



FOLIA
Amazónica

Revista del Instituto de Investigaciones
de la Amazonía Peruana

DESEMPEÑO AGRONÓMICO Y RESISTENCIA A ROYA DEL CAFÉ CASTILLO Y COLOMBIA EN SAN MARTIN, PERÚ

Alan Mike CARDOZA SANCHEZ^{1*}, Julián VELASQUEZ GUERRERO²

¹ Universidad Católica Sedes Sapientiae Filial Rioja. Jr. Santa Cruz cdra. 4 s/n – Sector Nuevo Edén.
Nueva Cajamarca, Rioja, San Martín.

² Instituto Nacional de Innovación Agraria. Carretera Sullana - Talara, km. 1027 Marcavelica, Sullana,
Piura, Perú.

* Correo electrónico: amcardoz@hotmail.com

RESUMEN

La roya del café (*Hemileia vastatrix*) y el envejecimiento de las plantaciones representan limitantes importantes para la productividad cafetalera en la región San Martín, Perú, por lo que la evaluación de variedades resistentes constituye una alternativa para la renovación de cafetales. El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento agronómico y sanitario de las variedades Castillo y Colombia, introducidas en la provincia de Moyobamba, región San Martín. Se emplearon 20 plantas de cada variedad bajo un diseño completamente al azar y se evaluaron sus características morfológicas, variables productivas e incidencia de roya. Para el análisis estadístico se utilizó el análisis de varianza y la prueba de Duncan al 5% de significancia. Los resultados mostraron que ambas variedades presentaron similares características morfológicas, sin embargo, la Variedad Castillo presentó mayores dimensiones foliares y mayor tamaño de frutos y semillas con respecto a la variedad Colombia. Además, ambas variedades alcanzaron rendimientos superiores a 1500 kg ha⁻¹ y baja incidencia de roya (< 1%), evidenciando adecuada adaptación y estabilidad sanitaria bajo condiciones de manejo orgánico. Se concluye que las variedades Castillo y Colombia constituyen alternativas viables para programas de renovación de cafetales en la región San Martín debido a su productividad, resistencia a roya y adaptación ambiental.

PALABRAS CLAVE: *Coffea arabica*, genotipo, *Hemileia vastatrix*, rendimiento.

AGRONOMIC PERFORMANCE AND RESISTANCE TO COFFEE RUST OF CASTILLO AND COLOMBIA IN SAN MARTIN, PERU

ABSTRACT

Coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) and plantation aging represent significant limitations to coffee productivity in the San Martín region of Peru. Therefore, evaluating resistant varieties is a viable alternative for coffee plantation renewal. The objective of this study was to evaluate the agronomic and sanitary performance of the Castillo and Colombia varieties, introduced in the province of Moyobamba, San Martín region. Twenty plants of each variety were used in a completely randomized design, and their morphological characteristics, productive variables, and rust incidence were evaluated. Analysis of variance and Duncan's multiple range test at a 5% significance level were used for statistical analysis. The results showed that both varieties presented similar morphological characteristics; however, the Castillo variety exhibited larger leaf dimensions and larger fruit and seed sizes compared to the Colombia variety. Furthermore, both varieties achieved yields exceeding 1500 kg ha⁻¹ and low rust incidence (<1%), demonstrating adequate adaptation and sanitary stability under organic management conditions. It is concluded that the Castillo and Colombia varieties constitute viable alternatives for coffee plantation renewal programs in the San Martín region due to their productivity, resistance to rust and environmental adaptation.

KEYWORDS: *Coffea arabica*, genotype, *Hemileia vastatrix*, yield.

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los principales cultivos en el Perú y a nivel mundial. En el país, se cosecharon alrededor de 426726 hectáreas en el 2023 (FAO, 2026; Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2024). Perú es uno de los principales exportadores de café orgánico (Gusukuma *et al.*, 2024) y San Martín es una de las principales regiones productoras de café (DRASAM, 2022; MIDAGRI, 2024), sin embargo, la rentabilidad es afectada por la baja productividad del cultivo debido a la alta incidencia de enfermedades como la roya del café (Rojas Ruiz *et al.*, 2021).

La roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome.) es la principal enfermedad que afecta al cultivo del café y puede ocasionar pérdidas por encima del 35 % de la producción (Aristizábal & Jhonson, 2022; Moreira *et al.*, 2023; Talhinhos *et al.*, 2017). Ocasiona defoliación severa afectando el proceso de fotosíntesis, los frutos no maduran adecuadamente, lo que provoca pérdidas en producción y calidad. (Aristizábal & Jhonson, 2022). El hongo vive principalmente en forma de micelio y uredosporas sobre las hojas que permanecen de un año para otro, con un ciclo de vida de 10 a 25 días, desde el inicio de la infección hasta la producción de esporas (Djuikem *et al.*, 2021). Las esporas para germinar requieren humedad en las hojas de 6 a 24 horas (Sera *et al.*, 2022) y las mismas pueden ser diseminadas por el viento, lluvia, personal de campo, entre otros (Moreira *et al.*, 2023).

