



Evaluación de la resistencia genética a enfermedades foliares en 20 accesiones de café arábigo (*Coffea arabica* L.) del banco de germoplasma de la Universidad Estatal del Sur de Manabí

Evaluation of genetic resistance to foliar diseases in 20 accessions of arabica coffee (*Coffea arabica* L.) from the germplasm bank of the south
Universidad Estatal del Sur de Manabí

doi <https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v1.n1.2023.26-40>

Recibido: 15-10-2022

Aceptado: 27-11-2022

Publicado: 25-01-2023

Julio Gabriel Ortega¹

 <https://orcid.org/0000-0001-9776-9235>

Tyrone PARRALES PARRALES¹

 <https://orcid.org/0000-0003-2544-9851>

Carlos Alberto Castro Piguave¹

 <https://orcid.org/0000-0003-3180-2359>

Washington Vicente Narváez Campana¹

 <https://orcid.org/0000-0002-6674-2088>

Tomas Fuentes Figueroa¹

 <https://orcid.org/0000-0003-3266-2204>

1. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Carrera Agropecuaria, Jipijapa, Ecuador.

Volumen: 1

Número: 1

Año: 2023

Paginación: 26-40

URL: <https://revistas.unesum.edu.ec/agricultura/index.php/ojs/article/view/3>

***Correspondencia autor:** julio.gabriel@unesum.edu.ec

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la resistencia genética de a enfermedades foliares de 20 accesiones de café (*Coffe arabica* L.) en el banco de germoplasma de la UNESUM, fue implementado una investigación en un diseño experimental completamente aleatorio. Las enfermedades foliares fueron evaluadas con una escala de 0 a 4 (0 = 0% y 4 = mayor a 80% de severidad) y se realizó el análisis del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad Relativa (AUDPCr) y las curvas de ajuste para las enfermedades, utilizando modelos lineales y cuadráticos. Los resultados mostraron que para la roya del café (*Hemileia vastatrix*) las accesiones Castillo, Catimor 5607, Catuai 25L, Catimor, 886-23 Catimor Sachimor, 4260, Catimor P1 y Catimor P3, fueron resistentes con AUDPCr = 0%. En cambio, Gheisha, Arara y Acawa mostraron resistencia moderada a la roya. En referencia a la enfermedad mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), se observó que Sarchimor 4260 fue la más susceptible (AUDPCr = 20,96%) y la accesión Gheisha fue la más resistente (AUDPCr = 3,86%), y Burbon Amarillo, Castillo y Arara, mostraron resistencia moderada. Respecto a las curvas de ajuste, se observó que la roya y la mancha de hierro se ajustaron a una curva cuadrática, lo que indicaría que son enfermedades policíclicas. No se evaluó las severidades de infección de las enfermedades foliares de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y mal de hilacha (*Corticium koleroga*).

Palabras clave: Severidad, cultivar, hojas, enfermedades de plantas.

ABSTRACT

In order to evaluate the genetic resistance to foliar diseases of 20 accessions of coffee (*Coffe arabica* L.) in the UNESUM germplasm bank, an investigation was implemented in a completely randomized experimental design. Foliar diseases were evaluated with a scale from 0 to 4 (0 = 0% and 4 = greater than 80% severity) and the analysis of the Area Under the Relative Disease Progress Curve (AUDPCr) and the curves of adjustment for diseases, using linear and quadratic models. The results showed that for coffee rust (*Hemileia vastatrix*) the accessions Castillo, Catimor 5607, Catuai 25L, Catimor, 886-23 Catimor Sachimor, 4260, Catimor P1 and Catimor P3, were resistant with AUDPCr = 0%. On the other hand, Gheisha, Arara and Acawa showed moderate resistance to rust. In reference to the iron spot disease (*Cercospora coffeicola*), it was observed that Sarchimor 4260 was the most susceptible (AUDPCr = 20.96%) and the Gheisha accession was the most resistant (AUDPCr = 3.86%), and Burbon Amarillo, Castillo and Arara, They showed moderate resistance. Regarding the fit curves, it was observed that rust and iron spot fit a quadratic curve, which would indicate that they are polycyclic diseases. The severities of infection of the foliar diseases of ojo de gallo (*Mycena citricolor*) and blight (*Corticium koleroga*) were not evaluated.

Keywords: Severity, cultivar, leaves, plant diseases.



Creative Commons Attribution 4.0
International (CC BY 4.0)

Introducción

Se conoce que el café es un cultivo importante a nivel mundial por su alto valor como bebida de consumo (Alemayehu, 2017; Gabriel et al., 2021a). Entre los productos agrícolas, ocupa el segundo lugar en el comercio internacional luego del petróleo (Labouisse et al., 2008). Se cultiva en las zonas tropicales y subtropicales del mundo, beneficiando directa y/o indirectamente a los ingresos de más de 125 millones de personas (Tran et al., 2016). El género *Coffea*, comprende más de 130 especies, de las cuales las más cultivadas son *Coffea arabica*, *C. canephora* y *C. liberica* (Fernández et al., 2010). *C. arabica* es la especie más importante y la preferida en el mercado, con una participación promedio entre las cosechas de 2014 a 2016 de 58,1 % en la producción mundial (ICAFFE, 2016; Villalta-Villalobos y Gatica-Arias, 2019). Genéticamente todas las especies de café, a excepción de *C. arabica*, *C. heterocalyx* y *C. anthonyi*, son auto incompatibles (Davis et al., 2006), y *C. arabica* es tetraploide alotetraploide autofértil ($2n=4x=44$) (Mishra y Slater, 2012), es un híbrido espontáneo entre *C. eugenoides* (hembra) y *C. canephora* (macho) (Lashermes et al., 1999), con un tamaño de genoma de 1300 Mpb (Lashermes et al., 2008). Los diferentes niveles de ploidía en el género *Coffea* obstaculizan la introducción de características agronómicas y de calidad de las especies diploides hacia las tetraploides. Por lo que el mejoramiento genético de café con base en las metodologías convencionales, es un proceso largo y tedioso, que puede durar hasta más de 30 años (Melese, 2016). Sin embargo, en las últimas décadas se han desarrollado técnicas biotecnológicas que bien pueden contribuir a introducir las características deseadas y a acelerar los procesos de mejora genética (Villalta-Villalobos y Gatica-Arias, 2019).

