



**Uso de condiciones controladas
para la pre-selección de
genotipos con resistencia a
roya, portadores de genes de *C.
arabica***

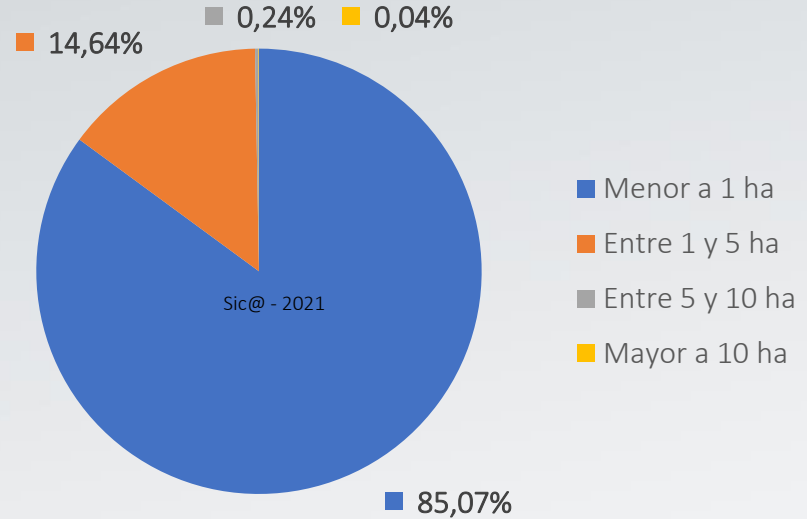
Julio Quiroga Cardona
Mejoramiento genético



La roya



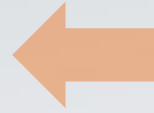
Hemileia vastatrix
Berk. and Broome



99% de la caficultura Colombiana sustenta la economía de pequeños caficultores.



Hemileia vastatrix
Berk. and Broome



FUENTES

C. arabica
 $S_H1 - S_H2 - S_H4 - S_H5 - S_H11$

C. liberica
 $S_H3 - S_H?$

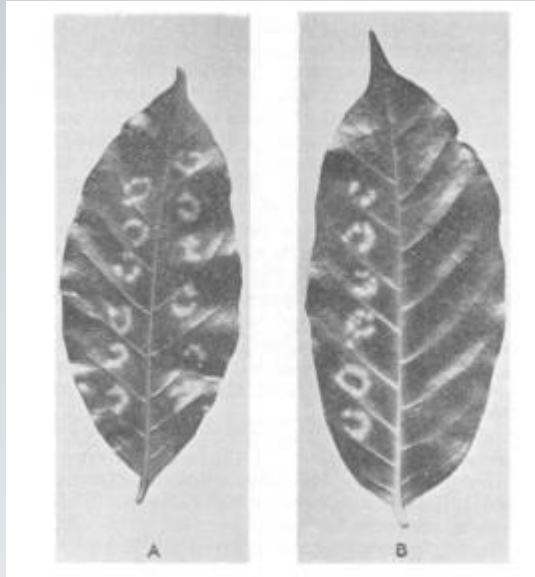
Híbrido de Timor
 $S_H6 - S_H7 - S_H8 - S_H9 - S_H11 - S_H?$

C. canephora
 $S_H5 - S_H6 - S_H7 - S_H8 - S_H9 - S_H10 - S_H11 - S_H12 - S_H?$

Híbrido de kawisari
 $S_H10 - S_H11 - S_H?$

C. euginioides – $S_H?$
C. salvatrix – $S_H?$
C. kapakata – $S_H?$

C. arabica como fuente de resistencia



Se identifican 2 factores que conferían resistencia a la roya SH1 y SH2

Old Chicks



Coorg



Kent

Central Coffee Research Institute, CCRI

C. arabica x *C. liberica*

Originaron el programa de mejoramiento genético de la India y las selecciones Reconocidas mundialmente

Selecciones S

Selecciones BA

S288-23 (SH3)

S795 (SH2 Y SH3)

BA – (SH3)



Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute
Desarrollo de las selecciones BP



C. arabica x *C. canephora*

Originaron la fuente por excelencia de resistencia a enfermedades más usada por los programas de mejoramiento en todo el mundo.

Híbrido de Tímor (SH6, 7, 8, 9, 10, 11)

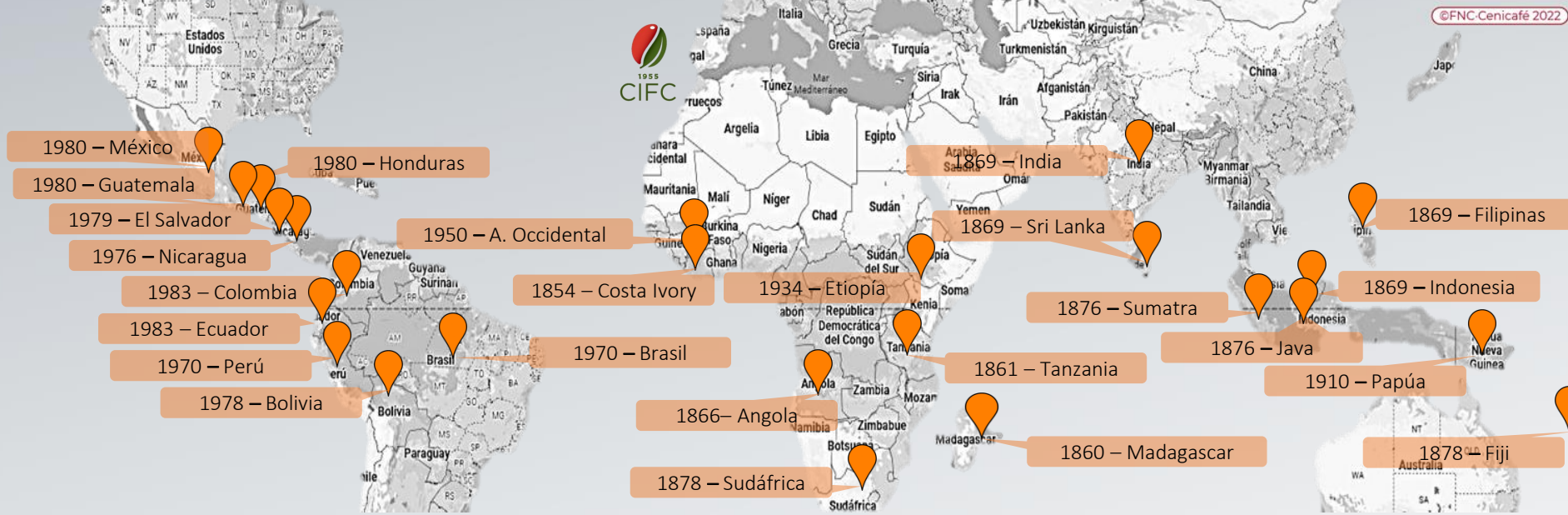


Híbridos interespecíficos como fuente de resistencia

- cific



- Solo america



1982 variedad Colombia.



Genes S_H de resistencia a la roya



Fueron identificados a partir de plantas diferenciales. Es el principal método para caracterizar los diferentes patotipos de roya que atacan el café.

Confieren resistencia a diferentes patotipos de roya.

En la actualidad se conocen 12 genes de resistencia y más de 50 variantes del patógeno.

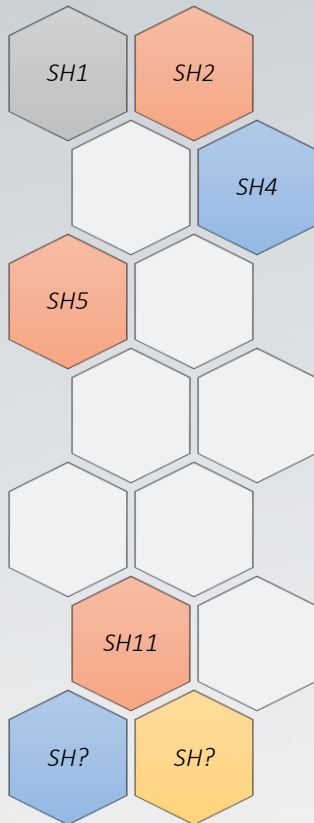
Flor, H. H. (1956). *The Complementary Genic Systems in Flax and Flax Rust*. *Advances in Genetics*, 8, 29-54. doi:[https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60498-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60498-8)

Noronha Wagner, M., & Bettencourt, A. (1967). *Genetic study of the resistance of Coffea spp. to leaf rust - Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in Coffea arabica to twelve physiologic races of Hemileia vastatrix*. *Canadian Journal of Botany*, 45(11), 2021-2031.

Barka GD, Caixeta ET, Ferreira SS, Zambolim L. *In silico guided structural and functional analysis of genes with potential involvement in resistance to coffee leaf rust: A functional marker based approach*. *PLoS One*. 2020 Jul 8;15(7):e0222747. doi: [10.1371/journal.pone.0222747](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222747). Erratum in: *PLoS One*. 2020 Sep 3;15(9):e0238967. PMID: 32639982; PMCID: PMC7343155.

Laércio Zambolim and Eveline Teixeira Caixeta. 2021. "An overview of physiological specialization of coffee leaf rust – new designation of pathotypes", *International Journal of Current Research*, 13(12), 15564-15575.