La mayoría de las variedades de *Coffea arabica* L. son muy susceptibles a la roya por lo que el control requiere una fuerte inversión económica. El hongo es muy agresivo, por lo que, si no se hace controles preventivos a tiempo, la única opción es el control químico (De Resende *et al.*, 2021). En Perú, la mayoría de productores cuenta con certificación orgánica, por tanto, está prohibido el uso de fungicidas químicos.

Ante esta problemática una opción es el uso de variedades resistentes, la cual es la alternativa más rentable y sostenible para el manejo de enfermedades (De Resende *et al.*, 2021; Góngora & Silva, 2024). Durante los últimos 20 años, la roya ha ocasionado graves epidemias en diferentes países del continente americano (Talhinhos *et al.*, 2017).

En el Perú durante el periodo 2013-2015 ocurrió una epidemia de roya con una severidad de ataque entre el 27% al 53% afectando a 158907 has de café, lo que significó pérdidas de 217 millones de dólares en divisas para el país (Nahuamel, 2019). Además, se perdieron 16,28 millones de jornales y el 23,53% de caficultores abandonaron temporalmente sus unidades agropecuarias para dedicarse a otras actividades económicas (MIDAGRI, 2014; Nahuamel, 2019). Debido a esto, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, implementó un programa para la renovación de cafetales, con la finalidad de instalar variedades resistentes, sin embargo, solo se logró renovar 39314 ha, representando menos del 10% del área afectada (MIDAGRI, 2018).

Ante esta situación, en la actualidad es necesario continuar renovando las plantaciones con muy buen material genético proveniente de centros de investigación de prestigio. A nivel mundial, existen diferentes programas de mejoramiento genético que han desarrollado variedades con resistencia a la roya (Bramel *et al.*, 2017; Cortina *et al.*, 2013; Flórez *et al.*, 2016; Zambolim *et al.*, 2024). Entre ellos destacan el Centro Nacional de Investigaciones en Café de Colombia (CENICAFE), institución reconocida por desarrollar variedades resistentes como Castillo y Colombia caracterizadas por poseer buena productividad y resistencia durable a la roya (Cortina *et al.*, 2013; Flórez *et al.*, 2016). La variedad Colombia está conformada por las líneas más sobresalientes del cruzamiento entre la variedad caturra y del Híbrido de Timor (catimor); cuenta con resistencia a la roya y es de buena productividad y

calidad (Cortina *et al.*, 2013; Moreno & Alvarado, 2000). De igual manera, la variedad Castillo, proviene del cruzamiento entre la variedad Caturra y el híbrido de Timor y se caracteriza porque es de buena calidad, resistente a la roya, sin embargo, es similar o superior en productividad a las variedades Caturra y Colombia (Alvarado-Alvarado *et al.*, 2005; Cortina *et al.*, 2013).

En la región San Martín, no existe estudios sobre estas variedades, a pesar de que en los últimos años se han introducido en los programas de producción orgánica de diferentes cooperativas y empresas. Así mismo, estudios recientes señalan que la evaluación local de variedades resistentes es fundamental debido a que el comportamiento agronómico del café puede variar significativamente según las condiciones ambientales y el manejo del cultivo (Chemura *et al.*, 2016; Sera *et al.*, 2022). Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el desempeño agronómico y la resistencia a roya de las variedades Castillo y Colombia bajo condiciones de cultivo orgánico en Moyobamba, con el fin de validar su potencial para programas de renovación de cafetales en la región San Martín.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el distrito de Yantalo, provincia de Moyobamba, Región San Martín, con una altitud de 822 m s.m.n., latitud sur 5°58'01" y longitud oeste 77°01'52" (Figura 1). La temperatura promedio fue de 22,6 °C y la precipitación media anual de 2000 mm. La parcela es una finca privada de café de cuatro años de edad, con tres años de producción, con un distanciamiento de siembra de 2x1 m, con una densidad de siembra de 5000 plantas por hectárea. El diseño de siembra es en sistema agroforestal con plantas de *Eucalyptus saligna*, *Cedrelinga cateniformis* e *Inga* spp. de un año de edad a una distancia de 6 x 8 m.

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL

Veinte (20) plantas de cada variedad (Castillo y Colombia) se seleccionaron al azar.

Se evaluaron las características morfológicas y agronómicas de las variedades utilizando los descriptores para café del International Plant Genetic Resources Institute (1996). Las variables evaluadas fueron: color de hoja adulta, color y forma del fruto y de la semilla, tamaño de las hojas, frutos y semillas, altura de planta, número de ramas productivas por planta, número de nudos por rama, número de frutos por nudo, peso de 100 frutos, peso de 100 semillas, rendimiento e incidencia de roya. Para la evaluación de las características se seleccionaron al azar 60 hojas, 60 ramas, 60 nudos, 100 frutos y 100 semillas de cada variedad.