En los programas de mejora genética de *C. arabica*, se utilizaron metodologías como la hibridación, selección genealógica y selección por cruzas y retrocruzas interespecifi-

cas, con el fin de transferir resistencia a patógenos y plagas, mejorar la adaptación y el rendimiento del cultivo (Villalta-Villalobos y Gatica-Arias, 2019). También, se utilizó la introducción y selección de cultivares, cruzas artificiales con parentales seleccionados y de mutágenos obtenidos por radiación en las semillas (Solano, 2001). El híbrido Timor (*C. arabica* x *C. canephora*), fue utilizado por su resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix*), derivada de cuatro genes mayores de resistencia de *C. canephora* (Villalta-Villalobos y Gatica-Arias, 2019). De esta manera, la cruce entre Timor y el mutante natural Caturra Rojo dio origen al cultivar Catimor (resistente a roya). El vigor de Catimor, se obtuvo por retrocruza de Catimor x Catuaí. En Brasil, se obtuvo el cultivar Icatu resistente a la roya, antracnosis de los frutos y nematodos, del cruzamiento de dos cultivares tetraploides de *C. arabica* y *C. canephora* (Berthouly, 1997). En Kenia, se liberó el híbrido Ruiru 11, resistente a roya, antracnosis del fruto, de alta producción y calidad (Agwanda, 1999). Desde 1991 en Centroamérica se desarrolla un programa de mejoramiento genético de café, con participación de PROMECAFE, los institutos de café de los países centroamericanos, instituciones nacionales de investigación en café, la cooperación francesa (CIRAD, ORSTOM, MAE) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). La finalidad es lograr cruzar de las especies silvestres de Etiopía y Sudán (*C. canephora*), como fuentes de resistencia a roya, nematodos, buen vigor y alta productividad (Albarrán, 1999).

Los trabajos mencionados, muestran la relevancia que tiene el desarrollar nuevos híbridos y la necesidad de conocer y evaluar los bancos de germoplasma de café en los países productores, en este sentido, la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), cuenta con un valioso germoplasma de café en campo, compuesto por 20 accesiones de diferente origen, las cuales están conservadas in vivo; sin embargo, poco se estudió sobre las bondades que tienen en

cuanto a resistencia a enfermedades y plagas y otros atributos de interés económico, en este sentido se vio por pertinente realizar el presente trabajo de investigación con el objetivo de evaluar la resistencia genética a enfermedades foliares en 20 accesiones de café (*Coffea arabica* L.) del banco de germoplasma de la UNESUM

Materiales y Métodos

Ubicación

La investigación se desarrolló en la Finca de la Andil, perteneciente a la Universidad Estatal del Sur de Manabí, ubicada en el kilómetro 5 de la vía que conduce a la Parroquia Noboa del Cantón 24 de mayo.

El cantón Jipijapa, está limitado al norte por los cantones Montecristi, Portoviejo y Santa Ana, al Sur por la provincia de Santa Elena

y Puerto López, al este por los cantones Paján y 24 de mayo; y, al oeste por el Océano Pacífico (GAD, 2015).

El clima predominante de Jipijapa es cálido seco en la zona Oeste y cálido húmedo con temporadas secas en la zona Este, con una temperatura media 24°C y una humedad relativa de 85%, afectada por la presencia de dos temporadas, seca (entre mayo y octubre) y de lluvias (entre noviembre y abril) (GAD, 2015).

Factores en estudio

Se consideró para esta investigación la evaluación de severidad de la Roya causada (*Hemileia vastratrix*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), ojo de gallo (*Myrcena citricolor*) y mal de hilacha (*Corticium koleroga*). Los materiales biológicos de estudio se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Accesiones del banco de germoplasma de café arábigo de la UNESUM.

No.	Accesión	Origen	Progenitores	Característica	Fuente
1	Catimor 8666 (4-3).	Portugal	Timor x Caturra	Tolerante a la roya y alta producción en granos.	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
2	Catuai rojo UFV	Brasil	(Sumatra x Bourbon)	Susceptible a roya	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
3	Gheisha.	Etiopia	<i>C. arabica</i>	Calidad de taza	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
4	Bourbon amarillo	Africa	<i>C. arabica</i>	Susceptible a la roya del café. Es de porte alto y es de alta calidad	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
5	Caturra amarillo T-3386	Brasil	Mutantes de la variedad Bourbon	Alta producción en granos.	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
6	Catimor CIFC-P2.	Portugal	Caturra x Timor	Resistente a la roya. Alta producción en granos.	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
7	Catimor CIFC-P1	Portugal	Caturra x Timor	Resistente a la roya. Alta producción en granos.	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
8	Castillo	Se halla en Africa	Caturra x de Timor	Alta producción en granos. Resistencia a la roya, y a la enfermedad de las cerezas (<i>Colletotrichum coffeanum var virulans</i>)	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
9	Arara	Brasil	Catuai x Sarchimor	Resistencia a la roya	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
10	Pache	Guatemala	mutación de la variedad Típica	Susceptible a roya	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
11	Acawa	Brasil	Mundo Novo IAC 388-17 x Sarchimor IAC 1668	Resistencia a la sequía y a la roya. Tolerante a los nematodos. Calidad de taza y ciclo tardío.	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
12	Catimor CIFC-P3	Portugal	Caturra x de Timor	Porte bajo y resistente a la roya. Alto rendimiento y más producción.	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).