Genes S_H de *C. arabica*



A partir de clones
diferenciales

DIFERENCIAL	GENES SH	GENES DE VIRULENCIA
128/2 - Dilla & Alghe	SH1	^v 1
87/1 - Geisha	SH1,5	^v 1,5
32/1 - DK 1/6	SH2,5	^v 2,5
635/2 S.12 - Kaffa	SH4	^v 4
110/5 - S4 Agaro	SH4,5	^v 4,5
19/1 - Matari	SH5	^v 5
63/1 - Bourbon	SH5	^v 5

A partir de marcadores
moleculares

DIFERENCIAL	GENES SH	GENES DE VIRULENCIA
128/2 - Dilla & Alghe	SH1, 11	^v 1, 11

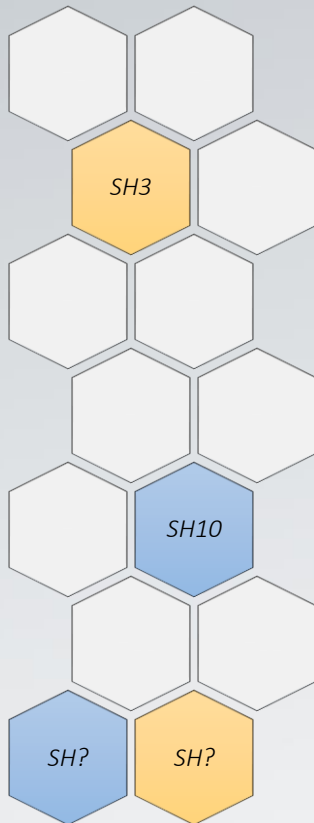
Flor, H. H. (1956). The Complementary Genic Systems in Flax and Flax Rust. *Advances in Genetics*, 8, 29-54. doi:https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60498-8

Noronha Wagner, M., & Bettencourt, A. (1967). Genetic study of the resistance of *Coffea* spp. to leaf rust - identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. *Canadian Journal of Botany*, 45(11), 2021-2031.

Barka GD, Caixeta ET, Ferreira SS, Zambolim L. In silico guided structural and functional analysis of genes with potential involvement in resistance to coffee leaf rust: A functional marker based approach. *PLoS One*. 2020 Jul 8;15(7):e0222747. doi: 10.1371/journal.pone.0222747. Erratum in: *PLoS One*. 2020 Sep 3;15(9):e0238967. PMID: 32639982; PMCID: PMC7343155.

Laércio Zambolim and Eveline Teixeira Caixeta. 2021. "An overview of physiological specialization of coffee leaf rust – new designation of pathotypes", *International Journal of Current Research*, 13(12), 15564-15575.

Genes S_H de *C. liberica*



A partir de clones
diferenciales

DIFERENCIAL	GENES SH	GENES DE VIRULENCIA
HW35	SH3,5	^v 3,5
33/1 - S.288-23	SH3,5	^v 3,5
644/18 H. Kawisari	SH?	^v ?

A partir de marcadores
moleculares

DIFERENCIAL	GENES SH	GENES DE VIRULENCIA
HW35	SH3,5	^v 3,5
33/1 - S.288-23	SH3,5	^v 3,5
644/18 H. Kawisari	SH10,11,?	^v 10,11,?

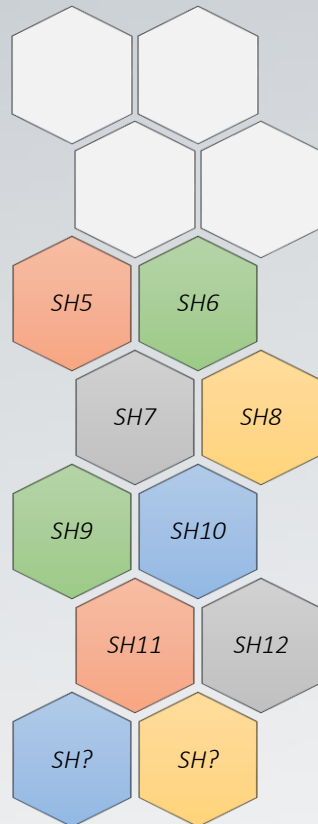
Flor, H. H. (1956). The Complementary Genic Systems in Flax and Flax Rust. *Advances in Genetics*, 8, 29-54. doi:[https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60498-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60498-8)

Noronha Wagner, M., & Bettencourt, A. (1967). Genetic study of the resistance of *Coffea* spp. to leaf rust - Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiological races of *Hemileia vastatrix*. *Canadian Journal of Botany*, 45(11), 2021-2031.

Barka GD, Caixeta ET, Ferreira SS, Zambolim L. In silico guided structural and functional analysis of genes with potential involvement in resistance to coffee leaf rust: A functional marker based approach. *PLoS One*. 2020 Jul 8;15(7):e0222747. doi: 10.1371/journal.pone.0222747. Erratum in: *PLoS One*. 2020 Sep 3;15(9):e0238967. PMID: 32639982; PMCID: PMC7343155.

Laércio Zambolim and Eveline Teixeira Caixeta. 2021. "An overview of physiological specialization of coffee leaf rust – new designation of pathotypes", *International Journal of Current Research*, 13(24), 15564-15575.

Genes S_H de *C. canephora* e HdT



A partir de clones diferenciais

DIFERENCIAL	GENES SH	GENES DE VIRULENCIA
1343/269 - H. Timor	SH6	^v 6
832/1 H. Timor	SH6,7,8,9,?	^v 6,7,8,9,?
832/2 H. Timor	SH6,7,8,9,?	^v 6,7,8,9,?
829/1 <i>C. canephora</i>	SH?	^v ?
681/7 <i>C. canephora</i>	SH?	^v ?
162113 <i>C. canephora</i>	SH?	^v ?

A partir de marcadores moleculares

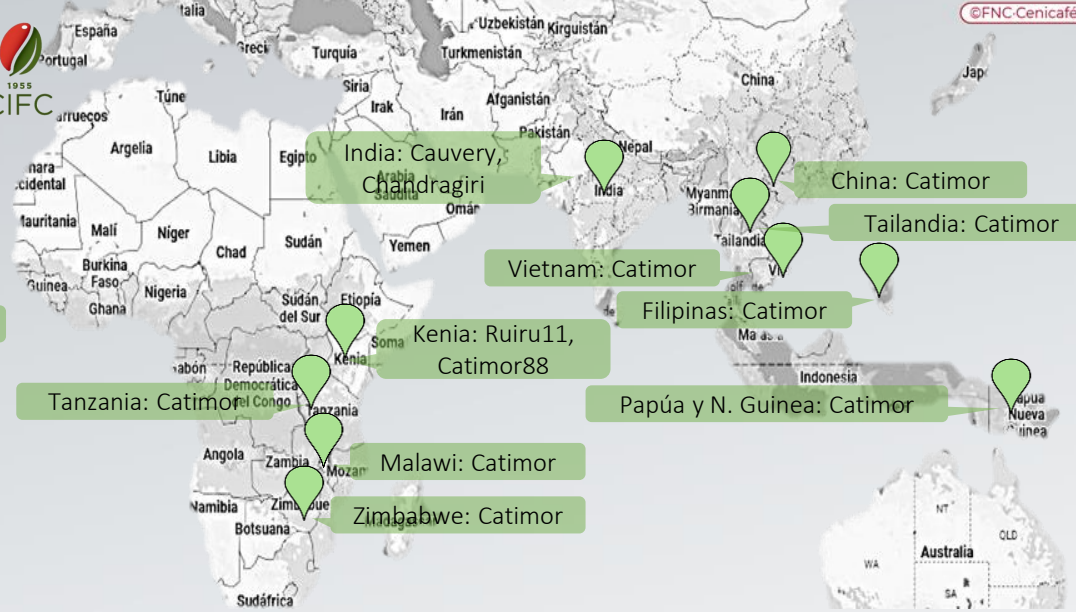
DIFERENCIAL	GENES SH	GENES DE VIRULENCIA
832/1 H. Timor	SH6,7,8,9, 11 ,?	^v 6,7,8,9, 11 ,?
832/2 H. Timor	SH6,7,8,9, 11,12 ,?	^v 6,7,8,9, 11,12 ,?
<i>C. canephora</i>	SH 5,9,10,11,12 ,?	^v 5,9,10,11,12 ,?

Flor, H. H. (1956). The Complementary Genic Systems in Flax and Flax Rust. *Advances in Genetics*, 8, 29-54. doi:[https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60498-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60498-8)

Noronha Wagner, M., & Bettencourt, A. (1967). Genetic study of the resistance of *Coffea* spp. to leaf rust - identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. *Canadian Journal of Botany*, 45(11), 2021-2031.

Barka GD, Caixeta ET, Ferreira SS, Zambolim L. In silico guided structural and functional analysis of genes with potential involvement in resistance to coffee leaf rust: A functional marker based approach. *PLoS One*. 2020 Jul 8;15(7):e0222747. doi: 10.1371/journal.pone.0222747. Erratum in: *PLoS One*. 2020 Sep 3;15(9):e0238967. PMID: 32639982; PMCID: PMC7343155.

Laércio Zambolim and Eveline Teixeira Caixeta. 2021. "An overview of physiological specialization of coffee leaf rust – new designation of pathotypes", *International Journal of Current Research*, 13(12), 15564-15575.

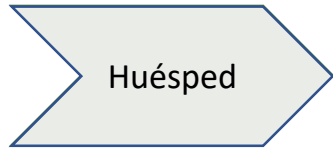
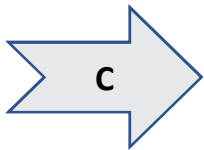
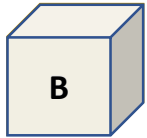
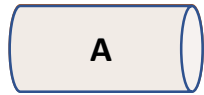


Más del 90% de las variedades de café arábica resistentes a la roya cultivadas en diferentes países cafetaleros, fueron desarrolladas a partir de estudios realizados en CIFC



La resistencia conferida por los genes S_H

Patógeno con mecanismos de virulencia



Resistencia completa



Reacción incompatible

La resistencia en estos sistemas generalmente es específica a una raza del patógeno y fácilmente se neutraliza por la aparición de nuevos patotipos.

