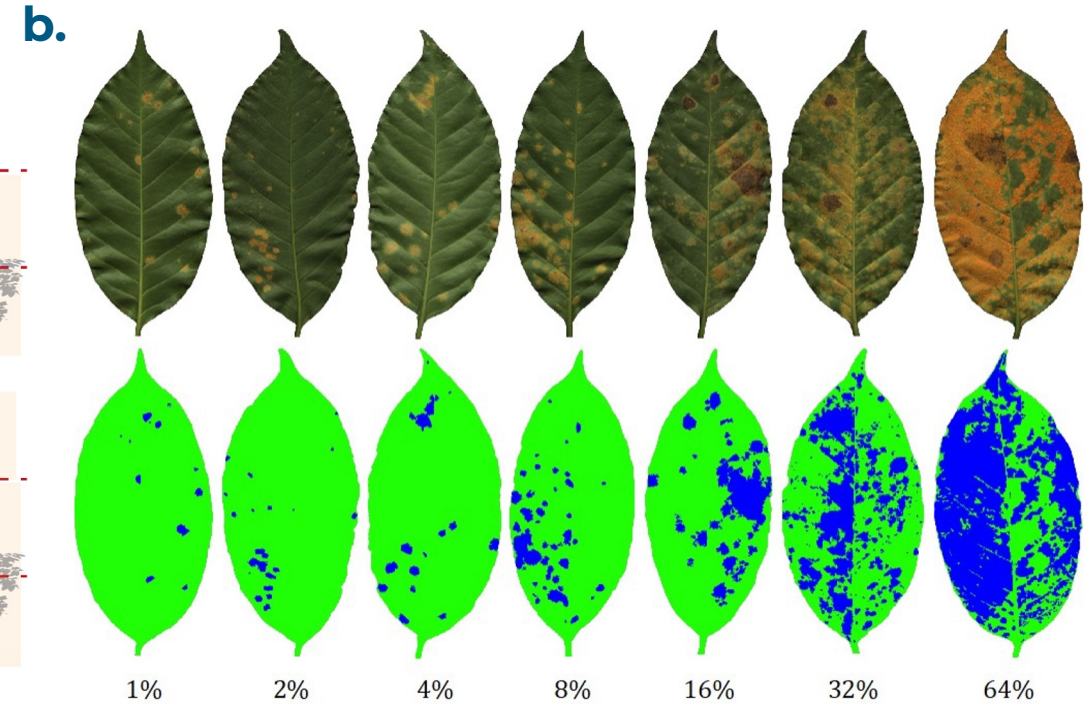
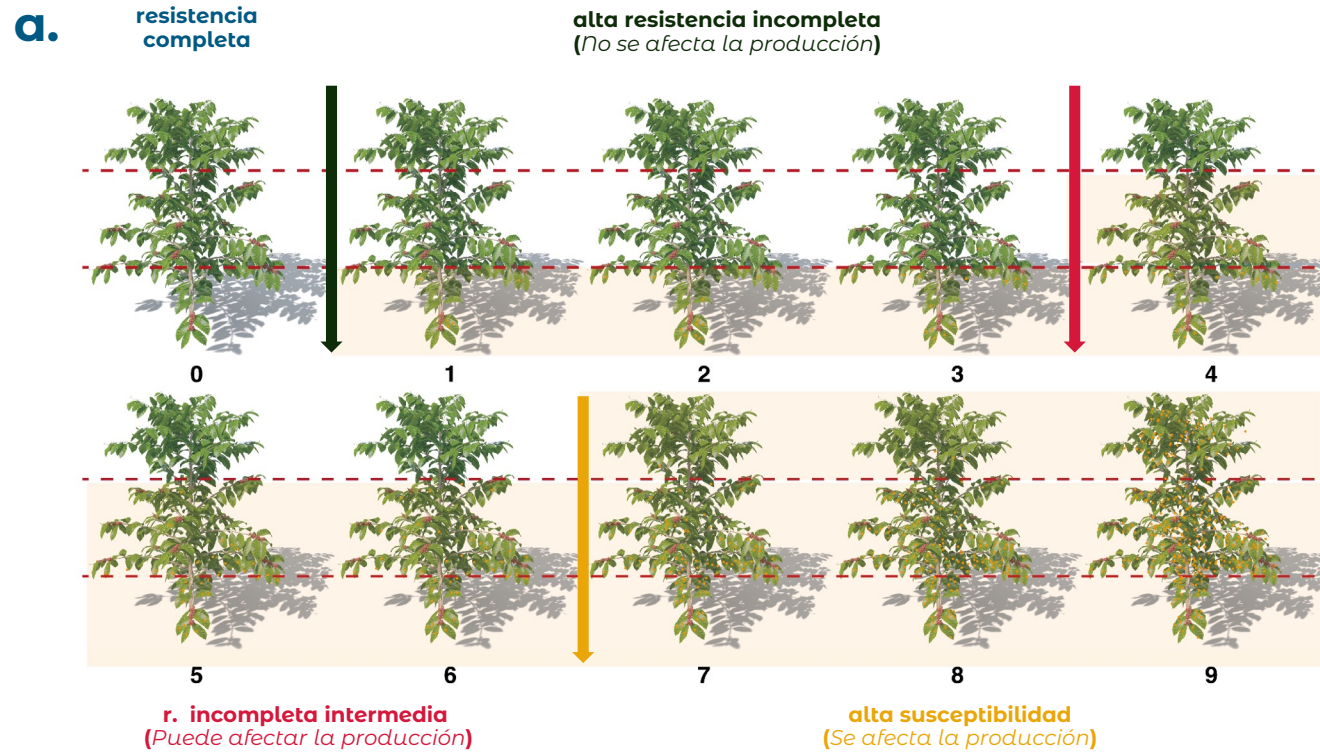