13	Catucai Amarillo – SL	Brasil	Icatu y Catuai	Resistencia moderada a la roya	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
14	Catimor UFV-5607		Timor # 832 x Caturra		Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
15	Caturra rojo- Pichilingue	Brasil	mutación de la Bourbonn	Porte bajo y alta productividad. Tolerancia al sol.	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
16	Catimor 8664 (2-3)	Portugal	s Timor y Caturra	Es tolerante a la roya y tiene una alta producción en granos. Calidad de taza.	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
17	Catucai Amarillo	Brasil	Mundo Novo y Caturra		Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
18	Sarchimor 4260	Portugal	Villa Sarchi CIFC 971/10 x híbrido de Timor CIFC 832/2	Resistencia a la roya	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
19	Tipica	Etiopia	<i>C. arabica</i>	Susceptible a la roya del café.	Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).
20	Catucai Rojo 785-15				Villacreses (2017). Lucas-Suarez (2018), Parrales Marcillo (2018).

Diseño experimental

La investigación fue implementada en un diseño experimental completamente aleatorio (Gabriel et al., 2021b). Fueron evaluados 81 plantas de café.

Análisis de estadístico

Sobre la base del modelo definido y previo análisis de normalidad y homogeneidad de varianza para cada caso, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para los datos, para probar hipótesis de los efectos fijos, así como las comparaciones de medias de los tratamientos mediante la prueba de tukey al ($Pr < 0,05$) de probabilidad. El ANOVA de los datos también servirá para estimar los componentes de varianza para los efectos aleatorios. Los análisis indicados fueron realizados utilizando el Proc GLM del SAS (SAS, 2020).

VARIABLES DE RESPUESTA

Severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*)

Para la evaluación de la severidad de la roya del café se utilizó una escala de calificación de 0-4 (0 = 0% de severidad y 4=>50% de severidad) (Tabla 2), recomendada por (Gabriel et al. 2017) (Figura 1). La severidad fue evaluada una vez al mes por cinco meses, que duró la investigación.

Tabla 2. Escala de severidad de la roya del café.

Grados o calificación	Descripción
0	Sano o sin síntomas visibles 0%
1	síntomas visibles llegando de a 5% de áreas total sana
2	La macha empieza a unirse, llegando a ocupar de 6 al 20% del área sana
3	Las hojas Comienza a necrosarse de manera muy notoria afectado del 21 a 50%del área sana
4	Mayor a 50% del área foliar se encuentra afectada



Figura 1. Escala de evaluación de la severidad de la roya del café.

Mancha de hierro del cafeto (*Cercospora coffeicola* Berk y Cook)

Guzmán et al. (2003) recomienda usar una escala de severidad para mancha de hierro (Tabla 3).

Tabla 3. Evaluación de la severidad de la mancha de hierro.

Grados o calificación	Descripción
0	Sano o sin síntomas visibles 0%
1	síntomas visibles llegando de a 5% de áreas total sana
2	La macha empieza a unirse, llegando a ocupar de 6 al 20% del área sana
3	Las hojas Comienza a necrosarse de manera muy notoria afectado del 21 a 50%del área sana
4	Mayor a 50% del área foliar se encuentra afectada

Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPCr)

Se determinó está variable utilizando la formula recomendada por (Gabriel et al. 2017), que es una medida del incremento y desarrollo de la enfermedad a través del tiempo.

Manejo específico de la investigación

Se realizó el control manual de malezas del banco de germoplasma de café de la Universidad Estatal de Manabí.

Resultados

Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*)

Se observó que en general todas las variables evaluadas mostraron una curva asimétrica positiva y con coeficientes de variación (C.V.) elevado, (140,39%). La prueba de kosmogorov-Smirnov, mostró que hubo significancia al ($Pr < 0.01$) de probabilidad (Tabla 4). Por lo que se asumió que la variable de respuesta evaluada no mostró distribución normal. Esto sugirió realice una transformación a logaritmo para los análisis de varianza (Gabriel et al., 2021b).

Tabla 4. Análisis de normalidad para la enfermedad de la roya (*Hemileia vastatrix*).

Momentos	Severidad
N	100
Media	6,61
Varianza	86,12
Desviación stat	9,28
Asimetría	1,08
Curtosis	-0,19
Coef. Variación	140,39
Kolmogorov-Smirnov	0,36**

*: Significativo al $Pr < 0.05$ de probabilidad

El análisis de homogeneidad de varianzas mostró que las medias no fueron homogéneas (Tabla 5), donde la prueba de Chi-cuadrada (ChiSq) fue estadísticamente significativo al $Pr < 0.01$ de probabilidad.

Tabla 5. Análisis de homogeneidad para la roya.

Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
0.000000	252	1.0000

Tanto el análisis de normalidad, como el de homogeneidad de varianza indicaron la necesidad de transformar a logaritmo los datos de severidad, para normalizar y homogeneizar las varianzas para la comparación de medias.

El análisis de varianza realizado para la severidad de la roya en el cultivo de café. Los cultivos no mostraron diferencias significativas al $P > 0,05$ de probabilidad. El coeficiente de variación fue de 17,61 % (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de varianza para el Área Bajo la Curva relativa de roya (AUDPCr).