EVALUACIÓN DE ROYA

La incidencia de roya se calculó según la metodología del Servicio Nacional de Sanidad Agraria (2003), la cual consistió en seleccionar al azar seis ramas de cada planta, dos de la parte superior, dos de la parte media y dos de la parte inferior. En cada una de las ramas marcadas se contaron y registraron el número total de hojas y el número de hojas con lesiones en esporulación. Luego, se utilizó la siguiente fórmula: Porcentaje de Incidencia = $\frac{\text{Número de hojas con lesiones} \times 100}{\text{número de hojas total}}$. La evaluación de roya se realizó cada 30 días durante un año (12 en total).

MANEJO DEL CULTIVO

El manejo del cultivo se llevó de forma orgánica, es decir sin la aplicación de agroquímicos con la finalidad de conocer el comportamiento del cultivo y la incidencia de roya en condiciones naturales.

No se realizó ningún tipo de poda y el manejo de malezas se realizó con machete y motoguadaña.

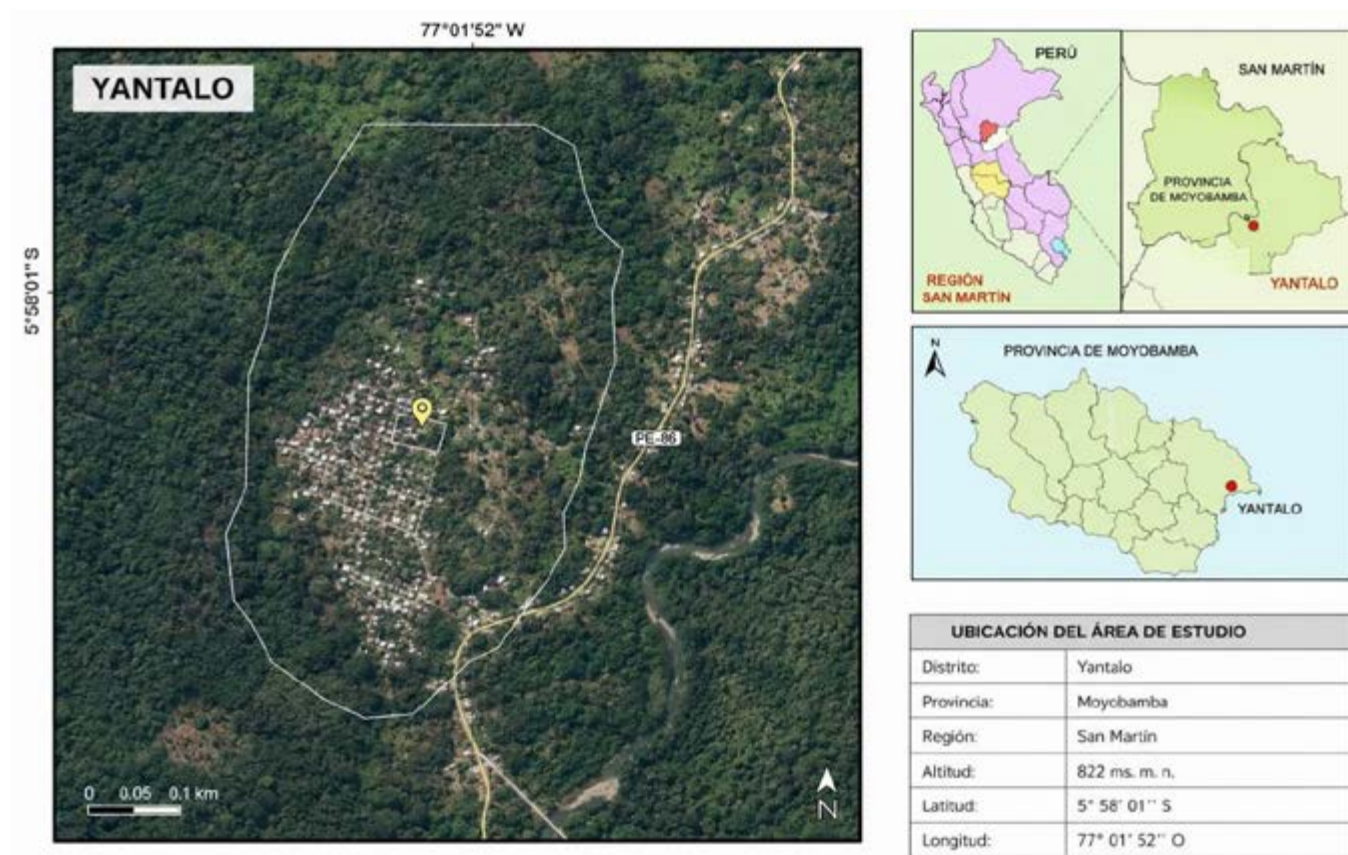


Figura 1. Zona de colección de muestras en varillales de Jenaro Herrera- Iquitos.

Para el control de la broca se realizó el recojo de los frutos afectados los cuales fueron sumergidos en un balde con agua.

Los cerezos de café se despulparon con despulpadora manual marca LAMPER, se fermentaron en un tanque tina de cemento y los granos se secaron en secador solar.

DISEÑO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE DATOS

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente al azar (DCA) donde cada variedad se le consideró un tratamiento y las 20 plantas como repeticiones.