Figura. metodología de evaluación **a.** incidencia (Eskes y Toma-Braghini) , **b.** Severidad (López et al,2018) de la roya del cafeto.

# Evaluaciones nacionales

## Distribución lotes evaluados

Cada departamento fue considerado como una población, por lo tanto, la muestra aplicada fluctuó entre 18 lotes para el Meta, y 419 para el Huila; a su vez, los lotes fueron seleccionados aleatoriamente de los registrados en el SICA en abril 30 del 2024, evaluando a nivel país 3.168 lotes, con edades entre 2 y 7 años.

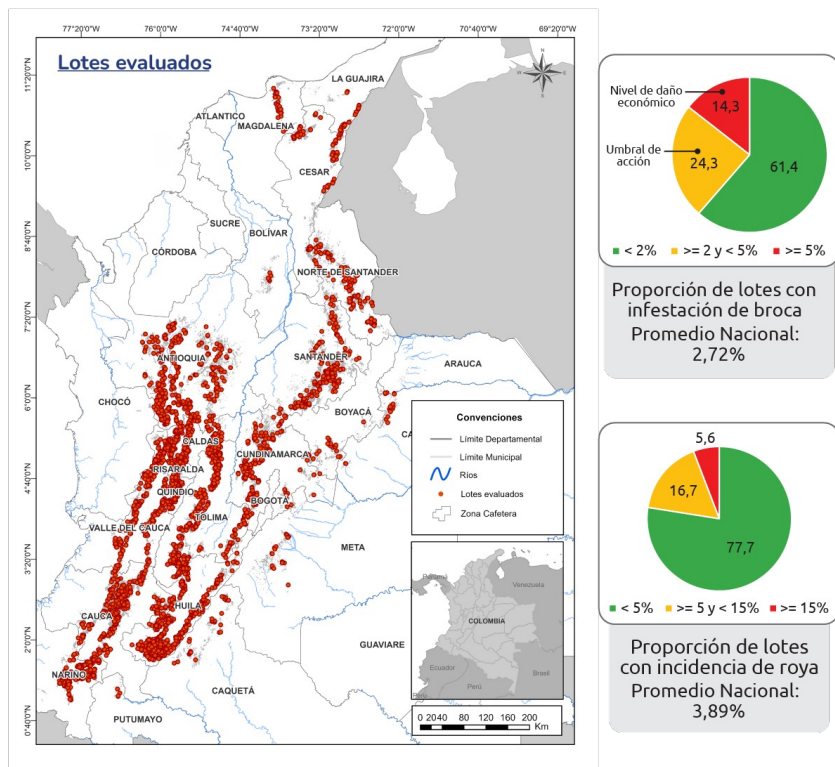
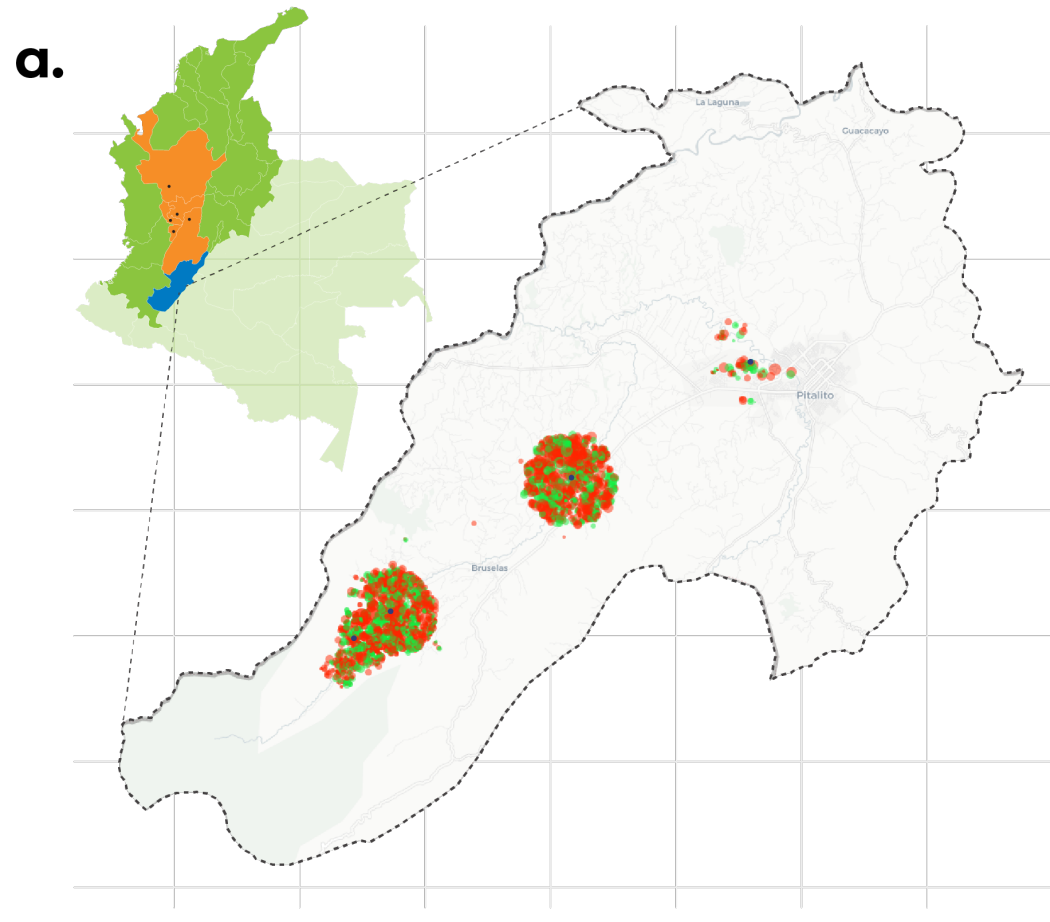


Figura. Evaluaciones nacionales realizadas por el servicio de extensión de la FNC