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Pr > F
Varianza					
Tratamiento	19	3,05	0,30	1,34 ^{ns}	0,26
Repetición	80	0,57	0,14	0,63 ^{ns}	0,65
Error	99	5,66	0,23		
C.V. (%)		17,61			

*: Significativo al $P < 0,05$ de probabilidad, **: Altamente significativo al $P < 0,01$ de probabilidad, ns: No significativo.

Muestra las comparaciones medias realizadas mediante la prueba de Tukey al $P < 0,05$ de probabilidad. Observándose que el cultivar 10 Pache tuvo mayor Área Bajo la Curva de Progreso Relativa (AUDPCr = 19,84%) presentando además síntomas como pequeñas manchas amarilla que empieza a unirse, llegando a ocupar de 6 al 20% del área sana y el contagio en esta escala indica que hay presencia de pequeña mancha amarilla la macha empieza a unirse, llegando a ocupar de 6 al 20% del área sana y el cultivar con menor severidad fue el cultivar 9. Arara con un AUDPCr de 2,38%, con síntomas visibles llegando que

cubre hasta 5% de áreas total sana (Tabla 7). Fue notorio que las acciones Castillo, Catimor 5607, Catuai 25L, Catimor, 886-23 Catimor, Sachimor, 4260 Catimor P1 y Catimor P3, fueron resistentes a la roya con AUDPCr = 0%, mostrando un alto nivel de resistencia. En cambio, Gheisha, Arara y Acawa mostraron resistencia moderada a la roya.

Tabla 7. Comparación de medias del AUDPCr mediante la prueba múltiple de Tukey al $P < 0.05$ de probabilidad.

Tratamiento	AUDPCr
10 Pache	19,84 a
4 Bourbon Amarillo	17,52 ab
5 Caturra Amarillo	16,62 ab
15 Caturra Roja	16,04 ab
17 Catuai Amarillo	14,40 ab
19 Tipica	13,86 ab
2 Catuai roja	12,36 ab
20 Catuai 785-15	9,10 ab
3 Gheisha	6,72 ab
11Acawa	3,36 ab
9 Arara	2,38 ab
6 Catimor P2	0,00 b
8 Castillo	0,00 b
14 Catimor 5607	0,00 b
13 Catuai 25L	0,00 b
16 Catimor 886-23	0,00 b
1 Catimor	0,00 b
18 Sachimor 4260	0,00 b
7 Catimor P1	0,00 b
12 Catimor P3	0,00 b
DSH	15,006
C.V.%	17,61

Los cultivares Pache (Figura 3) y Arara (Figura 4), mostraron que para el cultivar Pache la mejor curva de ajuste fue la cuadrática, observándose un coeficiente de determinación de 99% (R^2), lo cual indicó que el 99% de los datos evaluados están explicando el ajuste de la curva y el 1% se debe a factores ambientales.

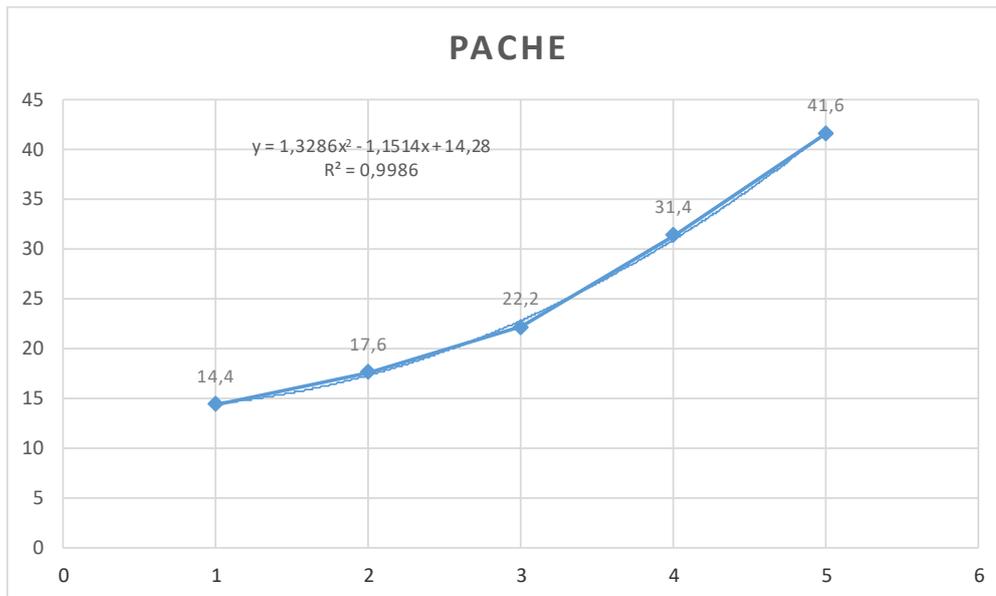


Figura 3. Cultivar con mayor incidencia de la enfermedad roya (*Hemileia vastatrix*).

En el caso del cultivar Arara (Figura 4) se observó que tuvo un mejor ajuste también a una curva cuadrática, observándose un coeficiente de determinación de 81% (R2), lo cual indicó que el 81% de los datos evaluados están explicando el ajuste de la curva y el 9% se debe a factores ambientales.