Flor, H. H. (1956). The Complementary Genic Systems in Flax and Flax Rust. *Advances in Genetics*, 8, 29-54. doi:[https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60498-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60498-8)

Vanderplank, J. E. (1963). *Plant Diseases: Epidemics and Control*. New York: Academic Press.

Noronha Wagner, M., & Bettencourt, A. (1967). Genetic study of the resistance of Coffea spp. to leaf rust - Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in Coffea arabica to twelve physiologic races of Hemileia vastatrix. *Canadian Journal of Botany*, 45(11), 2021-2031. Vanderplank, J. E. (1968). *Disease Resistance in Plants* (1 ed.). Orlando: Academic Press.

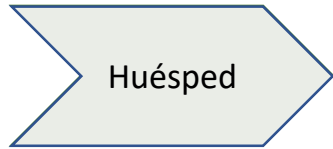
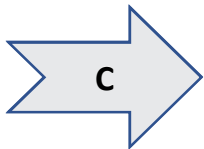
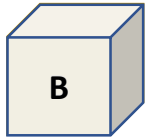
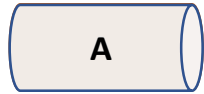
Flor, H. H. (1971). Current Status of the Gene For Gene Concept. *Annual Review of Phytopathology*, 9, 275-296. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.py.09.090171.001423>

Vanderplank, J. E. (1984). *Disease Resistance in Plants* (2 ed.). Orlando: Academic Press.

La resistencia conferida por los genes S_H

La resistencia horizontal se define como un tipo de resistencia incompleta o parcial, en la que el huésped presenta una reacción de susceptibilidad, presentando baja tasa de desarrollo de la enfermedad.

Patógeno con mecanismos de virulencia



Resistencia incompleta



Reacciones compatibles y remanentes de resistencia en la planta

****Caso trigo Lr11 x Lr30**

Flor, H. H. (1956). The Complementary Genic Systems in Flax and Flax Rust. *Advances in Genetics*, 8, 29-54. doi:[https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60498-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60498-8)

Vanderplank, J. E. (1963). *Plant Diseases: Epidemics and Control*. New York: Academic Press.

Noronha Wagner, M., & Bettencourt, A. (1967). Genetic study of the resistance of Coffea spp. to leaf rust - Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in Coffea arabica to twelve physiologic races of Hemileia vastatrix. *Canadian Journal of Botany*, 45(11), 2021-2031. Vanderplank, J. E. (1968). *Disease Resistance in Plants* (1 ed.). Orlando: Academic Press.

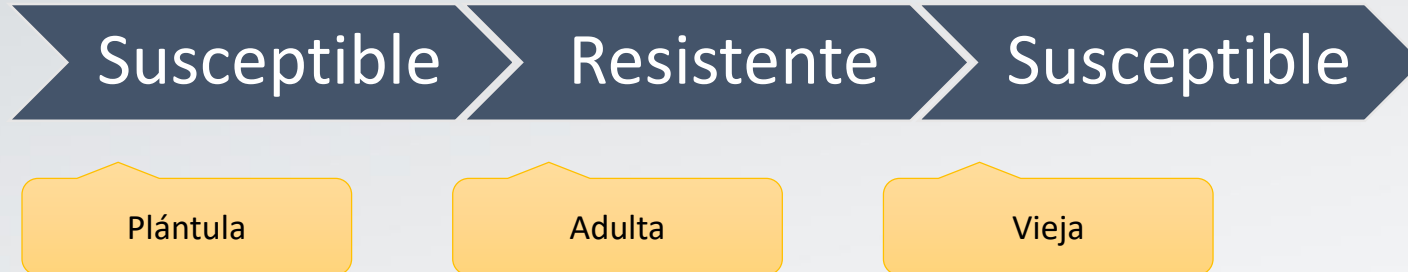
Flor, H. H. (1971). Current Status of the Gene For Gene Concept. *Annual Review of Phytopathology*, 9, 275-296. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.py.09.090171.001423>

Vanderplank, J. E. (1984). *Disease Resistance in Plants* (2 ed.). Orlando: Academic Press.

Factores que afectan la resistencia

Edad de la planta u órgano

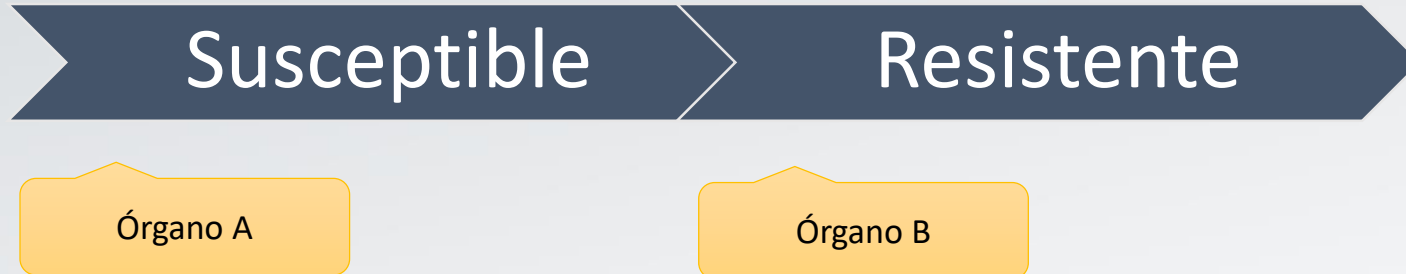
La gran mayoría de los genes de resistencia a enfermedades funcionan en todas las partes de la planta y en cada etapa de desarrollo; sin embargo, existen algunas excepciones donde la resistencia se manifiesta de manera específica en tejidos o etapas de desarrollo.



Factores que afectan la resistencia

Tipo de órgano

En *T. aestivum* (trigo) se ha observado que la resistencia a la roya puede variar entre hojas, tallos y espigas. Se ha demostrado que la eficiencia de la resistencia, en general, puede ser diferente en cada órgano de la planta, lo que significa especificidad en respuesta de resistencia a nivel de órgano



Factores que afectan la resistencia

Efectos ligados a la producción

La resistencia genética a patógenos puede penalizar la capacidad de producción de la planta.

Cultivo	gen	efecto
Trigo	<i>Wsm1</i>	Disminuye la producción – 21%
	<i>Sr26</i>	Disminuye la producción – 9%
Cebada	<i>mlo</i>	Disminuye la producción – 4,2%
Papa	Ausencia de R. a <i>P. infestans</i>	Aumenta la producción

Factores que afectan la resistencia

Nutrición de la planta

La cantidad del elemento que requieren los hongos patógenos de plantas, provienen en su totalidad del hospedero y su extracción dependerá del órgano que esté infectando.

En café, desbalances en elementos como calcio (Ca), silicio (Si), potasio (K), boro (B), zinc (Zn) y manganeso (Mn) pueden intervenir en la severidad causada por la roya.



Rosyady, M. G., Wijaya, K. A., Wulanjari, D., & Wafa, A. (2020). Role of Mineral Elements to Induce the Resistance of Arabica Coffee Against Rust Disease at Lowland Area. E3S Web of Conferences, 142, 03003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014203003>

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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02025>

Factores que afectan la resistencia

Efectos ligados al ambiente

La intensidad de la luz puede modular la respuesta de plantas a patógenos

Cultivo	gen	efecto
Trigo	<i>Temperatura</i>	<i>Sr6, Sr10, Sr15 y Sr17</i> - Susceptibles a <i>P. recondita</i> , cuándo hay alta temperatura
		<i>Sr13 y Sr9</i> - Susceptibles a <i>P. recondita</i> , cuándo hay baja temperatura
Trigo	<i>Luminosidad</i>	Baja luminosidad, disminuye la resistencia a <i>Puccinia sp</i>
Cebada		Baja luminosidad, augmenta la resistencia a <i>Puccinia sp</i>
Papa		Alta intensidad disminuye la resistencia a <i>P. infestans</i>

- Triangulo café

Edad de la planta



Edad de las hojas

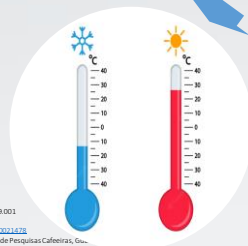


Genética



Factores

Ambiente

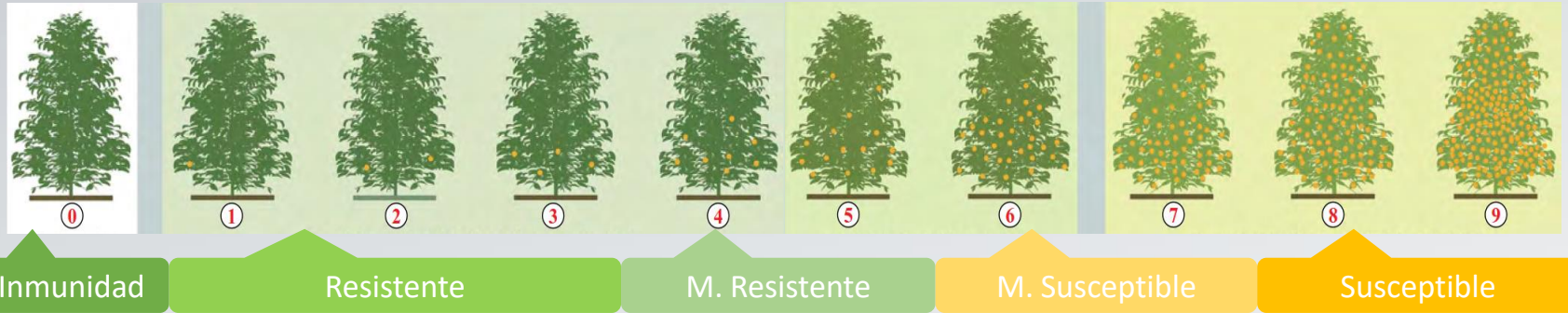


Nutrición



¿Cómo evaluar por resistencia?