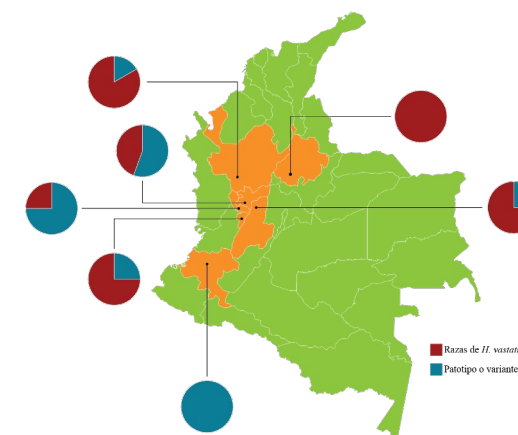
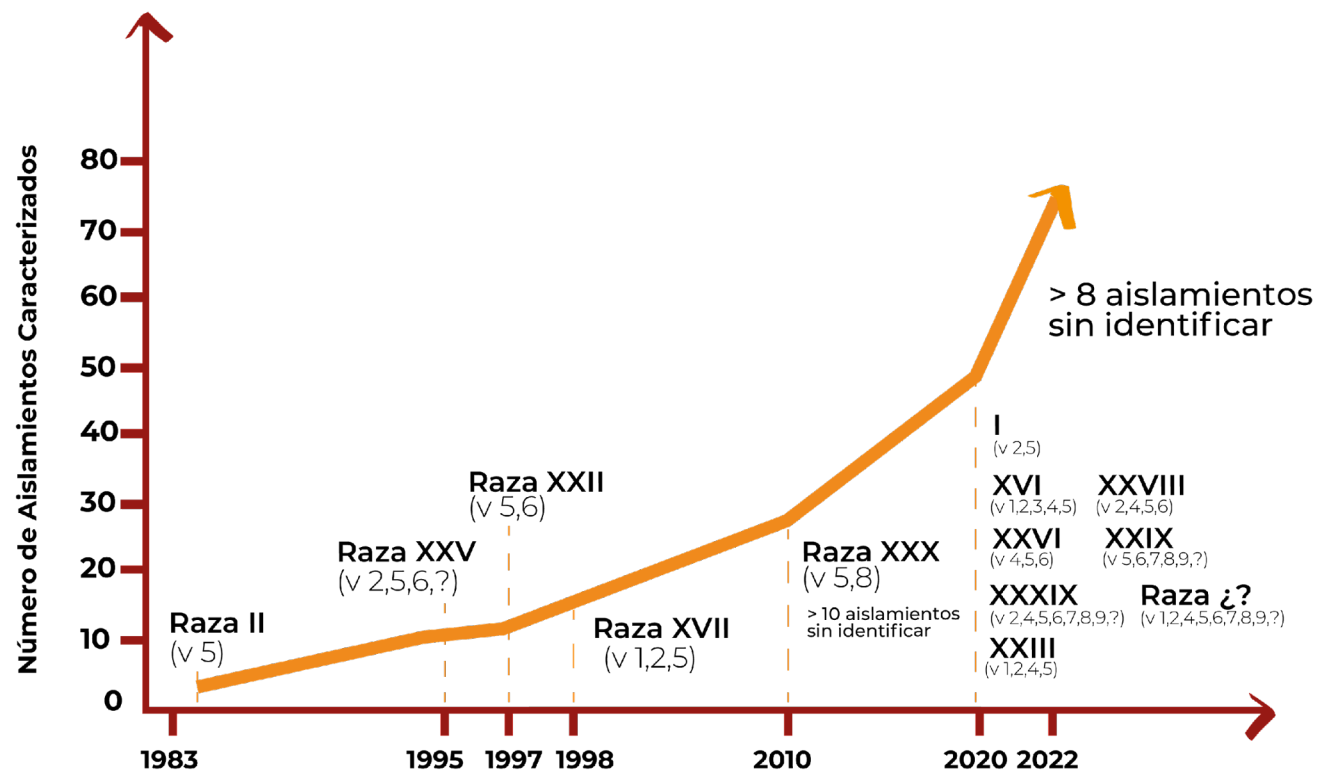
# La roya en Colombia (caso Huila)



**Figura.** Esquema de la distribución de lotes con variedades susceptibles y resistentes en el departamento del huila en el transecto Pitalito, durante el periodo 2016 al 2020. Proyecto regalías huila.



# Las variantes de *H. vastatrix*



- **9** Razas nuevas presentes en Colombia.
- **7** Nuevas variantes complejas no identificadas como razas (Patotipos).
- **4** Razas conocidas presentes **II, XXII, XXIII y XXXIX**.

Figura. Curva de presencia de aislamientos caracterizados como variantes (Razas) de *H. vastatrix*.