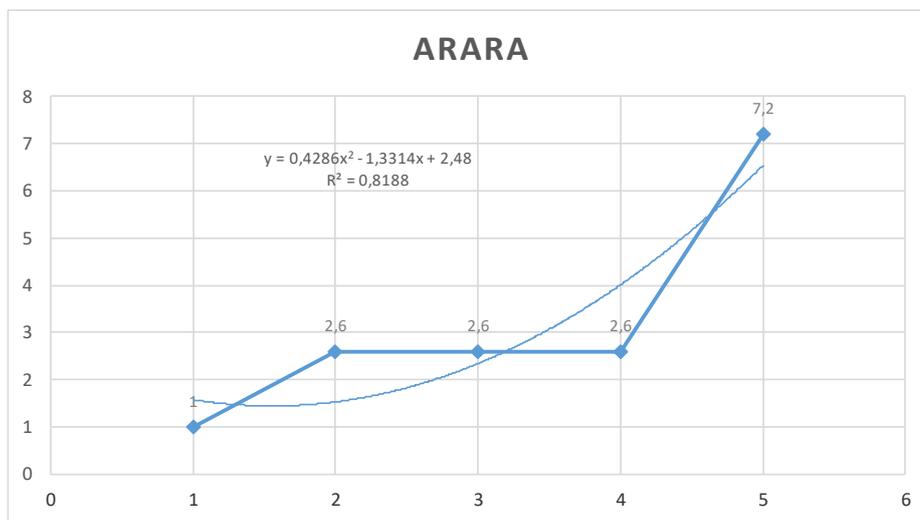


Figura 4. Cultivar con menor incidencia de la enfermedad roya (*Hemileia vastatrix*).

Mancha de hierro del café (*Cercospora coffeicola*)

Se observó que en general todas las variables evaluadas mostraron una curva asimetría positiva ($A > 0$) y Kurtosis ($k > 3$), y con coeficientes de variación (C.V.), (60,36%). La prueba de kosmogorov-Smirnov, mostró que hubo significancia al $Pr < 0.01$ de probabilidad (Tabla 8). Por lo que se asumió que la variable de respuesta evaluada no mostró distribución normal.

Tabla 8. Análisis de normalidad para la enfermedad de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*).

Momento	Mancha de hierro
N	100
Media	13,07
Varianza	62,22
Desviación stat	7,89
Asimetría	-0,06
Curtosis	-0,28
Coef. Variación	60,36
Kolmogorov-Smirnov	0,14**

*: Significativo al $Pr < 0.05$ de probabilidad

El análisis de homogeneidad de varianzas mostró que las medias no fueron homogéneas (Tabla 9), donde la prueba de Chi-cuadrada (ChiSq) fue estadísticamente significativo al $Pr < 0.01$ de probabilidad.

Tanto el análisis de normalidad, como el de homogeneidad de varianza indicaron la necesidad de transformar los datos a logaritmo, para normalizar y homogeneizar la varianza para la comparación.

Tabla 9. Análisis de homogeneidad para la mancha de hierro.

Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
0,000000	252	1,0000

El análisis de varianza realizado para el AUDPCr de la mancha de hierro de café, mostró que no presentaron diferencias estadísticas altamente significativas. El coeficiente de variación fue 23,32% (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de varianza para el Área Bajo la Curva relativa de mancha de hierro (AUDPCr).

FV	G.L	SC	CM	Valor F	Pr > F
Tratamiento	19	8,74	0,46	1,26ns	0,24
Repetición	80	1,71	0,43	1,17ns	0,33
Error	99	5,66	0,23		
C.V. (%)		23,32			

*: Significativo al $P < 0,05$ de probabilidad, **: Altamente significativo al $P < 0,01$ de probabilidad, ns: No significativo.

Se observó en la comparación de media mediante la prueba múltiple de Tukey al $P < 0,05$ de probabilidad, que la accesión Sarchimor 4260, fue la afectada por la mancha de hierro, con un AUDPCr de 20,96% (Tabla 11), observándose además pequeñas manchas rojo oscuro llegando a cubrir el 6 a 20% del área sana de la hoja. En cambio, la accesión Gheisha mostró una menor AUDPCr (3,86%), indicando esto que tiene un alto nivel de resistencia. En cambio, Bourbon Amarillo, Castillo y Arara, mostraron una resistencia moderada.

Tabla 11. Comparación de las medias de AUDPCr para mancha de hierro.

Tratamiento	AUDPCr
18 Sachimor 4260	20,96 a
19 Tipica	17,38 ab
15 Caturra Roja	16,62 ab
16 Catimor 886-23	16,50 ab
10 Pache	16,32 ab
14 Catimor 5607	16,26 ab
11 Acawa	16,02 ab
17 Catucaí Amarillo	15,44 ab
7 CatimorP1	14,56 ab
2 Catucaí Roja	14,18 ab
13 Catuai 25L	14,16 ab
1 Catimor	13,86 ab
12 Catimor P3	13,80 ab
6 Catimor P2	11,68 ab
5 Caturra Amarillo	11,62 ab
20 catucaí 785-15	9,58 ab
4 Bourbon Amarillo	7,20 ab
8 Castillo	6,40 ab
9 Arara	4,94 ab
3 Gheisha	3,86 b
DSH	17,075
C.V.%	23,32

La accesión Sarchimor 4260, mostró mejor ajuste a una curva cuadrática, observándose un coeficiente de determinación de 98% (R^2), lo cual indicó que el 98% de los datos evaluados están explicando el ajuste de la curva y el 2 % se debe a factores ambientales.