Condiciones de campo



Eskes Toma-Braghini, (1981).

4 años de evaluaciones

2 evaluaciones por años

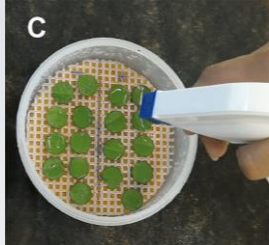
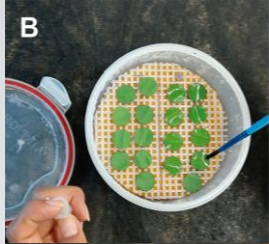
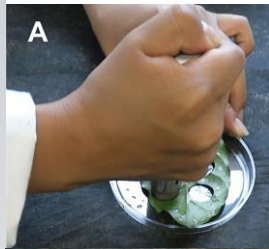
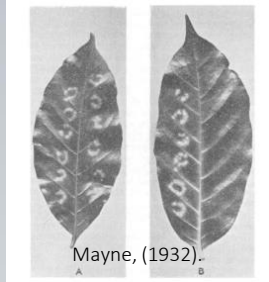
Evaluar en época de epidemia (abril-mayo / octubre-noviembre)

Si no hay epidemia, se pueden presentar escapes a la enfermedad

Altos costos

¿Cómo evaluar por resistencia?

Condiciones controladas



ventajas / desventajas

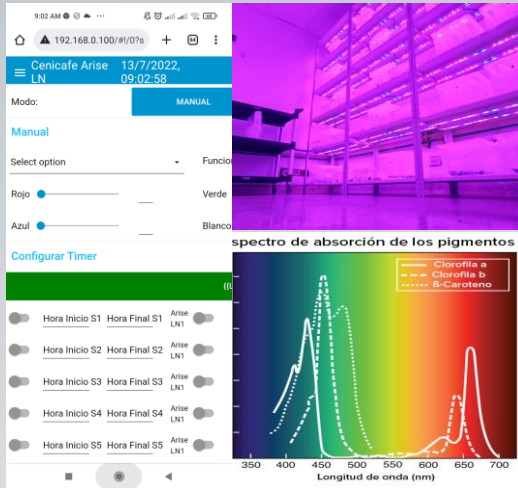
- La técnica reproduce los síntomas que se presentan en campo
- Diferenciar patotipos
- Diferenciar genotipos por resistencia
- Pruebas de patogenicidad
- Permite evaluar diversos inóculos al mismo tiempo
- Permite evaluar diversos genotipos a la vez
- Permite evaluar los componentes de la R. incompleta
- No requiere época de epidemia
- Menor tiempo de evaluación
- Alta repetibilidad
- Menor costo
- No todos los genotipos toleran el corte de tejido

Mayne, W. Physiological Specialisation of *Hemileia vastatrix* B. and Br. *Nature* **129**, 510 (1932). <https://doi.org/10.1038/129510a0>

Couttolenc-Brenis E, Carrión GL, Villain L, Ortega-Escalona F, Ramírez-Martínez D, Mata-Rosas M, Méndez-Bravo A. 2020. Prehaustorial local resistance to coffee leaf rust in a Mexican cultivar involves expression of salicylic acid-responsive genes. *PeerJ* 8:e8345 <https://doi.org/10.7717/peerj.8345>

¿Cómo medir la resistencia?

Condiciones controladas



ventajas / desventajas

- La técnica reproduce los síntomas que se presentan en campo
- Diferenciar patotipos
- Diferenciar genotipos por resistencia
- Pruebas de patogenicidad
- Permite evaluar diversos inóculos al mismo tiempo
- Permite evaluar diversos genotipos a la vez
- Permite evaluar los componentes de la R. incompleta
- No requiere época de epidemia
- Menor tiempo de evaluación
- Alta repetibilidad
- Menor costo
- Aumenta la vida útil del tejido al usar hojas completas
- ~~No todos los genotipos toleran el corte de tejido~~

Mayne, W. Physiological Specialisation of *Hemileia vastatrix* B. and Br. *Nature* **129**, 510 (1932). <https://doi.org/10.1038/129510a0>

Leguizamón Caicedo, J. (1985). Contribution a la connaissance de la résistance incomplète du caféier arabica (*Coffea arabica* L.) à la rouille orangée (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). Paris: CIRAD.

Couttolenc-Brenis E, Carrión GL, Villain L, Ortega-Escalona F, Ramírez-Martínez D, Mata-Rosas M, Méndez-Bravo A. 2020. Prehaustorial local resistance to coffee leaf rust in a Mexican cultivar involves expression of salicylic acid-responsive genes. *PeerJ* 8:e8345 <https://doi.org/10.7717/peerj.8345>

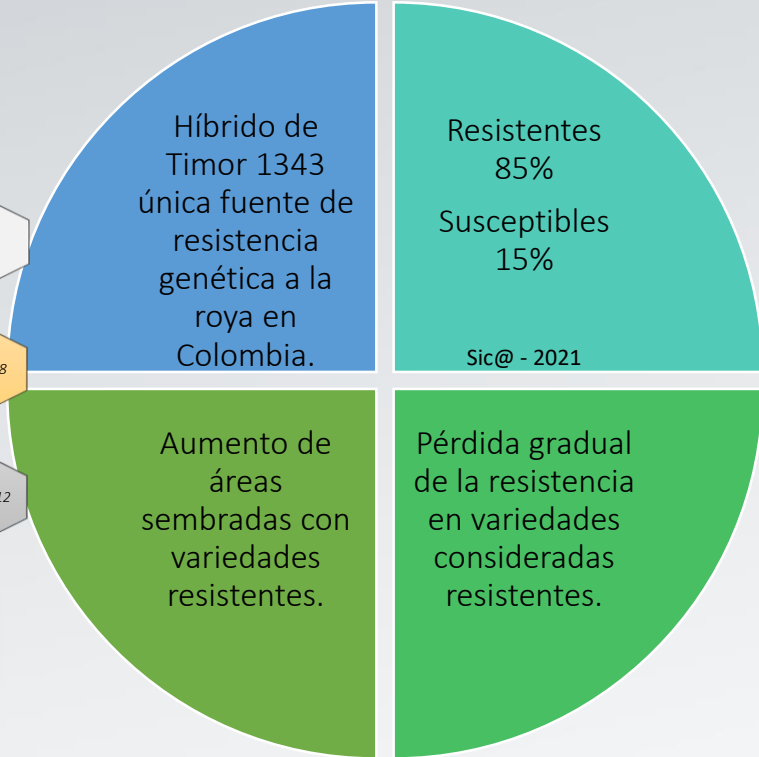
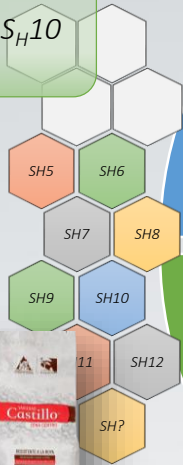
Escala de medición en laboratorio

Una escala adecuada, permite medir los componentes de la resistencia incompleta. Período de incubación (PI), período de latencia (PL), porcentaje de lesiones, lesiones esporulantes y densidad de esporulación. En general, los resultados que se obtienen con la escala de Leguizamón Caicedo, (1985), tienen la misma tendencia que la escala original (Eskes & Toma-Braghini, 1981).



Caso Colombia

Híbrido de Timor
 $S_H6 - S_H7 - S_H8 - S_H9 - S_H10$
 $- S_H11 - S_H?$





1938
Meg



1938/1960
Típica / Borbón



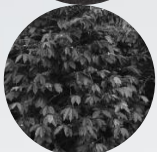
1947
C.C.C



1953/1954
BA – S – Kent – Geisha y otras



1960/1980
Caturra



1961
HdT



1968
Borbón x HdT
Típica x HdT



1972-1974
Clones diferenciales y pre
mejoramiento SH1, SH2, SH4



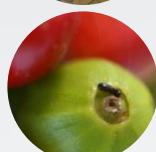
1982-1983
Col. Orstom y var. Colombia



2002
var. Tabi



2005
var. Castillo®



2002/2012
Proyecto genoma
validación de marcadores
moleculares



2014
Cruz. con pob. pre mejoradas
SH1, SH2, SH4 entre 1972-1974



2016/2017
var. Cenicafé 1 y Castillo zonales



2018
Inicio de trabajos en hoja
desprendida



2018/2019
Plan de cruzamientos con
diversas fuentes de resistencia

Linea de tiempo
Mejoramiento de café en Colombia



Sub Programa: MEJORAMIENTO POR RESISTENCIA A ENFERMEDADES

Solución:

Seleccionar plantas portadoras de genes de resistencia a roya aun no desplegados en campo comercialmente

Contribuye a la durabilidad de la



población



1972-1974
Clones
diferenciales y pre
mejoramiento
SH1, SH2, SH4

Pob. pre mejorada
(Cat x Geisha) x (Cat x F.840) x (Cat x HdT1343)
(Cat x Cioccie S6) x (Cat x Geisha) x (Cat x HdT1343)
[(CR x Villalobos) x Geisha] x M. Novo x (Cat x HdT1343)
Catuaí Am x (Cat x Geisha) x (Cat x HdT1343)
Cat x Geisha x (Cat x HdT1343)