**¿Qué tanto debemos preocuparnos por las variantes?**

**¿Que medidas debemos de tomar para su control?**

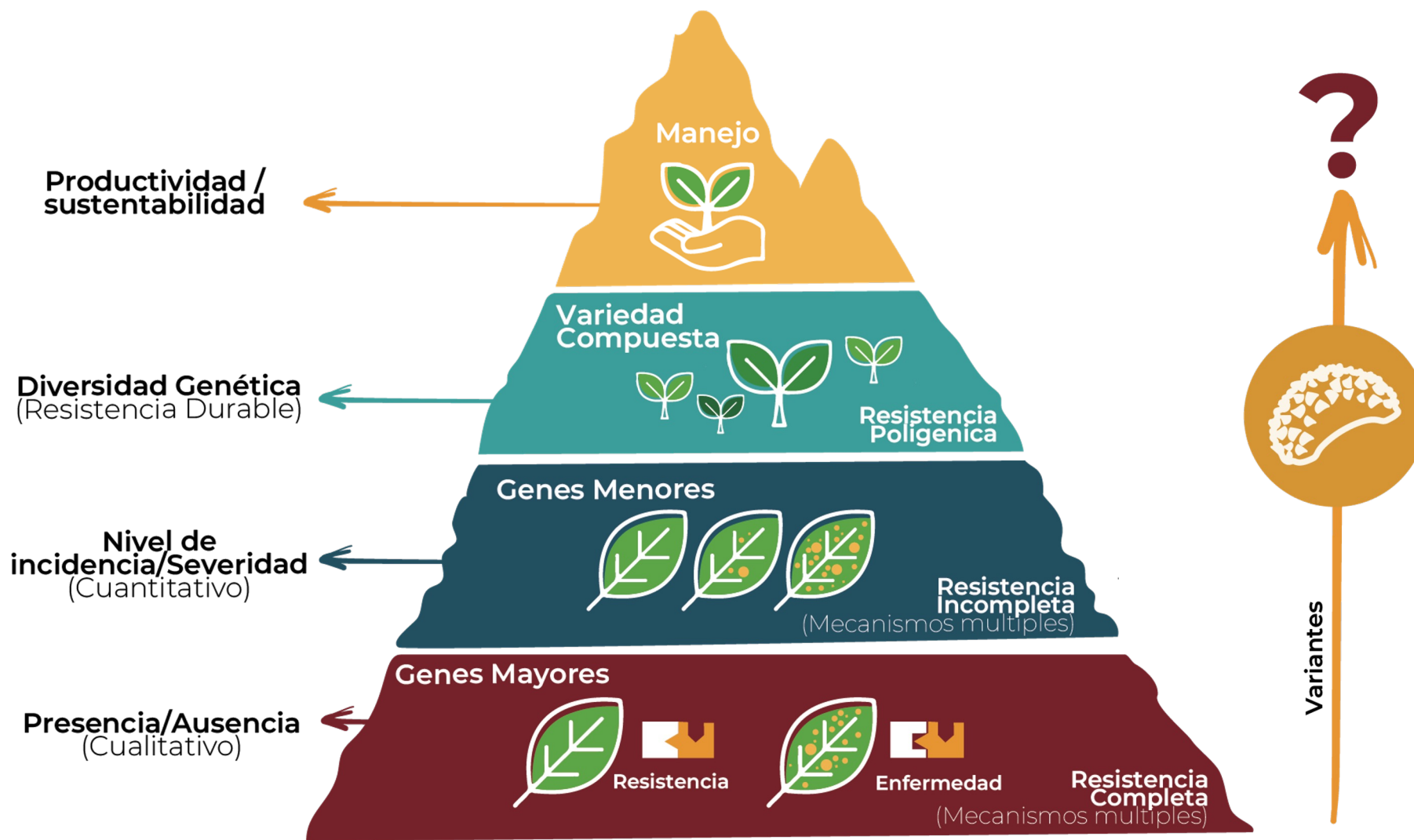


Figura. Esquema de la estrategia de Colombia para el manejo integrado de las enfermedades.