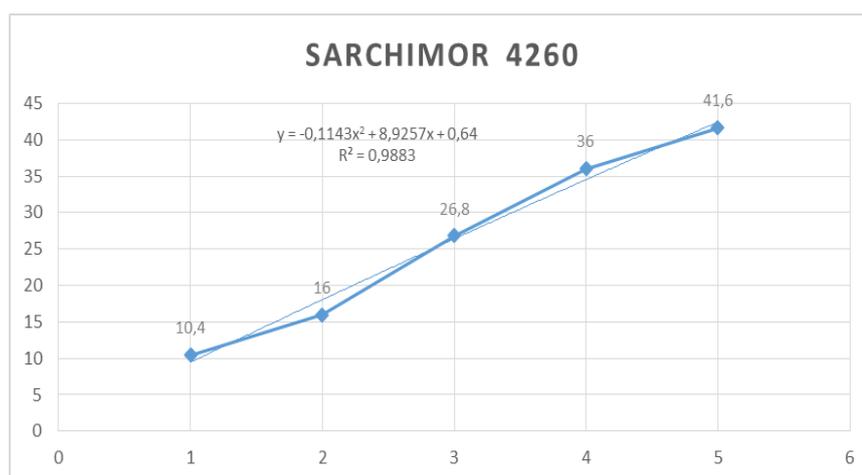


Figura 5. Curva de ajuste de la accesión Sarchimor 4260 para mancha de hierro (C. coffeicola)

La accesión Gheisha se observó que tuvo un mejor ajuste también a una curva cuadrática (Figura 6) observándose un coeficiente de determinación de 98 % (R^2), lo cual indicó que el 98% de los datos evaluados están explicando el ajuste de la curva y el 2% se debe a factores ambientales.

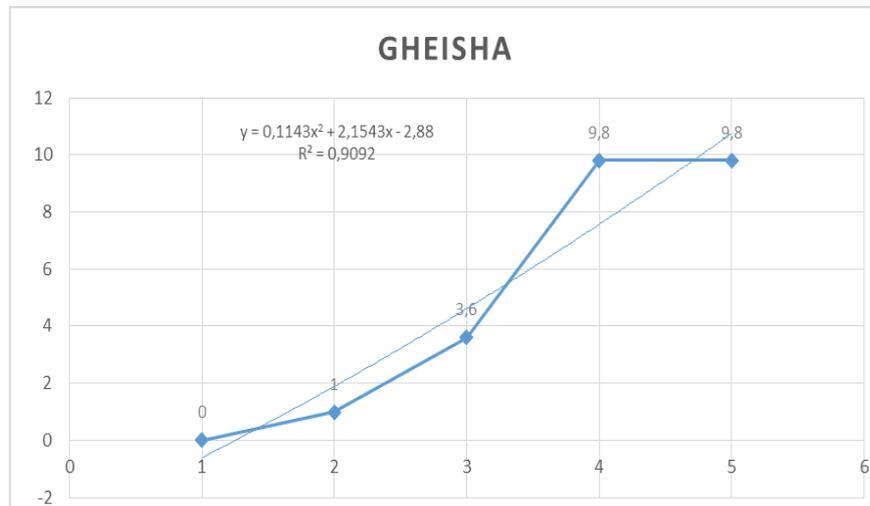


Figura 6. Curva de ajuste de la accesión Gheisha la mancha de hierro (*C. coffeicola*)

Discusión

Silva et al. (2020), mencionan que la roya del café, causada por el hongo biotrófico *Hemileia vastatrix*, es una de las enfermedades más importantes que afecta a la producción de café arábigo en todo el mundo y provoca importantes pérdidas de rendimiento si no se aplican medidas de control. Una comprensión profunda de los complejos mecanismos involucrados en las interacciones entre el café y la roya (*H. vastatrix*), acerca de la variabilidad del patógeno y los mecanismos que controlan la resistencia y la susceptibilidad de las plantas, son necesarias para obtener variedades con resistencia duradera y que permita diseñar nuevos enfoques para la protección de los cultivos de café.

Estudios realizados por (Chilan, 2018), mencionan que los híbridos Catimor C1-FC-P2, Castillo, Sarchimor 4260 y Variedad Arara, mostraron resistencia a la roya. Estos resultados corroboran con nuestra investigación, donde encontramos que las accesiones de germoplasma Castillo, Catimor 5607, Catuai 25L, Catimor, 886-23 Catimor

Sachimor, 4260, Catimor P1 y Catimor P3, fueron altamente resistentes; y Gheisha, Arara y Acawa fueron tolerantes.

Al respecto de la resistencia a las enfermedades, este a menudo es un componente más dinámico en el proceso de mejoramiento de cultivos y requiere una actualización continua debido a la adaptación de los patógenos a los genotipos de las plantas (Sharma et al., 2019). Por lo que es un desafío obtener variedades con resistencia que sea efectiva, estable y de amplio espectro.

La resistencia a las enfermedades de las plantas se puede categorizar en varios conceptos que están relacionados con diferentes aspectos, incluidos los antecedentes genéticos de la resistencia (monogénicos/poligénicos), el efecto de la respuesta fenotípica medible (resistencia completa/parcial) y la amplia variedad o especies efectivas, y naturaleza específica de la resistencia contra patógenos (resistencia específica de raza y no específica de raza) (Martins et al., 2020).