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el análisis de varianza (ANOVA) y la Prueba de Duncan al 5 % de significancia para comparar las medias de cada tratamiento. Se verificaron los supuestos del ANOVA con las pruebas

de Shapiro-Wilk (normalidad) y Levene (homogeneidad de varianza). Los datos se procesaron con el software Infostat versión 2020.

RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Las variedades Castillo y Colombia presentaron características morfológicas similares en cuanto al color y forma de las hojas, frutos y semillas (Tabla 1). Ambas mostraron hojas verdes de forma elíptica, frutos rojos de forma redondeada y semillas amarillas y oblongas. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en algunas variables cuantitativas (Tabla 2 y 3). La variedad Castillo presentó mayor longitud y ancho de hoja, así como mayor ancho de fruto y semilla en comparación con la variedad

Tabla 1. Características morfológicas de las variedades

N°	Variedad	Color de hoja adulta	Forma de la hoja	Color del fruto	Forma del fruto	Color de la semilla	Forma de la semilla
1	Castillo	Verde	Elíptica	Rojo	Redondeada	Amarilla	Oblonga
2	Colombia	Verde	Elíptica	Rojo	Redondeada	Amarilla	Oblonga

Colombia. Con respecto al largo y espesor de la semilla, las variedades no mostraron diferencias significativas.

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

Las dos variedades mostraron comportamiento agronómico similar (Tabla 4 y 5). No se encontraron diferencias significativas en la altura de la planta, número de ramas productivas, número de nudos por rama, número de frutos por nudo, peso de 100 frutos, peso de 100 semillas, rendimiento por planta y por hectárea. ($p > 0,05$). Las variedades Castillo y Colombia tuvieron un rendimiento de $1758,8 \text{ kg ha}^{-1}$ y $1677,5 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente.

INCIDENCIA DE ROYA

La incidencia de roya fue baja durante todo el periodo de evaluación en ambas variedades (Figura 2 y 3). Castillo presentó una incidencia de 0,3 % mientras que Colombia fue de 0,5 %, sin diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 5). Las evaluaciones mensuales evidenciaron estabilidad sanitaria durante el año de estudio, manteniéndose valores inferiores al 1 % en ambas variedades.

DISCUSIÓN

Las variedades mostraron similares características morfológicas: hojas verdes de forma elíptica, frutos rojos redondeados y semillas amarillas oblongas. Estas características coinciden con lo descrito para materiales derivados

del híbrido de Timor y variedades tipo Catimor evaluadas en diferentes regiones cafetaleras de América Latina (Cortina *et al.*, 2013; Julca-Otiniano *et al.*, 2018; Flórez, 2020). Sin embargo, la variedad Castillo presentó mayores valores de largo y ancho de hoja, así como mayor ancho de fruto y semillas respecto a Colombia, lo que podría representar ventajas fisiológicas relacionadas con una mayor superficie fotosintética y mayor capacidad de acumulación de biomasa (Bote *et al.*, 2018; Martins *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2016).

Con respecto a las características agronómicas, ambas variedades mostraron comportamiento similar bajos las condiciones evaluadas. La altura observada en las variedades Castillo (260,35 cm) y Colombia (254,75 cm) fue superior a los valores reportados previamente para estos genotipos. Alvarado-Alvarado *et al.* (2005) reportaron una altura promedio de 217,8 cm para Castillo y Julca-Otiniano *et al.* (2018) registraron 177,76 cm para Colombia. Además, el número de nudos por rama en Castillo (9,72) y Colombia (9,23) fue inferior a los reportado por Julca-Otiniano *et al.* (2018), quienes encontraron valores de 14,28 para Colombia, 15,92 para Costa Rica y 11,68 para Catimor.

El peso de 100 frutos en Castillo (249,52 g) y Colombia (229,03 g) fue superior a los valores reportados para Catimor y Colombia en estudio previos en la Selva Central del Perú (Julca-Otiniano *et al.*, 2018). Además, el peso de 100 semillas en Castillo (20,23 g) y Colombia (19,37 g) superó los valores obtenidos por Alvarado *et al.* (2017) para Colombia UNACAF-11(14,80 g), Catimor

Tabla 2. Características cuantitativas de las hojas y frutos. Prueba de Duncan ($p > 0,05$).

N°	Variedad	Largo de la hoja(cm)	Ancho de la hoja (cm)	Largo del fruto(mm)	Ancho del fruto (mm)
1	Castillo	17,30 ± 0,28 a	7,73 ± 0,13 a	16,12 ± 0,11a	14,81 ± 0,09 a
2	Colombia	16,30 ± 0,28 b	6,81± 0,13 b	15,94 ± 0,11 a	14,35 ± 0,09 b
	CV (%)	13,03	14,18	6,86	6,01

Tabla 3. Características cuantitativas de las semillas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes. Prueba de Duncan ($p > 0,05$).