# manejo integral del sistema de producción y del cultivo



## manejo integrado de la enfermedad

# Desarrollo de la enfermedad

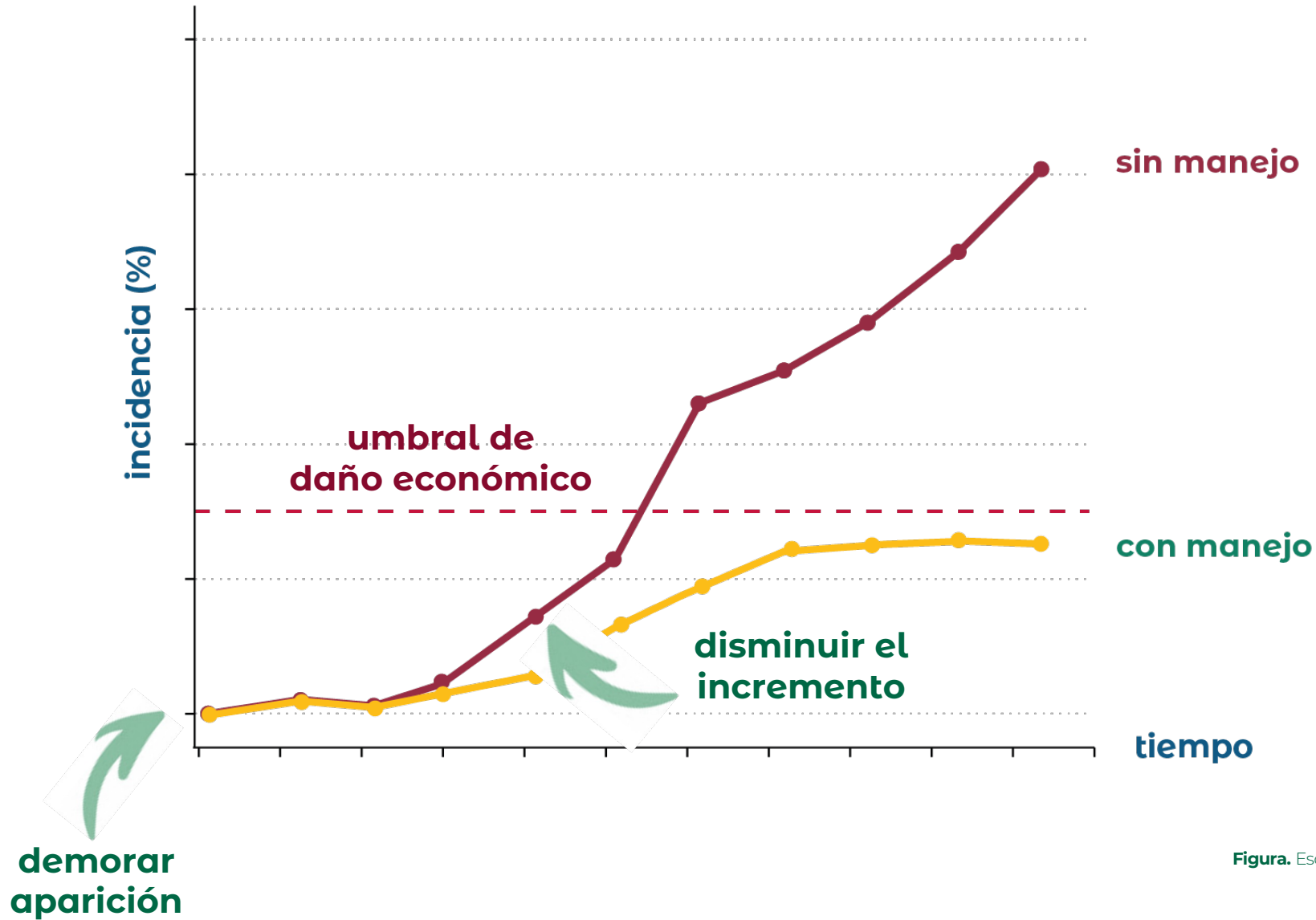


Figura. Esquema de manejo de una enfermedad.



# Productos recomendados para el manejo de la roya del cafeto

Aplicación	Tipo de fungicida	Ingrediente activo	Nombre del producto comercial
Follaje	Preventivo Curativo	Hezaconazole	Mildium 50 SC
Follaje	Preventivo Curativo	Cyproconazole	Alto 100 SL
Follaje	Preventivo Curativo Erradicativo	Cyproconazole + Azoxystrobin	Amistar ZETRA 28 SC
Follaje	Preventivo Curativo	Pyraclostrobin	Comet EC
Follaje	Preventivo Curativo	Flutriafol + Azoxystrobin	Authority 250 SC*
Suelo	Preventivo Curativo	Cyproconazole + thiamethoxam	Verdadero 600 WG**

\*Producto no disponible actualmente en el mercado  
 \*\*Producto usado para control de roya e insecticida