Durante muchos años, la selección para la resistencia de *H. vastatrix* se basó en una resistencia completa altamente específica derivada de los principales genes introgressados derivados de *C. arabica* (SH1, SH2, SH4 y SH5), así como de especies diploides de *C. canephora* (SH6 –SH9) o *C. liberica* (SH3) (Bettencourt et al., 1988). Sin embargo, el alto grado de variabilidad y adaptabilidad del patógeno, junto con la consecuente ocurrencia de cambios frecuentes en los patotipos, ha resultado en la pérdida gradual de la resistencia basada en los principales genes SH. Se identificó resistencia poligénica parcial e inespecífica a *H. vastatrix* en *C. canephora*, en algunos genotipos de *C. arabica* e híbridos interespecíficos (Silva et al, 2006, Alvarado et al., 2009, Romero et al., 2010) y se asoció con el lento progreso epidémico y menos defoliación (Castillo & Alvarado, 1997). Por lo tanto, los programas de mejoramiento de café están tratando de desarrollar estrategias para mejorar la durabilidad de la resistencia a roya en los cultivares de Arábica, concretamente a través de la combinación de resistencia específica (completa) y no específica (parcial) (Alvarado et al., 2009, Toniutti et al. 2017). En nuestro estudio aparentemente las accesiones Castillo, Catimor 5607, Catuai 25L, Catimor, 886-23 Catimor Sachimor, 4260, Catimor P1 y Catimor P3, son de resistencia específica o completa, en cambio las accesiones Gheisha, Arara y Acawa, son de resistencia no específica o parcial.

En referencia a la mancha de hierro ocasionado por *Cercospora coffeicola*, observamos que Gheisha mostró alta resistencia, en cambio cambio, Burbon Amarillo, Castillo y Arara, fueron de una resistencia moderada.

Fue notorio observar que ambas enfermedades de café mencionadas mostraron un comportamiento de ajuste cuadrático, debido a que son enfermedades policíclicas.

Conclusiones

Se concluye que las accesiones Castillo, Catimor 5607, Catuai 25L, Catimor, 886-23 Catimor, Sachimor, 4260 Catimor P1 y Catimor P3, mostraron alta resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix*). En cambio, Gheisha, Arara y Acawa mostraron resistencia moderada a esta enfermedad.

En relación a la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) la Gheisha mostró alta resistencia, en cambio, Burbon Amarillo, Castillo y Arara, tuvieron de resistencia moderada.

La enfermedad de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y mal de hilacha (*Corticium kolero-ga*) no se presentaron durante la investigación.

La mejor curva de ajuste para roya y mancha de hierro fue la cuadrática, debido a que son enfermedades policíclicas.

Bibliografía

- Agwanda, C.O. 1999. Twenty-seven years of coffee breeding in Kenya: prospects for the release of new varieties. 18th International Scientific Colloquium on Coffee. ASIC, FIN. <https://www.asic-cafe.org/conference/18th-international-scientific-colloquium-coffee/twenty-seven-years-coffee-breeding-kenya>
- Albarrán, J.G. 1999. Influencia de los factores químicos y físicos sobre la regeneración de embriones somáticos de *Coffea arabica* en biorreactor simplificado. Tesis MSc., CATIE, Turrialba, CRI.
- Alemayehu, D. 2017. Review on genetic diversity of coffee (*Coffea arabica* L) in Ethiopia. Int. J. Forest. Hort. 3(2):18-27. doi:10.20431/2454-9487.0302003
- Alvarado, G.; Combes, M.C., Romero, G. y Lashermes, P. 2009. Genetic analysis of partial resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) introgressed into the cultivated *Coffea arabica* L. from the diploid *C. canephora* species. Euphytica, 167: 57–67. <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9860-9>
- Bettencourt, A.J., y Rodrigues, C.J. 1988. Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases. In Coffee Agronomy; Clarke, R.J., Macrae, R., Eds.; Elsevier Applied Science Publishers LTD: London, UK; New