N°	Variedad	Largo de la semilla (mm)	Ancho de la semilla (mm)	Espesor de la semilla (mm)
1	Castillo	9,51± 0,07 a	6,97± 0,05 a	4,13 a
2	Colombia	9,40 ± 0,07 a	6,73± 0,05 b	4,05 a
	CV (%)	7,60	7,32	10,04

Tabla 4. Características agronómicas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes. Prueba de Duncan ($p > 0,05$).

N°	Variedad	Altura de planta (cm)	Número de ramas productivas por planta	Número de nudos por rama	Número de frutos por nudo
1	Castillo	260,35 ± 5,27 a	21,37± 1,52 a	9,72 ± 0,33 a	8,03 ± 0,40 a
2	Colombia	254,75 ± 5,27 a	23,05± 1,52 a	9,23 ± 0,33 a	7,67 ± 0,40 a
	CV (%)	9,16	30,60	26,87	39,13

Tabla 5. Rendimiento e incidencia de roya. Medias con una letra común no son significativamente diferentes. Prueba de Duncan ($p > 0,05$).

N°	Variedad	Peso de 100 frutos (g)	Peso de 100 semillas (g)	Rendimiento por planta (kg)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Incidencia de roya (%)
1	Castillo	249,52 ± 8,17 a	20,23 ± 0,53 a	0,35 ± 0,02 a	1758,75 ± 108,24 a	0,27 ± 0,08 a
2	Colombia	229,03 ± 8,17 a	19,37± 0,53 a	0,31 ± 0,02 a	1548,75 ± 108,24 a	0,43 ± 0,08 a
	CV (%)	5,92	4,64	29,11	29,27	82,93



Figura 2. De Izquierda a Derecha. Presencia de algunas lesiones en la variedad Castillo y Colombia.

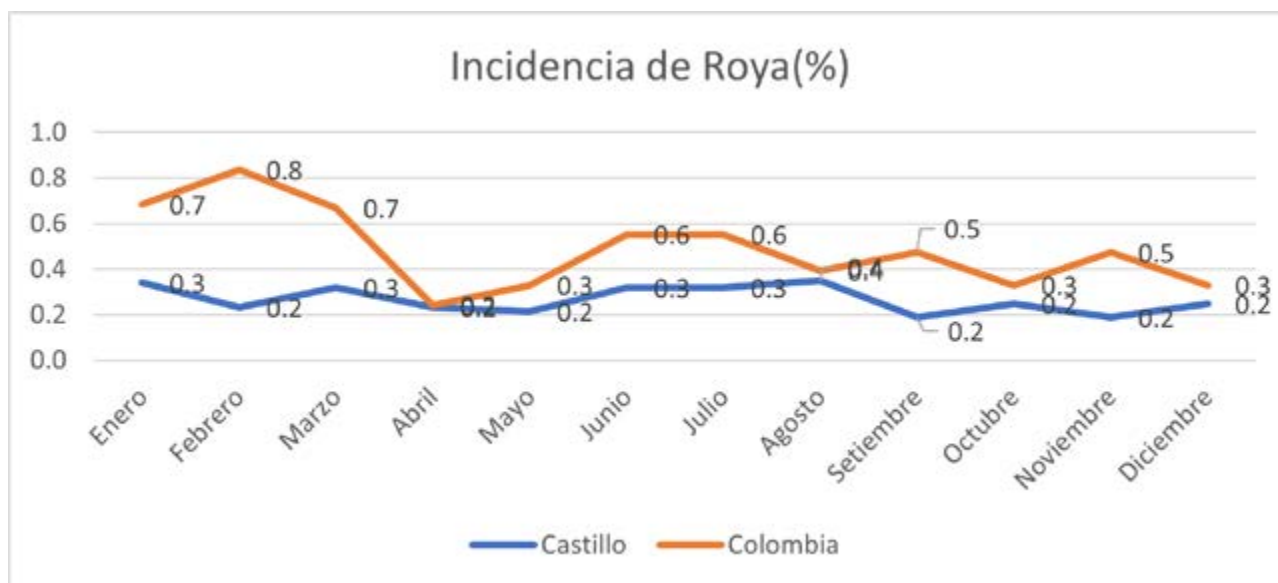


Figura 3. Incidencia de roya según variedad.

UNACAF-12 (15,20 g) y Caturra UNACAF-1 (16,80 g).

Las variedades Castillo y Colombia tuvieron un rendimiento por planta de 0,35 kg y 0,31 kg respectivamente; estos valores son similares reportados por Julca-Otiniano *et al.* (2018): 0,35 kg para Colombia y 0,33 kg para Catimor. Alvarado *et al.* (2017), obtuvieron rendimientos diferentes con las variedades Colombia UNACAF-11 (301,62 g por planta), Colombia UNACAF-79 (183,94, g por planta), Catimor UNACAF-15 (203,92 g por planta) y Caturra UNACAF-28 (283,04 g por planta).

Las variedades Castillo y Colombia obtuvieron un rendimiento de 1 758,8 kg ha⁻¹ y 1 677,5 kg ha⁻¹, valores por encima del promedio nacional de 870 kg ha⁻¹ (MIDAGRI, 2024). Resultados similares obtuvo Maldonado (2017), al comparar el rendimiento de 10 variedades de café en la Paz, Bolivia, encontró que la variedad Castillo tuvo un rendimiento de 1039 kg ha⁻¹, valor superior a la variedad susceptible a la roya Catuaí rojo (629 kg ha⁻¹).