2014
Cruz. con pob.
pre mejoradas
SH1, SH2, SH4



2018/2019
Plan de
cruzamientos
con
diversas fuentes
de resistencia

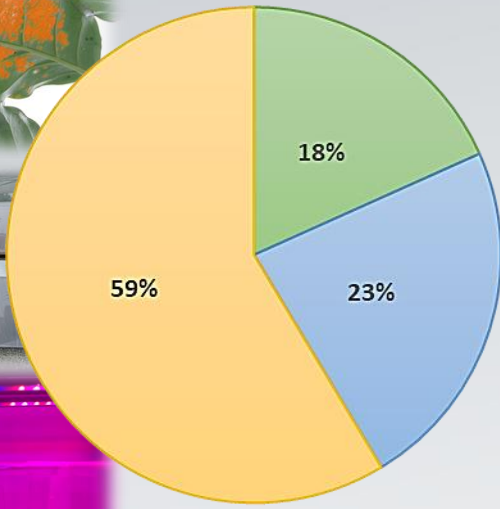
Cruzamientos
((CA X Geisha) X (CA X F840)) X HdT1343
(Cat x Can) X ((CA X Cioccie) X (CA X Geisha))
(Cat x Can) X ((CA X Geisha) X (CA X F840))
(HdT832-2) X ((CA X Cioccie) X (CA X Geisha))
(HdT832-2) X ((CA X Geisha) X (CA X F840))