- York, NY, USA, 4: 199–234. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Principles+and+practice+of+coffee+breeding+for+resistance+to+rust+and+other+diseases
- Castillo, J., & Alvarado, G. 1997. Resistencia incompleta de genotipos de café a la roya bajo condiciones de campo en la región central de Colombia. *Revista Cenicafé*, 48(1), 40–58. <http://hdl.handle.net/handle/10778/4269>
- Chilan, L. L. 2018. Análisis de la tolerancia a la presencia de cuatro enfermedades foliares en 20 variedades e híbridos de café arábigo (*Coffea arabica*). [Tesis, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1281>
- Davis, A., Govaerts, R., Bridson, D., y Stoffelen, P. 2006. An annotated taxonomic spectrum of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Bot. J. Linn. Soc.* 152:465–512. doi:10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x
- Fernández, R., De Guglielmo, Z., y Menéndez, A. 2010. Cultivo de tejidos y transformación genética de café. *Revista de Investigación* 71(34): 57–84.
- Gabriel, J., Indacochea, B., Castro, C., Valverde, y Ayón, F. 2021a. Desafíos y perspectivas de la mejora genética del café (*Coffea* sp.) en el Sur de Manabí. *UNESUM-Ciencias*, 5(5): 107–120.
- Gabriel, J., Ortuño, N., Vera, M., Castro, C., Narváez, W., y Manobanda, M. 2017. Manual para evaluación de daños de enfermedades en cultivos agrícolas. Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador. 53 p. https://www.researchgate.net/publication/317356316_Manual_para_evaluacion_de_danos_de_enfermedades_en_cultivos_agricolas#fullTextFileContent
- Gabriel, J., Valverde, A., Indacochea, B., Castro, C., Vera, M., Alcívar, J., y Vera, R., 2021b. Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios. Segunda edición, Editorial Grupo Compás. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Guayaquil, Ecuador. <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/625>
- GAD. (2015). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial.
- Guzmán, P., O.A., Gómez, G., E.O., Rivillas, O., C.A., y Oliveros, T., C.E. 2003. Utilización del procesamiento de imágenes para determinar la severidad de La Mancha de Hierro del Cafeto, en hojas de café. *Cenicafé*, 54(3):258–265. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc054\(03\)258-265.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc054(03)258-265.pdf)
- Instituto Del Café de Costa Rica (ICAFFE). 2016. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. ICAFFE, Heredia, CRI. http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informacion_mercado/informes_actividad/anteriores/2016.pdf
- Labouisse, J.P., Bellachew, B., Kotecha, S., y Bertrand, B. 2008. Current status of coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources in Ethiopia: implications for conservation. *Genet. Resour. Crop Evol.* 55:1079–1093. doi:10.1007/s10722-008-9361-7
- Lashermes, P., Carvalho, A., y Etienne, H. 2008. Genomics of coffee, one of the world's largest traded commodities. In: P.H. Moore, and R. Ming, editors, *Genomics of tropical crop plants*. Vol. 1. *Plants genetics and genomics: Crops and models*. Springer, NY, USA. p. 203–226. doi:10.1007/978-0-387-71219-2_9
- Lashermes, P., Combes, M.C., Robert, J., Trouslot, P., Hont, A.D., Anthony, F., y Charrier, A. 1999. Molecular characterization and origin of the *Coffea arabica* L. Genome. *Mol. Gen. Genet.* 261:259–266. doi:10.1007/s004380050
- Lucas-Suarez, V.M. 2018. Evaluación de la producción de variedades e híbridos de *Coffea arabica* (Café arábigo). [Tesis, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1283/1/UNESUM-ECUADOR-AGROPECUARIA-2018-13.pdf>
- Martins, D., Araújo, S.D., Rubiales, D., y Patto, M.C.V. 2020. Legume crops and biotrophic pathogen interactions: A continuous cross-talk of a multi-layered array of defense mechanisms. *Plants* 9: 1460. <https://doi.org/10.3390/plants9111460>
- Melese, K. 2016. The role of biotechnology on coffee plant propagation: A current topics paper. *J. Biol. Agric. Healthcare* 6(5):13–19. <https://core.ac.uk/download/pdf/234661918.pdf>
- Mishra, M.K.; Slater, A. 2012. Recent advances in the genetic transformation of coffee. *Biotechnol. Res. Int.* 2012:580857. doi:10.1155/2012/580857
- Parrales, G.T. 2018. Determinación de las características morfológicas de 20 variedades e híbridos de café arábigo de alto valor genético. [Tesis, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador]. <https://docplayer.es/165775523-Universidad-estatal-del-sur-de-manabi.html>
- Romero, G., Alvarado, G., Ligarreto, y G., Galeano, N.F. 2010. Partial resistance to leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in coffee (*Coffea arabica* L.): Genetic

- analysis and molecular characterization of putative candidate genes. *Mol. Breed.*, 25, 685–697. <https://doi.org/10.1007/s11032-009-9368-6>Castillo, Z.P.; Alvarado, A.G. Resistencia incompleta de genotipos de café a la roya bajo condiciones de campo en la región central de Colombia. *Cenicafe*: 48.40–58. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Resistencia+incompleta+de+genotipos
- SAS University 2020. An Introduction to SAS University Edition. <https://www.oreilly.com/library/view/an-introduction-to/9781629600079/>
- Sharma, A., Jones, J.B., y White, F.F. 2019. Recent advances in developing disease resistance in plants. *F1000. Research.* 8: 1–8. <https://doi.org/10.12688/f1000research.20179.1>
- Silva, M.C., Várzea, V., Guerra-Guimarães, L., Azinheira, H.G., Fernandez, D., Petitot, A.S., Bertrand, B., Lashermes, P., Nicole, M. 2006. Coffee resistance to the main diseases: Leaf rust and coffee berry disease. *Braz. J. Plant Physiol.* 18; 119–147. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100010>
- Silva, MdC., Guerra Gulmaraes L., Diniz, I., Loreiro, Azinheira, H., Pereira, A.P., Tavares, S., Batista, D., y Várzea, V. 2020. An overview of the mechanisms involved in coffee-*Hemileia vastatrix* interactions: plant and pathogen perspectives. *Agronomy*, 12(2), 326; <https://doi.org/10.3390/agronomy12020326>
- Solano, W. 2001. Efecto de las características de cultivo en suspensión celular y en biorreactor con inmersión temporal sobre la propagación masiva de *Coffea arabica* por embriogénesis somática. Tesis Lic., Universidad de Costa Rica, Turrialba, CRI.
- Toniutti, L., Breitler, J.C., Etienne, H., Campa, C., Doulebeau, S., Urban, L., Lambot, C., Pinilla, J.C.H., y Bertrand, B. 2017. Influence of environmental conditions and genetic background of Arabica coffee (C.) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. *Front. Plant Sci.* 8: 2025. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02025>
- Tran, H.T., Slade, L., Furtado, A., Smyth, H., y Henry, R. 2016. Advances in genomics for the improvement of quality in coffee. *J. Sci. FoodAgric.* 96:3300-3312. doi:10.1002/jsfa.7692
- Villacreses, J. I. 2017. estudio de las enfermedades que afectan a la producción del cultivo de café arábigo (*coffea arabica*). [Tesis, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/711>
- Villalta-Villalobos, J. y Gatica-Arias, A. 2019. Una mirada en el tiempo: mejoramiento genético de café mediante la aplicación de la biotecnología. *Agronomía Mesoamericana* 30(2):577-599. doi:10.15517/am.v30i2.34173

Cómo citar: Gabriel Ortega, J., Parrales Parrales, T., Castro Piguave, C. A., Narváez Campana, W. V., & Fuentes Figueroa, T. Evaluación de la resistencia genética a enfermedades foliares en 20 accesiones de café arábigo (*Coffea arabica* L.) del banco de germoplasma de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. *Agrosilvicultura Y Medioambiente*, 1(1), 26–40. <https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v1.n1.2023.26-40>