# Producción de café en Colombia

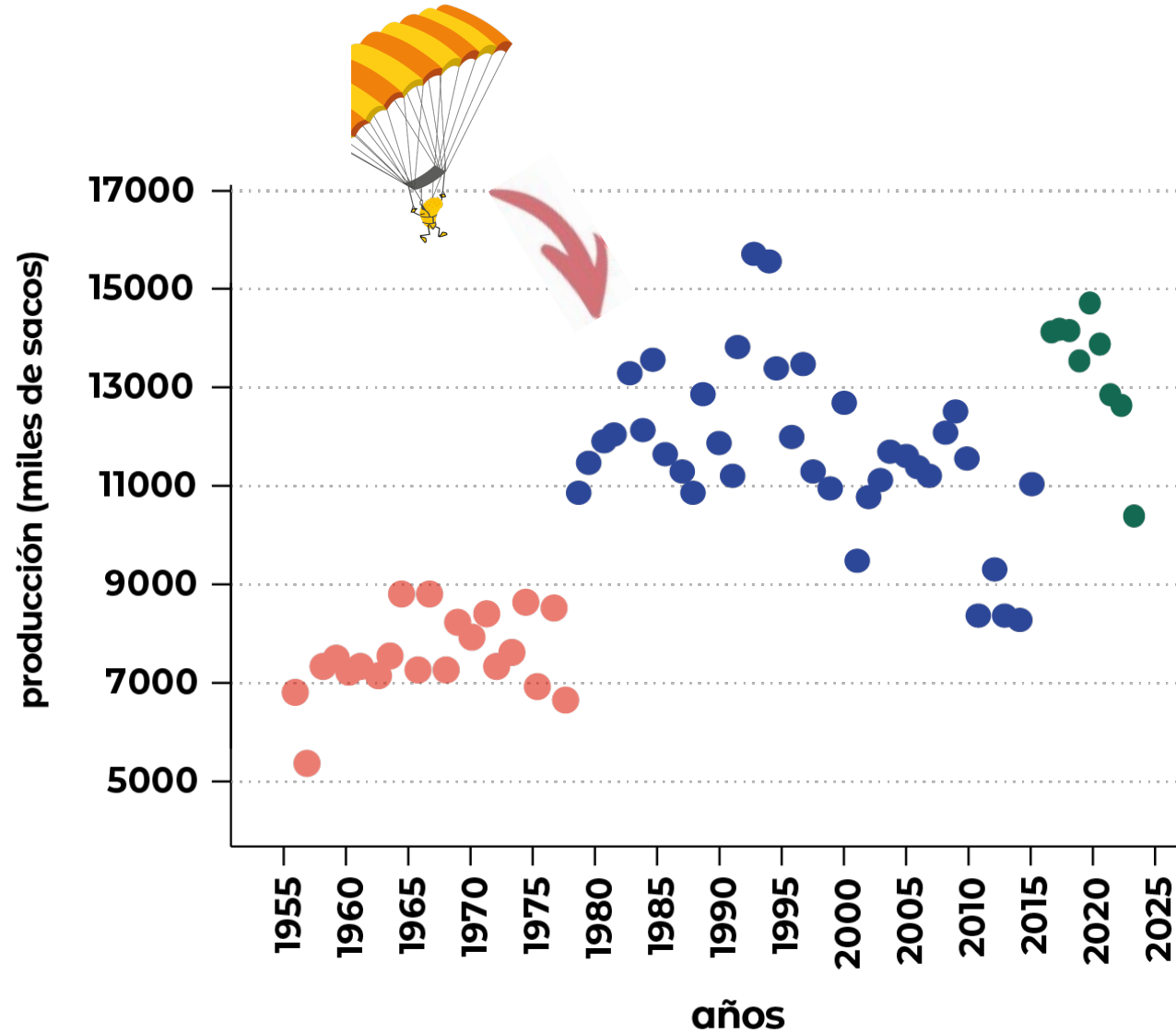
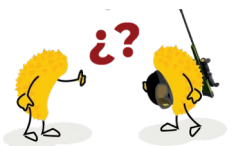


Figura. Producción de sacos de café de Colombia período 1955 a 2023.





## Agradecimientos

- Gerencia Técnica y Administrativa
- Dirección de Cenicafé
- Disciplina de Fitopatología
- Disciplina de Mejoramiento Genético
- Servicio de Extensión FNC
- Universidad Federal de Viçosa (LGGIPP)

“la adopción de ciencia y tecnología para el control de *Hemileia vastatrix* contribuye y garantiza una caficultura sostenible para todos”



# Cenicafé

Centro Nacional de Investigaciones de Café

Reserva Forestal Protectora Planalto

[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC



@cenicafefnc



# MÁS FEDERACIÓN