2018
Inicio de
trabajos en hoja
desprendida

Escala Eskes-Toma Braghini ≥ 3

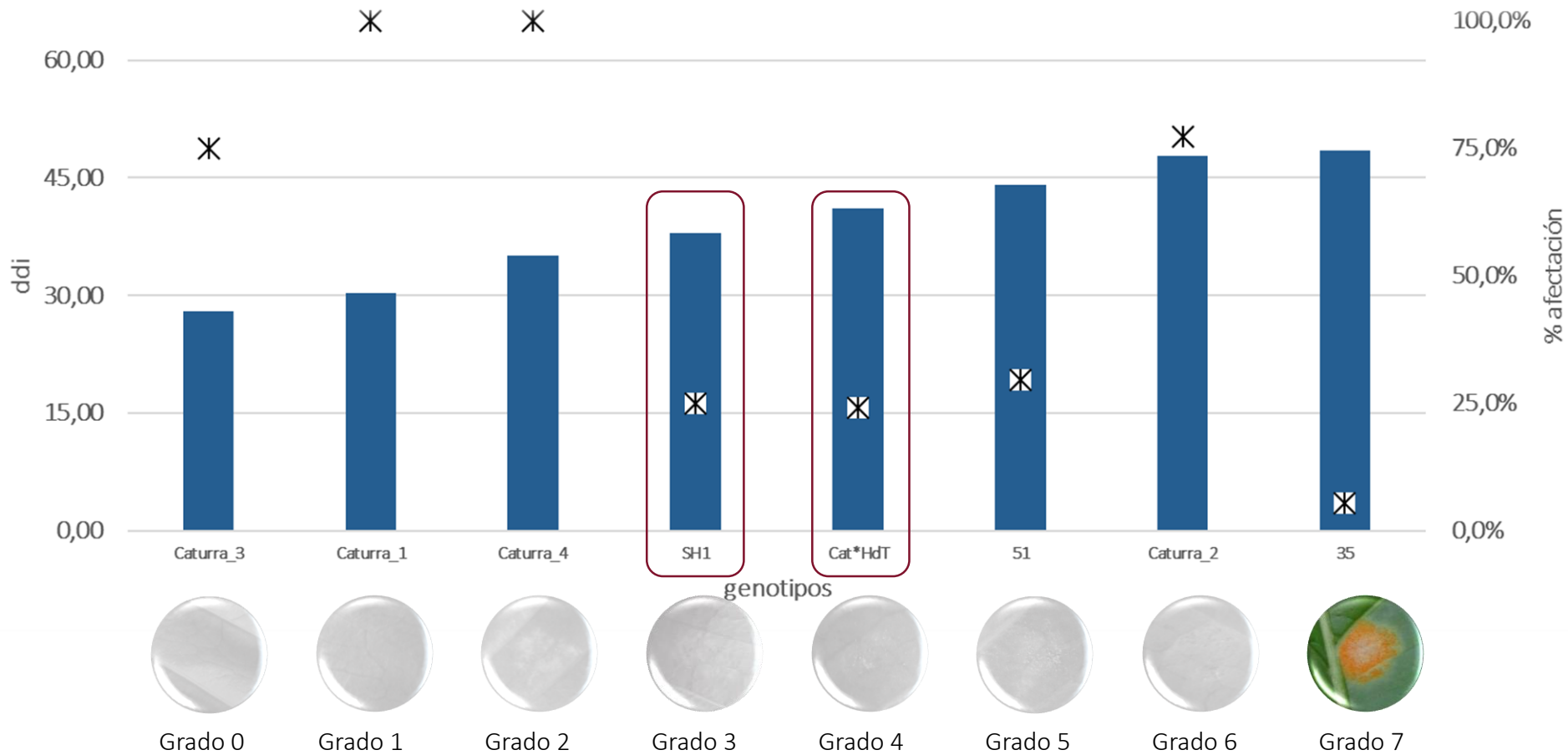
Método



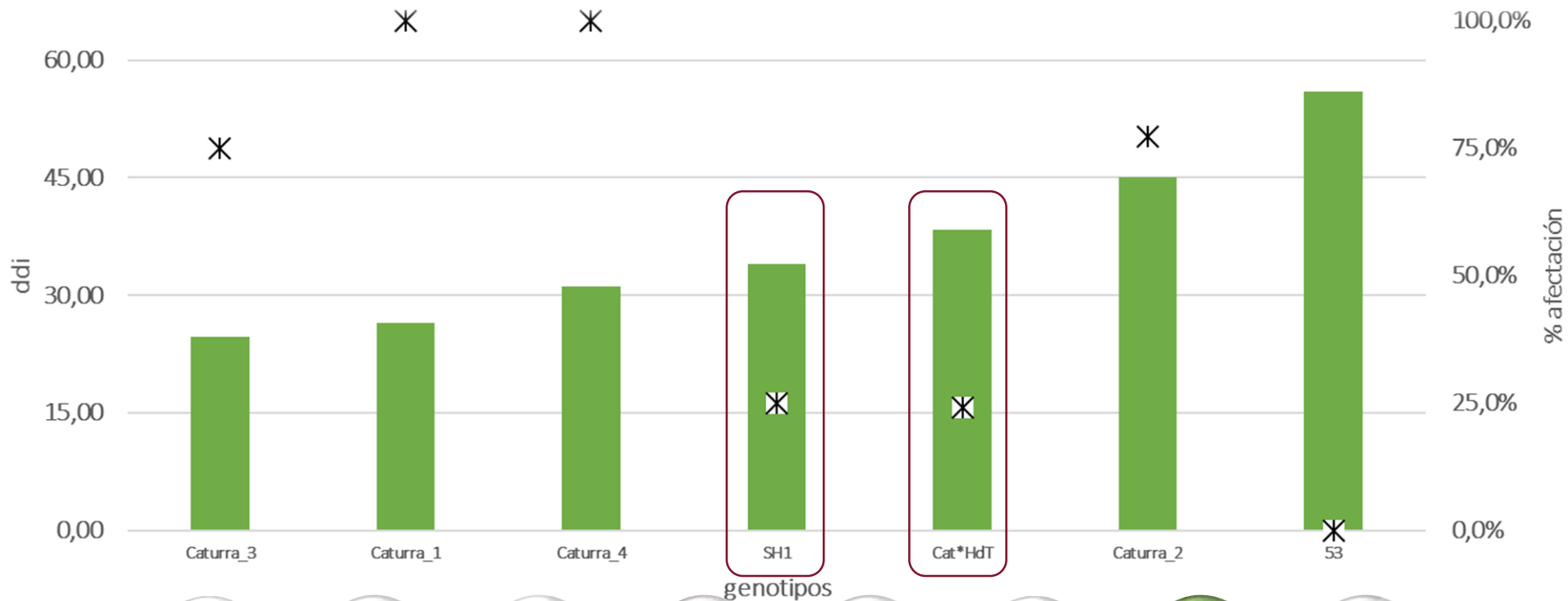
- Evaluado
- En análisis
- En proceso



Días promedio y afectación de plantas que alcanzaron grado 7



Días promedio y afectación de plantas que alcanzaron grado 6



Grado 0



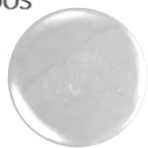
Grado 1



Grado 2



Grado 3



Grado 4



Grado 5

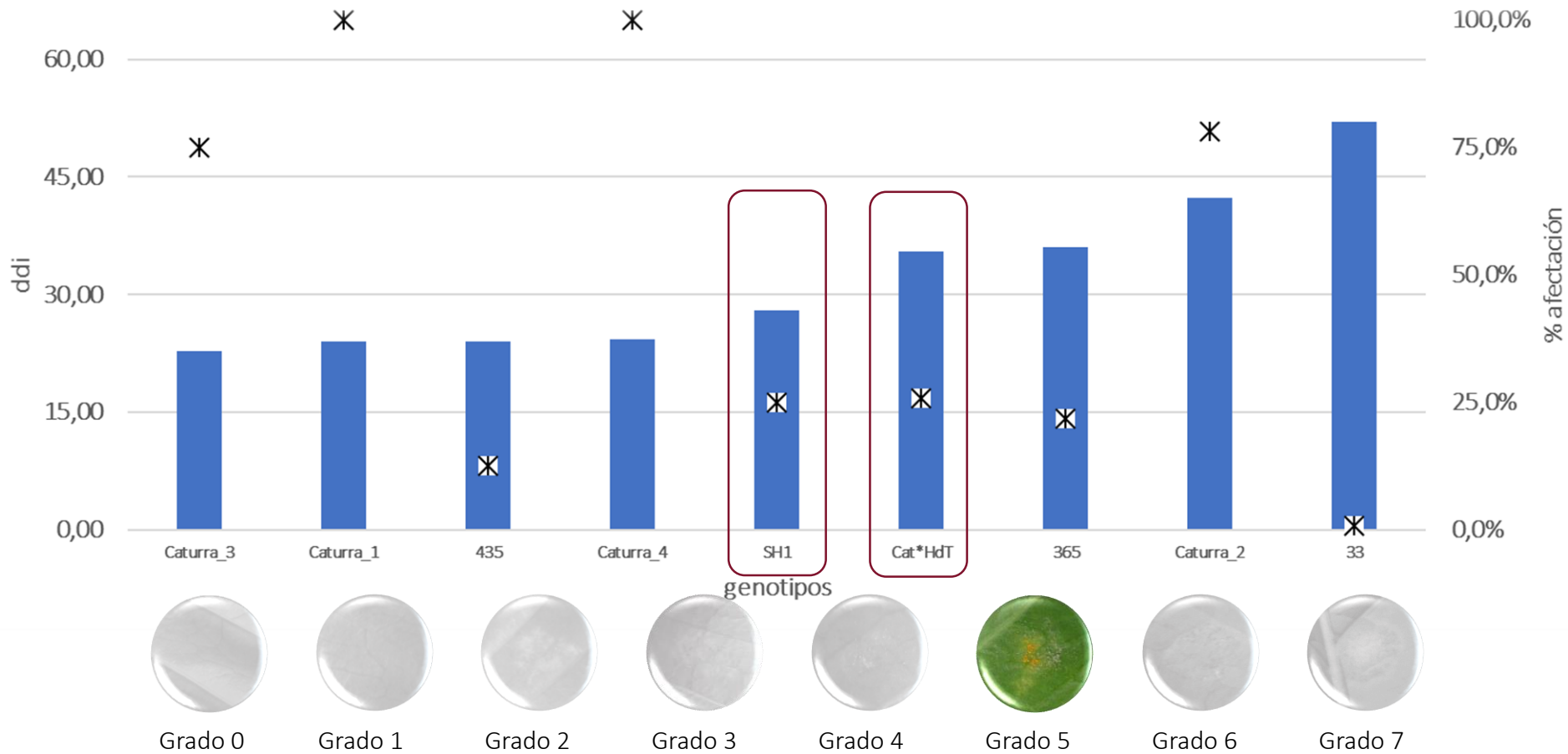


Grado 6

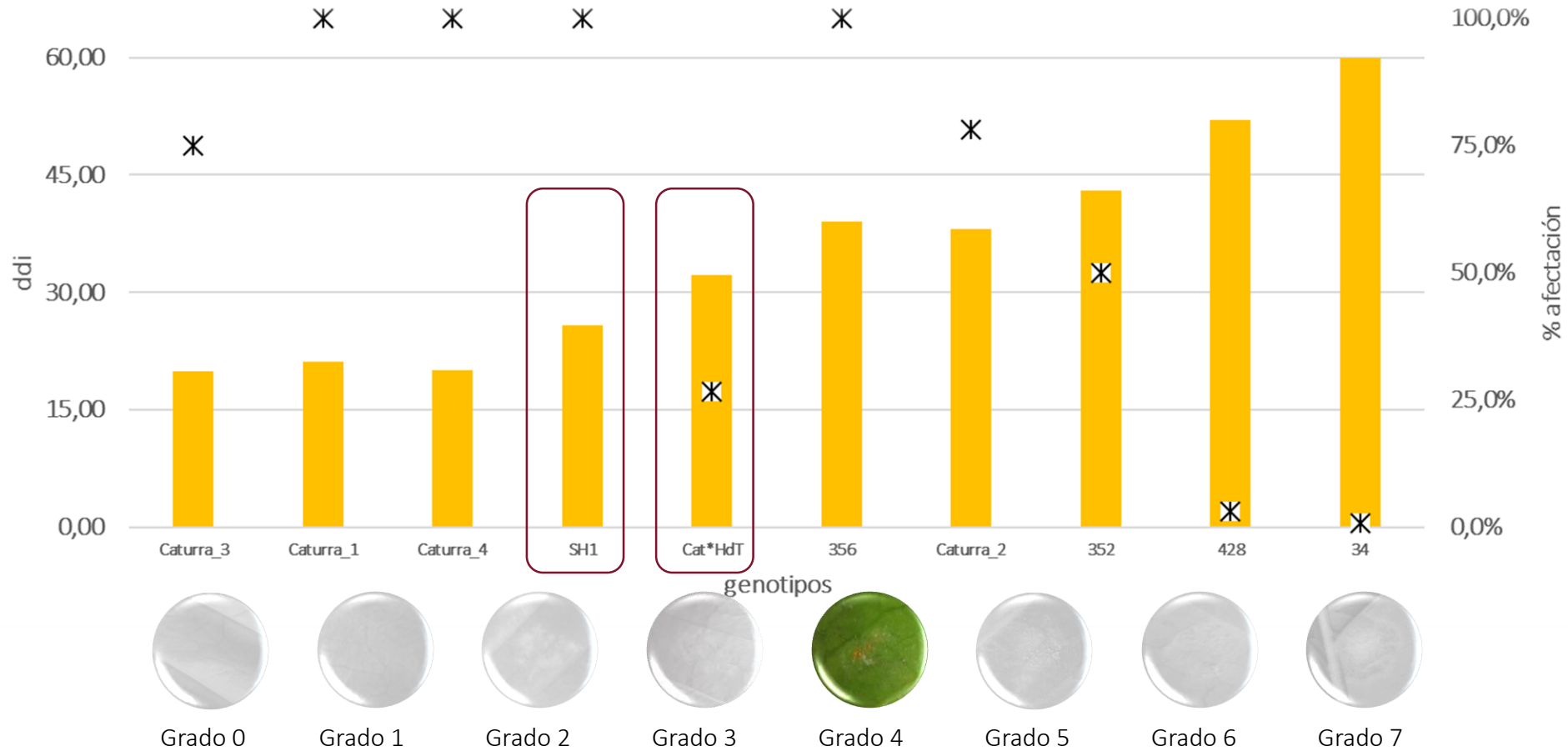


Grado 7

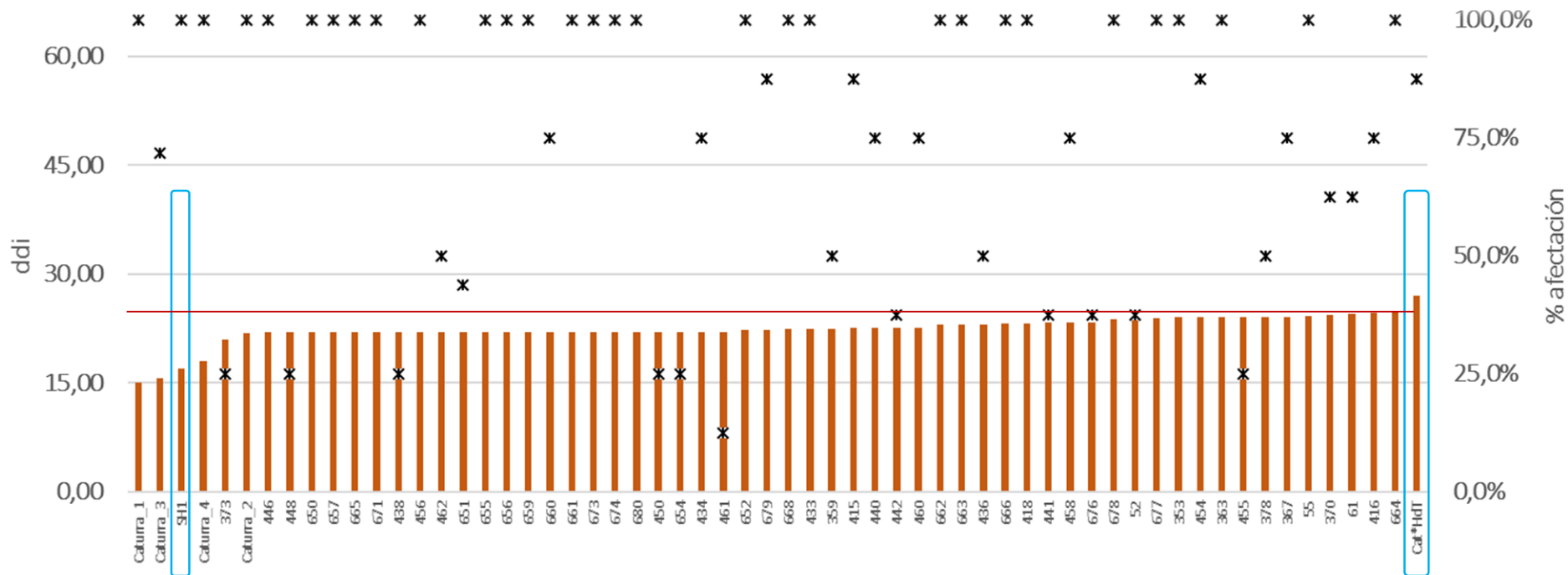
Días promedio y afectación de plantas que alcanzaron grado 5



Días promedio y afectación de plantas que alcanzaron grado 4



Días promedio y afectación de plantas que alcanzaron grado 3 (grupo_1)