Otro de los hallazgos más importantes, es la baja incidencia de roya, observada durante el estudio. Los valores encontrados, inferiores al 1 %, son inferiores a lo reportado por (Julca-Otiniano *et al.*, 2018) para Colombia (1,64 %), Catimor (0,52 %) y Costa Rica (3,42 %). Alvarado *et al.* (2017) hallaron que las variedades Colombia y Catimor tuvieron 0 % de incidencia de roya, baja incidencia en comparación con otras variedades como Caturra UNACAF-14 (64,56%) y Pache UNACAF-20 (42,82%). Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Cortina *et al.* (2013); Alvarado *et al.* (2005) y Moreno & Alvarado (2000) quienes mencionan que las variedades Castillo y Colombia son resistentes a roya. Estas variedades están compuestas de líneas con diferentes grados de resistencia, lo que les permite tener una resistencia más durable. Las variedades derivadas del híbrido de Timor (*C. arabica* x *C. canephora*) como Castillo y Colombia,

poseen los genes de resistencia SH6, SH7, SH8, y SH9 además de los genes SH1, SH2, SH4 y SH5 que solo poseen las variedades provenientes de *C. arabica* como Caturra (Guerra-Guimarães *et al.*, 2023; Cardoza Sánchez *et al.*, 2025).

Además, las diferencias observadas entre variedades probablemente están asociadas a la interacción entre factores genotipo por ambiente. Estudios recientes indican que variables como temperatura, radiación, disponibilidad hídrica y fertilidad del suelo influyen significativamente sobre el crecimiento vegetativo y la expresión fenotípica del café (Bote *et al.*, 2018; DaMatta *et al.*, 2007; Napier *et al.*, 2023). Asimismo, investigaciones sobre mejoramiento genético señalan que las variedades derivadas del híbrido de Timor presentan elevada plasticidad fenotípica, buena adaptación a sistemas agroforestales tropicales y mayor estabilidad a diferentes condiciones ambientales (Cardoza Sánchez *et al.*, 2025; Flórez *et al.*, 2016). La evaluación local de variedades permite identificar genotipos con mayor adaptación y estabilidad productiva frente a condiciones tropicales variables, contribuyendo al desarrollo de sistemas cafetaleros más sostenibles y resilientes al cambio climático (Bertrand *et al.*, 2011; Bunn *et al.*, 2015).

Estos resultados evidencian el alto potencial productivo de ambos genotipos bajo condiciones de producción orgánica en San Martín y coinciden con lo señalado por Flórez *et al.* (2026) y Cortina *et al.* (2013), quienes destacan que las variedades derivadas del Híbrido de Timor presentan buena estabilidad productiva, resistencia durable a la roya y amplia adaptación ambiental.

CONCLUSIONES

Las variedades Castillo y Colombia presentaron comportamiento agronómico similar bajo las condiciones de producción orgánica en Moyobamba, San Martín, evidenciando

rendimientos superiores a 1500 kg ha⁻¹, valores superiores al promedio nacional de café en Perú (870 kg ha⁻¹). Además, ambas variedades registraron baja incidencia de roya (valores por debajo del 1 %), confirmando su resistencia bajo condiciones tropicales. Los resultados obtenidos sugieren que las variedades Castillo y Colombia constituyen alternativas viables para programas de renovación de cafetales en sistemas de producción orgánica y sostenibles, especialmente en áreas afectadas por roya del café.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, L.; Vértiz, R.; Jiménez, J.; Borjas, R.; Castro, V.; Julca, A. 2017. Caracterización agronómica de 95 accesiones en el banco de germoplasma de café en Chanchamayo (Perú), año 2016. *Revista ECI Perú*, 14 :1. DOI: <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2017.0004/>
- Alvarado-Alvarado, G.; Posada-Suárez, H.; Cortina-Guerrero, H. 2005. *Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya*. Centro Nacional de Investigaciones en café, Chinchiná. 8 pp.
- Aristizábal, L.; Johnson, M. 2022. Monitoring coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) on commercial coffee farms in Hawaii: Early Insights from the First Year of Disease Incursion. *Agronomy* 12 (5), 1134. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051134>
- Asociación Nacional del Café. 2019. *Guía de variedades de café*. Asociación Nacional del Café, Guatemala. 48 pp.
- Bertrand, B.; Alpizar, E.; Lara, L.; SantaCreo, R.; Hidalgo, M.; Quijano, J.M.; Montagnon, C.; Georget, F.; Etienne, H. 2011. Performance of *Coffea arabica* F1 hybrids in agroforestry and full-sun cropping systems in comparison with American pure line cultivars. *Euphytica*, 181(2), 147-158. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0372-7>
- Bote, A.D.; Ayalew, B.; Ocho, F.L.; Anten, N.; Vos, J. 2018. Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation levels and rates of nitrogen supply I. Vegetative growth, production and distribution of biomass and radiation use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 92: 115-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.10.007>
- Bramel, P.; Krishnan, S.; Horna, D.; Lainoff, B.; Montagnon, C. 2017. *Global Conservation Strategy for Coffee Genetic Resources*. 72 pp.
- Bunn, C.; Läderach, P.; Ovalle Rivera, O.; Kirschke, D. 2015. A bitter cup: Climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1-2), 89-101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Cardoza Sánchez, A.M.; Quesquén Condori, J.V.; Blas Montenegro, L.P.; Facundo Meza, R.; Velásquez Guerrero, J.; Sarmiento Ocmín, J. 2025. Genetic improvement in coffee (*Coffea arabica* L.) cultivation: Methodological advances and application proposal using traditional methods and biotechnological tools. *Scientia Agropecuaria*, 16(3), 457-468. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.035>
- Chemura, A.; Kutwayo, D.; Chidoko, P.; Mahoya, C. 2016. Bioclimatic modelling of current and projected climatic suitability of coffee (*Coffea arabica*) production in Zimbabwe. *Regional Environmental Change*, 16(2), 473-485. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0762-9>
- Cortina, H.A.; Acuña-Zornosa, J.R.; Moncada Botero, M. del P.; Herrera Pinilla, J.C.; Molina, D.M. 2013. Variedades de café: Desarrollo de variedades. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. pp. 169-202.
- DaMatta, F.M.; Ronchi, C.P.; Maestri, M.; Barros, R.S. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant*