Grado 0



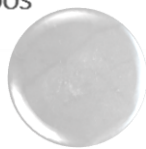
Grado 1



Grado 2



Grado 3



Grado 4



Grado 5



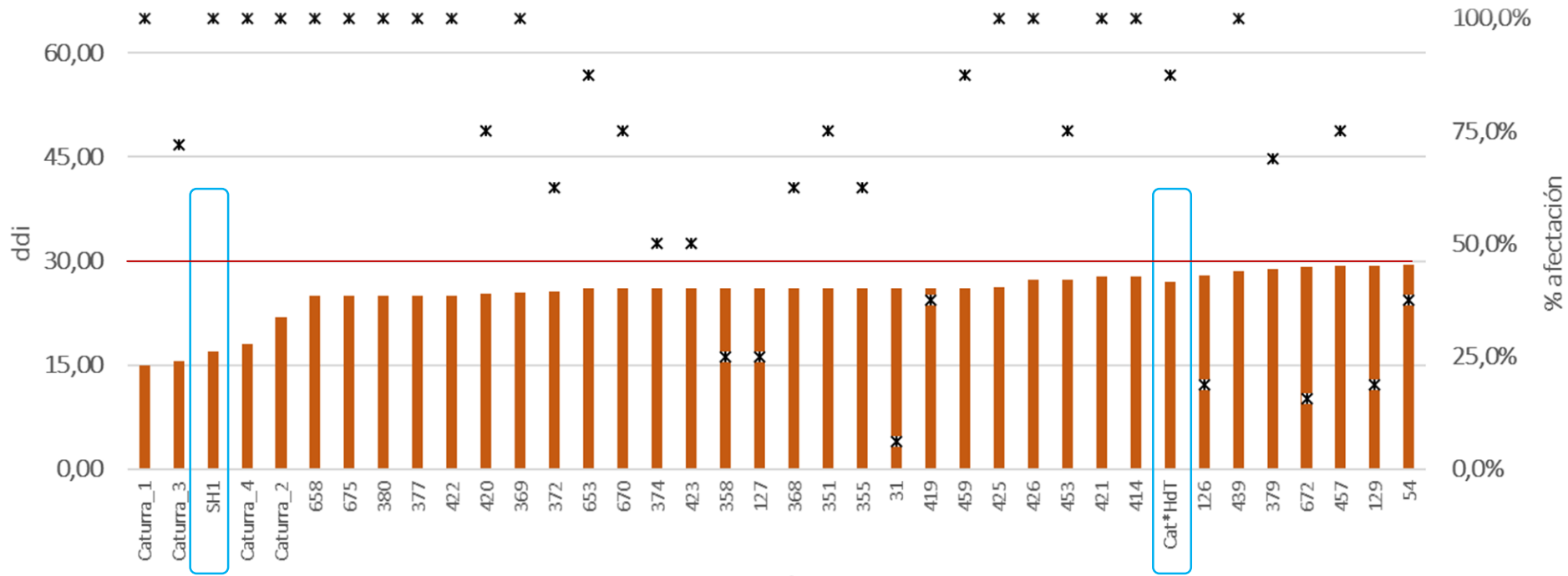
Grado 6



Grado 7

genotipos

Días promedio y afectación de plantas que alcanzaron grado 3 (grupo_2)