- Physiology*, 19(4), 485-510. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>
- De Resende, M.L.V.; Pozza, E.A.; Reichel, T.; Botelho, D.M.S. 2021. Strategies for Coffee Leaf Rust Management in Organic Crop Systems. *Agronomy*, 11(9), 1865. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091865>
- Dirección Regional de Agricultura de San Martín. 2022. *San Martín es el Primer Productor de Café en el Perú*. (<https://www.gob.pe/institucion/regionsanmartin-dra/noticias/638885-san-martin-es-el-primer-productor-de-cafe-en-el-peru>). Acceso: 25/12/2024
- Djuikem, C.; Grogard, F.; Wafo, R.; Touzeau, S.; Bowong, S. 2021. Modelling coffee leaf rust dynamics to control its spread. *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*, 16, 26. DOI: <https://doi.org/10.1051/mmnp/2021018>
- FAO. 2026. *FAOSTAT: crops and livestock products*. (<https://www.fao.org/faostat>). Acceso: 25/12/2024
- Flórez, C.P. 2020. Variedades de café: Siémbrelas para asegurar productividad y calidad. *Memorias Seminario Científico Cenicafé*, 71(1), e71125. DOI: <https://doi.org/10.38141/10795/71125>
- Flórez, C.P.; Maldonado, C.E.; Cortina, H.A.; Moncada, M. del P.; Montoya, E.C.; Ibarra, L.N.; Unigarro, C.A.; Rendón, J.R.; Duque Orrego, H. 2016. Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo altamente productiva resistente a la roya y al CBD con mayor calidad física del grano. *Avances Técnicos Cenicafé*, 469, 1-8. DOI: <https://doi.org/10.38141/10779/0469>
- Flórez, C.P.; Ibarra, L.N.; Gómez, L.F.; Carmona, C.Y.; Castaño, A.; Ortiz, A. 2013. *Estructura y funcionamiento de la planta de café*. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Vol.1, p. 123-168.
- Guerra-Guimarães, L.; Díniz, I.; Azinheira, H.G.; Loureiro, A.; Pereira, A.P.; Tavares, S.; Batista, D.; Várzea, V.; da Silva, M. 2023. *Coffee Leaf Rust Resistance: An Overview*. In: Ingelbrecht, I.L.; da Silva, M.; Jankowicz-Cieslak, J. (Eds) *Mutation Breeding in Coffee with Special Reference to Leaf Rust*. p, 19-38. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-67273-0_2
- Góngora, C.E.; Silva, M.d.C. 2024. Sustainable Strategies for the Control of Crop Diseases and Pests to Reduce Pesticides. *Agronomy*, 14(9), 2158. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14092158>
- Gusukuma, M.; Cornejo, C.; Dueñas, A.; Muñoz, S.; Quispe, I. 2024. Carbon footprint of organic coffee: Peruvian case study. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 9, 100110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100110>
- International Plant Genetic Resources Institute 1996. *Descriptores del café (Coffea spp. y Psilanthus spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute. 36 pp.
- Julca-Otiniano, A.; Alarcón-Águila, G.; Alvarado-Huamán, L.; Borjas-Ventura, R.; Castro-Cepero, V. 2018. Comportamiento de tres cultivares de café (Catimor, Colombia y Costa rica 95) en el valle del Perené, Junín, Perú. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 34(3), 205-215. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000504>
- Maldonado, C. 2017. Comparación del rendimiento de diez cultivares de café (Coffea arabica L.) en tres años de producción en la Estación Experimental de Sapecho, provincia Sud Yungas, departamento de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(2), 30-36.
- Martins, M.Q.; Rodrigues, W.P.; Fortunato, A.S.; Leitão, A.E.; Rodrigues, A.P.; Pais, I.P.; Martins, L.D.; Silva, M.J.; Reboredo, F.H.; Partelli, F.L.; Campostrini, E.; Tomaz, M.A.; Scotti-Campos, P.; Ribeiro-Barros, A.I.; Lidon, F.J.C.; DaMatta,

- F.M.; Ramalho, J.C. 2016. Protective Response Mechanisms to Heat Stress in Interaction with High [CO₂] Conditions in Coffea spp. *Frontiers in Plant Science*, 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00947>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego 2014. *MINAGRI aprueba plan de acción rápida contra roya amarilla que ataca los cafetales*. (<https://www.midagri.gob.pe/portal/notas-de-prensa/notas-de-prensa-2014/11590-minagri-aprueba-plan-de-accion-rapida-contra-roya-amarilla-que-ataca-los-cafetales>). Acceso: 15/12/2024
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. 2018. *Minagri promovió la renovación de casi 40 mil hectáreas de café, afectados por roya amarilla*. (<https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/19272-minagri-promovio-la-renovacion-de-casi-40-mil-hectareas-de-cafe-afectados-por-roya-amarilla>). Acceso: 15/12/2024
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego .2024. *Perfil productivo regional*. (<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoib2U3NTdkYTktOTk5Ny00NjQ5LTg0ZjEtMmIzYzlmZWlWMDhlliwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>). Acceso: 15/12/2024
- Moreira-Morrillo, A.A.; Vélez-Zambrano, J. P.; Moreira, S.; Garcés-Fiallos, F.R. 2023. Enfermedades que afectan el cultivo de café: Elucidando el ciclo de vida de Roya, Mal de Hilachas y Cercosporiosis. *Scientia Agropecuaria*, 14(3), 395-412. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.035>
- Moreno, G.; Alvarado, G. 2000. *La variedad Colombia: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto*. Centro Nacional de Investigaciones en café, Chinchiná. 32 pp.
- Nahuamel, E. 2019. *Efecto económico de la roya amarilla en el comercio mundial de café. Caso Perú: periodo 2011-2015*. Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Gestión Económica Global, Universidad Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Económicas, Lima, Perú. 372 pp.
- Napier, J.; Heckman, R.W.; Juenger, T.E. Gene-by-environment interactions in plants: Molecular mechanisms, environmental drivers, and adaptive plasticity. *The Plant Cell*, 35: 109–124. DOI: <https://doi.org/10.1093/plcell/koac322>
- Rodrigues, W.P.; Martins, M.Q.; Fortunato, A.S.; Rodrigues, A.P.; Smedo, J.N.; Simões-Costa, M.C.; Pais, I.P.; Leitão, A.E.; Colwell, F.; Goulao, L.; Máguas, C.; Maia, R.; Partelli, F.L.; Campostrini, E.; Scotti-Campos, P.; Ribeiro-Barros, A.I.; Lidon, F.C.; DaMatta, F.M.; Ramalho, J.C. 2016. Long-term elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical Coffea arabica and C. canephora species. *Global Change Biology*, 22(1), 415–431. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13088>
- Rojas Ruiz, R.; Alvarado Huamán, L.; Borjas Ventura, R.; Carbonell Torres, E., Castro Cepero, V.; Julca Otiniano, A. 2021. Sustentabilidad en fincas productoras de café (Coffea arabica L.) convencional y orgánica en el Valle del Alto Mayo, Región San Martín, Perú. *RIVAR*, 8(23), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.35588/RIVAR.V8I23.4916>
- Sera, G.H.; de Carvalho, C.H.S.; de Rezende Abrahão, J.C.; Pozza, E.A.; Matiello, J.B.; de Almeida, S.R.; Bartelega, L.; dos Santos Botelho, D.M. 2022. Coffee Leaf Rust in Brazil: Historical Events, Current Situation, and Control Measures. *Agronomy*, 12(2), 496. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12020496>
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria. 2003. *Norma para la Ejecución y remisión de Información de actividades del Programa*

- Manejo Integrado de plagas del cafeto*. Servicio Nacional de Sanidad Agraria, Lima. 28 pp.
- Talhinhas, P.; Batista, D.; Diniz, I.; Vieira, A.; Silva, D.N.; Loureiro, A.; Tavares, S.; Pereira, A.P.; Azinheira, H.G.; Guerra, L.; Várzea, V.; Silva, M.D.C. 2017. The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology*; 18(8):1039-1051. DOI: <https://doi.org/10.1111/mpp.12512>
- Zambolim, L.; Caixeta, E.; Guerreiro, O.; Sera, G.; Sera, T.; Pereira, A.; de Oliveira, A.; Verdin, A.; de Carvalho, C.; Ramalho, A. 2024. Breeding Programs Against Coffee Leaf Rust in Brazil: A Review. *Journal of Agricultural Science*, 16: 5. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v16n5p61>

Recibido: 17 de enero de 2025 **Aceptado para publicación:** 19 de diciembre de 2025