genotipos



Grado 0



Grado 1



Grado 2



Grado 3



Grado 4



Grado 5

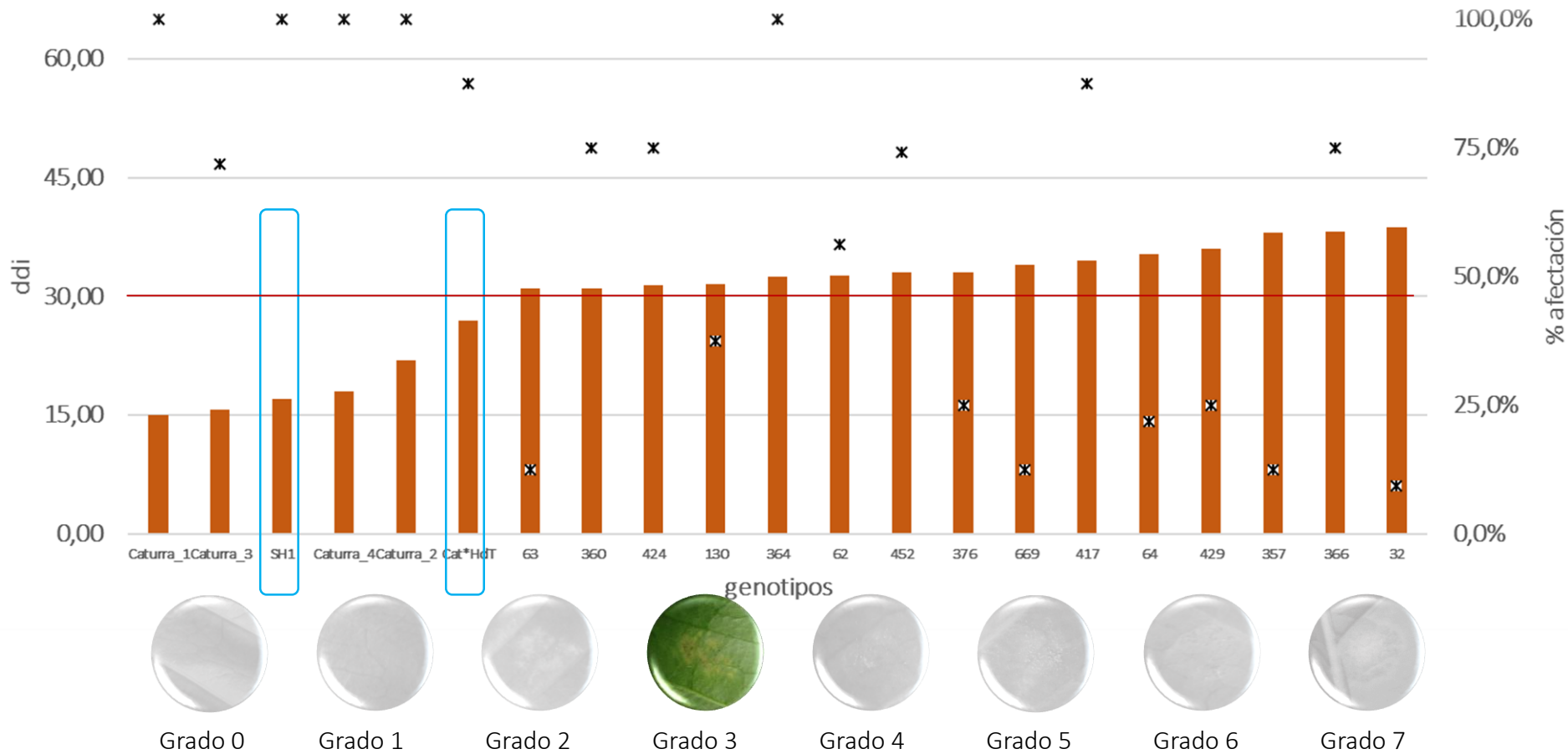


Grado 6

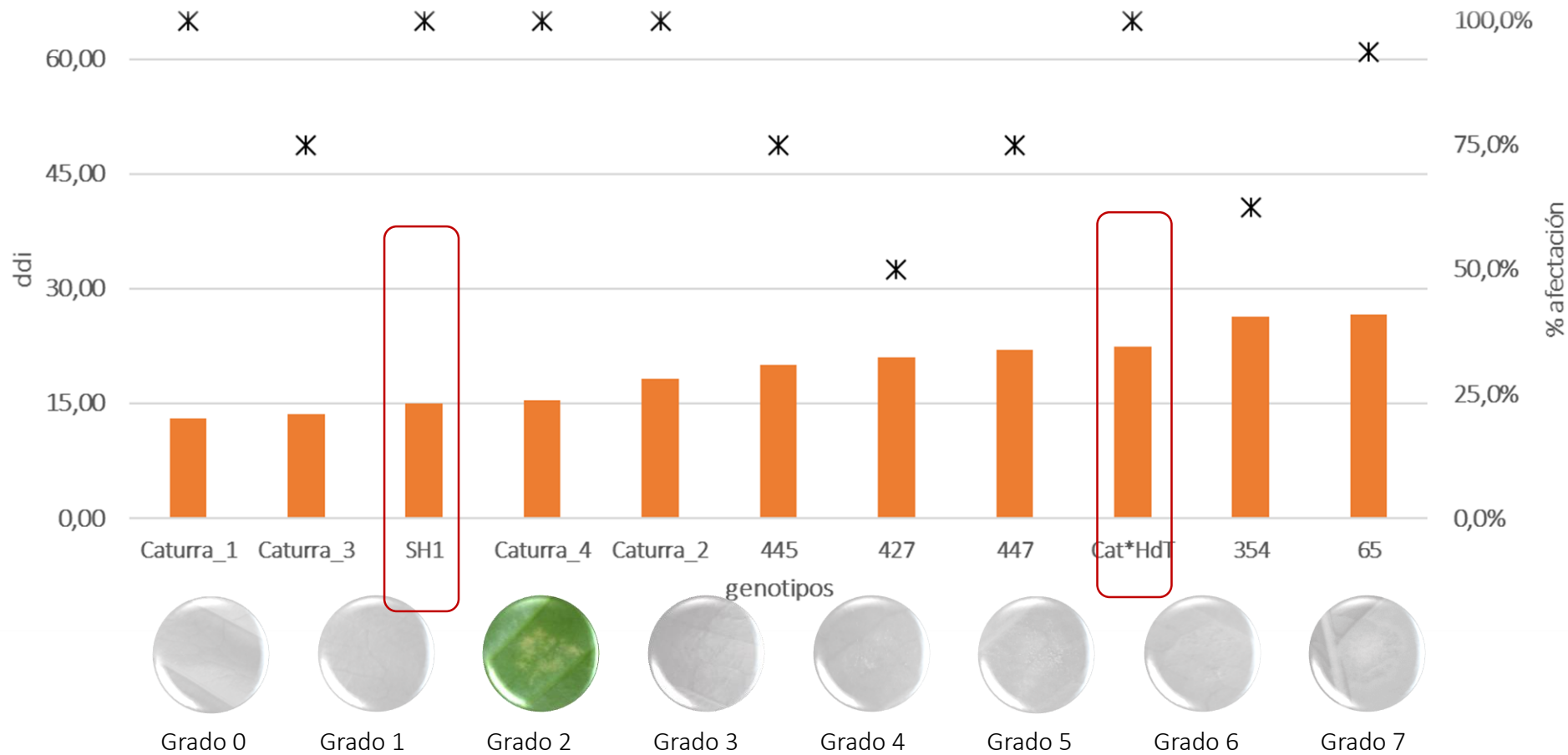


Grado 7

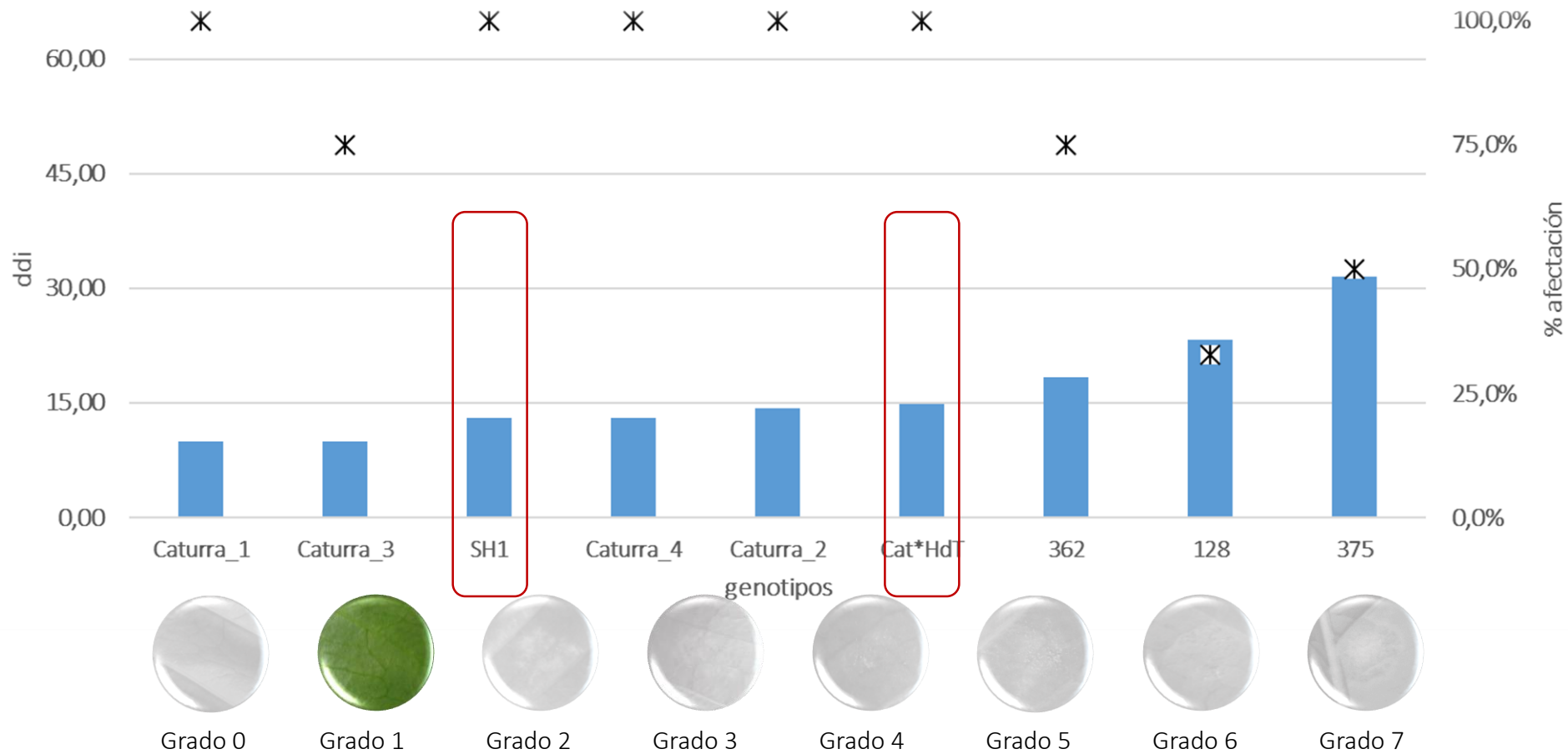
Días promedio y afectación de plantas que alcanzaron grado 3 (grupo_3)



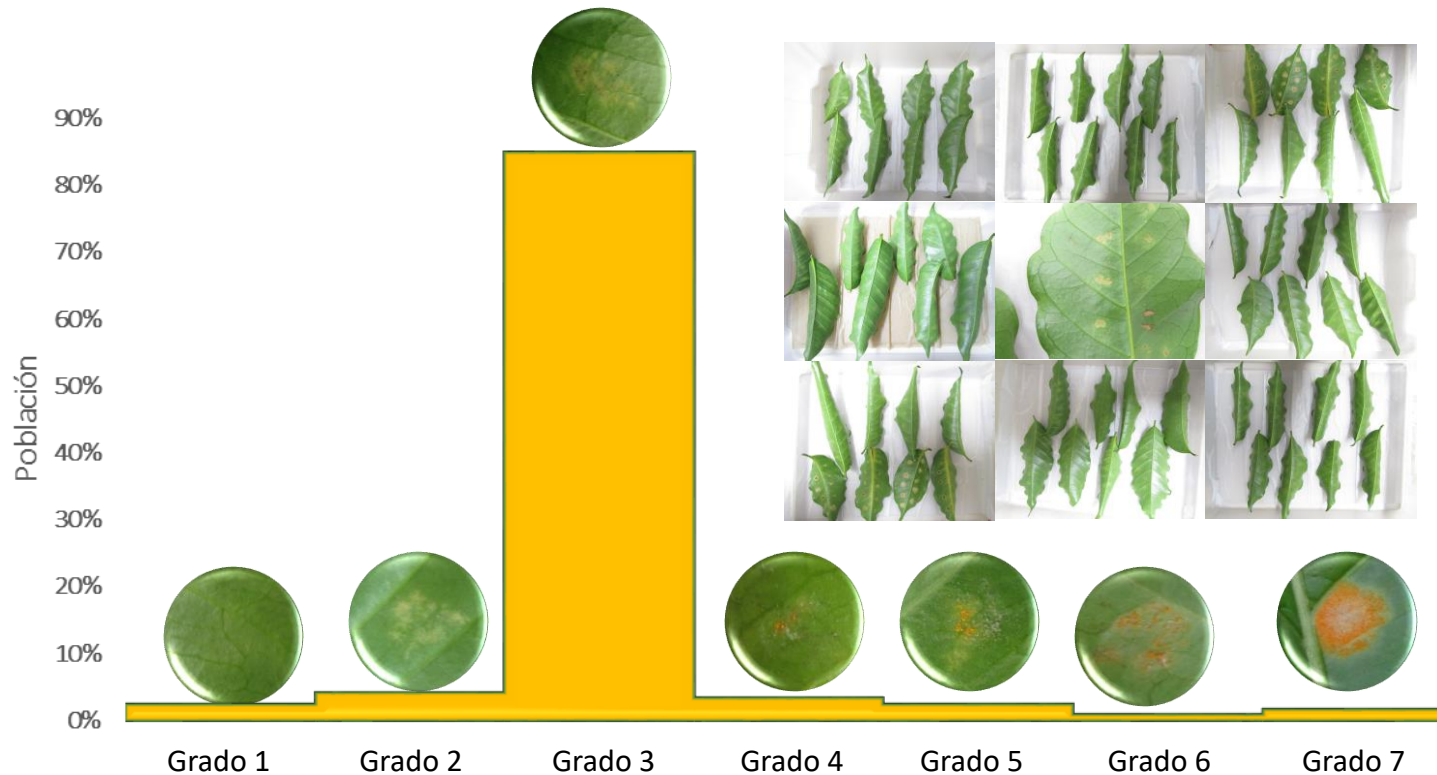
Días promedio y afectación de plantas que alcanzaron grado 2



Días promedio y afectación de plantas que alcanzaron grado 1



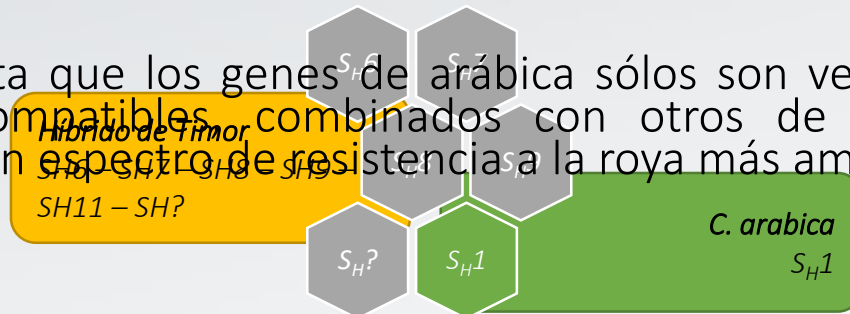
Genotipos de interés potencial pre-seleccionados



Consideraciones

- Que ventajas tiene la metodología para el programa (tiempo, recursos)
- La metodología de hoja desprendida es una alternativa complementaria a la metodología de campo.
- Pre-selección para llevar a campo lo resistente

- Aunque se reporta que los genes de *C. arabica* sólo son vencidos fácilmente por patotipos compatibles, combinados con otros de fuentes diversas, pueden proveer un espectro de resistencia a la roya más amplio.





GRACIAS

cenicafe@cafedecolombia.com 

PORTALES WEB



www.cenicafe.org



agroclima.cenicafe.org



biblioteca.cenicafe.org

REDES OFICIALES



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC

