



Editada por el Instituto
de Estudios Avanzados de la
Universidad de Santiago de Chile

AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS Y SU RELACIÓN CON LA ROYA EN LA SELVA PERUANA*

*Coffee Agroecosystems and their Relationship with
Coffee Rust in the Peruvian Jungle*
*Agroecossistemas cafeiteiros e sua relação com a
ferrugem do café na selva peruana*

Alberto Julca-Otiniano

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3433-9032>
ajo@lamolina.edu.pe

Leonel Alvarado Huamán

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2121-2454>
leonel.alvarado@wur.nl

Deyna Valderrama Palacios

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5849-6884>
20230900@lamolina.edu.pe

Fabiola León Rojas

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2072-4084>
20230898@lamolina.edu.pe

Ricardo Borjas Ventura

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7819-1810>
rborjas@lamolina.edu.pe

Viviana Castro Cepero

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8747-2665>
vcastro@lamolina.edu.pe

José Falconí Palomino

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5262-8209>
jfalconi@lamolina.edu.pe

Segundo Bello Amez

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2405-7138>
belloamezs@gmail.com

Carolina Cedano Saavedra

Universidad Nacional de Trujillo
Trujillo, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0450-4949>
ccedano@unitru.edu.pe

Vol. 12, N° 36, 225-237, julio de 2025

ISSN 0719-4994

Artículo de investigación

<https://doi.org/10.35588/wznmdf92>

Recibido

31 de mayo de 2024

Aceptado

24 de marzo de 2025

Publicado

6 de agosto de 2025

Artículo científico

Este trabajo de investigación se realizó en el marco del proyecto: "Estudio de la variabilidad genética y caracterización de la roya del café (*Hemileia vastatrix* L.) en el Perú, como base para el desarrollo de un programa de manejo integrado de la enfermedad en un contexto de cambio climático", financiado por PROCENCIA, Convenio N° PE501078996-2022.

Cómo citar

Julca-Otiniano, A. et al.
(2025). Agroecosistemas cafetaleros y su relación con la roya en la selva peruana.
RIVAR, 12(36), 225-237.

<https://doi.org/10.35588/wznmdf92>

ABSTRACT

This work was carried out with the objective of studying the relationship of “coffee rust leaf” with some characteristics of coffee plantations in the Peruvian jungle. In total, 1023 samples of coffee leaves were taken from the northern jungle (n=318), central jungle (n=439) and southern jungle (n=266) in which the severity of the rust was evaluated. On each farm, data on altitude, cultivated variety, age of the plantation and production system (conventional or organic) were taken. For each coffee-growing area, an Analysis of Variance was carried out to know the effect of altitude, varieties, plantation age and production systems on the severity of the disease. In each coffee-growing area, the altitude levels varied, as well as the cultivated varieties, the age of plantation and the use of production systems. The severity differs between cultivated varieties and in some cases this difference was statistically significant. It also changes with the age of plantation, a difference that can also be significant; also, the severity was significantly higher in the organic production system, compared to the conventional production system. It also varies between the different altitudinal levels and in some cases, this difference is statistically significant.

KEYWORDS

Hemileia vastatrix,
altitude, plantation age,
production system.

RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objetivo de estudiar la relación de la roya del café con ciertas características de los cafetales, en la selva peruana. En total, se tomaron 1.023 muestras de hojas de café provenientes de la selva norte (n=318), selva central (n=439) y selva sur (n=266) en las que se evaluó la severidad de la roya. En cada finca se tomaron datos de altitud, variedad cultivada, edad de la plantación y sistema de producción (convencional u orgánico). Para cada zona cafetalera se realizó un Análisis de Varianza para conocer el efecto de la altitud, variedades, edad de plantación y sistemas de producción sobre la severidad de la enfermedad. En cada zona cafetalera cambiaron los niveles de altitud y las variedades cultivadas, la edad de plantación y el uso de los sistemas de producción. La severidad difiere entre las variedades cultivadas y, en algunos casos, esta diferencia es estadísticamente significativa; también cambia con la edad de plantación, diferencia que también puede ser significativa. La severidad fue significativamente mayor en el sistema de producción orgánica, comparada con el sistema de producción convencional. También varía entre los diferentes pisos altitudinales, cuya diferencia es en ciertos casos estadísticamente significativa.

PALABRAS CLAVE

Hemileia vastatrix, altitud,
edad de plantación,
sistema de producción.

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a relação da “ferrugem do café” com algumas características das plantações de café na selva peruana. No total, foram retiradas 1023 amostras de folhas de café da selva norte (n=318), selva central (n=439) e selva sul (n=266) nas quais foi avaliada a severidade da ferrugem. Em cada fazenda foram coletados dados de altitude, variedade cultivada, idade da plantação e sistema de produção (convencional ou orgânico). Para cada área cafeeira foi realizada uma Análise de Variância para conhecer o efeito da altitude, variedades, idade da plantação e sistemas de produção na severidade da doença. Em cada área cafeeira variaram os níveis de altitude, bem como as variedades cultivadas, a idade de plantio e o uso dos sistemas de produção. A severidade difere entre variedades cultivadas e em alguns casos esta diferença é estatisticamente significativa; também muda com a idade da plantação, diferença que também pode ser significativa. A severidade foi significativamente maior no sistema de produção orgânico, comparado ao sistema de produção convencional, com diferenças entre os diferentes níveis altitudinais e, em alguns casos, essa diferença é estatisticamente significativa.

PALAVRAS-CHAVE

Hemileia vastatrix, altitude,
idade da plantação,
sistema de produção

Introducción

El café en Perú es un cultivo de pequeños productores. Se estima que existen más de 220.000 que poseen más de 425.000 hectáreas en las quince regiones cafetaleras. La roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. Br.) es la principal enfermedad que afecta al cultivo y fue reportada, por primera vez, en 1979 en Satipo, una localidad ubicada en la selva central (Julca-Otiniano et al., 2013). Esta enfermedad reapareció como epidemia en la campaña cafetalera 2012-2013 y causó pérdidas de hasta el 60% de las cosechas, valorizadas en US\$290 millones (Borjas et al., 2020). En esa campaña, según el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), la roya del café tuvo una incidencia entre 32.33 a 70.64%.

Entre los factores que favorecen la enfermedad están las variedades cultivadas y la altitud. Según Julca-Otiniano et al. (2023), en el país se cultivan, mayormente, variedades susceptibles a la enfermedad, a pesar de que deben existir más de cuarenta cultivares comerciales entre las llamadas “tradicionales”, como Típica, Caturra, Bourbon Rojo y Mundo Novo y las “modernas”, como Colombia, Costa Rica 95 (Catimores) y Obatá, Marsellesa y Limaní (Sarchimores). La respuesta de las variedades frente a la roya, en la selva central, ha sido estudiada por Borjas et al. (2020). La altitud es otro factor importante y se considera que la incidencia es mayor en las zonas bajas y menor en las zonas altas (Julca-Otiniano et al., 2013). Sin embargo, explicar la incidencia de la enfermedad, solamente, por la altitud supone que las parcelas cafetaleras son homogéneas y esto no siempre es así. Además, la altitud está asociada con la temperatura, que es la variable que, no solo condiciona la germinación sino también la formación del apresorio y el progreso del hongo en la hoja. El periodo de incubación se acorta, extremadamente, en los meses con temperaturas favorables para la germinación. Zambolim (2015), señala que en Brasil la enfermedad puede ser menos grave a alturas superiores a 1.200 m s.n.m., y en Colombia la enfermedad por encima de los 1.600 m de altitud no requiere control (Rivillas et al., 2005).

La mayor frecuencia de las epidemias en los cultivos agrícolas sugiere la necesidad de más investigaciones sobre la relación cambio climático, plagas, enfermedades y producción de café (Guerrero-Carrera et al., 2020). En el año 2013, como posibles causas, se sugirieron el cambio climático y la aparición de nuevas razas de *H. vastatrix* en territorio peruano; sin embargo, no se tiene referencias de estudios que ayuden a demostrar estas hipótesis. Lo que si se conoce es que, en el Perú, tradicionalmente, se tuvo una clasificación que consideraba tres pisos cafetaleros; pero, en los últimos años, se estima que casi el 70% del cultivo de café se encuentra a más de 1.000 m s.n.m. porque se asocia con la calidad de taza. También se sabe que cuando se ha evaluado la incidencia de la roya del café en diferentes pisos altitudinales, en la selva central, con la variedad Caturra Roja, los resultados han diferido de un año a otro (Julca-Otiniano et al., 2009). Pero han estado dentro de lo esperado en el Cusco con la variedad Típica (Márquez y Julca-Otiniano, 2015).

Un aspecto que no se considera (o muy poco) en el estudio de la roya es que los agroecosistemas cafetaleros en el Perú son muy diversos, complejos y dinámicos; que terminan generando condiciones microclimáticas que no están siendo, adecuadamente, evaluadas cuando se estudia la enfermedad y es necesario hacerlo. Autores como Machado y Ríos

(2016), señalan que las fincas cafetaleras son áreas pequeñas, con relieve complejo y escasa información sobre aspectos biofísicos, de composición y estructura arbórea. Esto impide saber en qué estado se encuentra el agroecosistema, lo que limita la toma de decisiones para sumanaje, mejoramiento y conservación.

Para un análisis más comprensivo de los impactos del cambio climático sobre la producción de café, los estudios deberán considerar la complejidad de factores que intervienen en este tipo de agroecosistemas (Guerrero-Carrera et al., 2020). Por ello, es necesario realizar estudios que expliquen mejor la situación de esta enfermedad en cada una de las regiones cafetaleras del Perú; ello, como base para el diseño adecuado de los programas de manejo. Este trabajo de investigación se realizó en el marco del proyecto: “Estudio de la variabilidad genética y caracterización de la roya del café (*Hemileia vastatrix* L.) en el Perú, como base para el desarrollo de un programa de manejo integrado de la enfermedad en un contexto de cambio climático”. Fue financiado por PROCENCIA y tuvo como objetivo estudiar la relación de la roya del café con las principales características de los cafetales en la selva peruana.

Materiales y métodos

En el marco de un proyecto para estudiar la variabilidad genética de la roya del café, en el Perú, se colectaron muestras de hojas de plantas de café con roya en los campos de agricultores de diferentes zonas productoras del país. Las fincas visitadas, fueron seleccionadas por el especialista local de del Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), un profesional conocedor de los problemas sanitarios del cultivo de café en cada zona estudiada. El muestreo se realizó del 8 al 14 de enero de 2023 (selva sur); del 20 al 28 de enero de 2023 (selva norte) y del 5 al 11 de febrero de 2023 (selva central). Durante el periodo de muestro, las plantas estaban en diferentes etapas de desarrollo del fruto, ya que esta varía, principalmente, por la altitud en que está ubicada el cafetal. En total se tomaron 1.023 muestras de hojas de café [1 hoja = 1 muestra], provenientes de la selva norte [n=318], selva central [n=439] y selva sur [n=266]. Por la naturaleza del estudio principal, solamente se muestrearon al azar plantas de café con síntomas visibles de la enfermedad; la hoja colectada siempre correspondió a la de mayor severidad y no se consideró su ubicación en la planta. En cada muestreo se tomó nota de la severidad, variedad muestreada, la altitud de la finca, la edad de la plantación y el sistema de producción (convencional u orgánico); en ningún caso se evaluó la incidencia de la enfermedad. Los datos registrados se organizaron de tal forma que permitiera realizar el análisis estadístico respectivo (Tabla 1).

Tabla 1. Organización de los datos del muestreo de roya de café en diferentes zonas cafetaleras del Perú

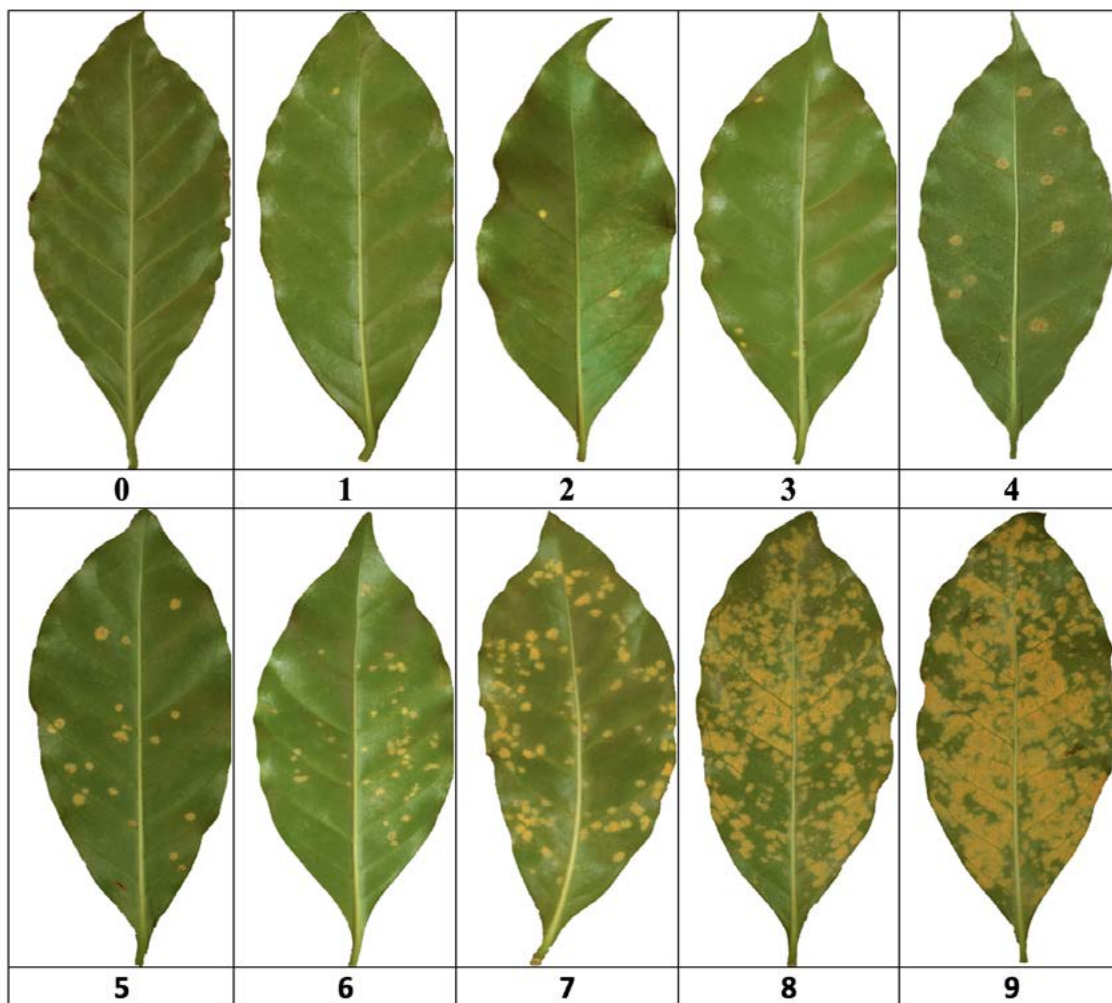
Table 1. Organization of coffee rust sampling data from different coffee growing areas in Peru

Zona	Variedades	Altitud (msnm)	Edad (años)	Sistema de producción
Selva norte (Cajamarca)	1: Típica	A1: 1433 - 1587	E1: 03 - 10	1: Convencional
	2: Geisha	A2: 1588 - 1742	E2: 11 - 17	2: Orgánico
	3: Caturra Roja	A3: 1743 - 1897	E3: 18 - 25	-
	4: Caturra Amarilla	-	-	-
	5: Borbón	-	-	-
	6: Oro Azteca	-	-	-
	7: Colombia	-	-	-
	8: Catuai	-	-	-
	9: Pache	-	-	-
Selva central (Junín, Pasco)	1: Típica	A1: 920 - 1150	E1: 03 - 08	1: Convencional
	2: Geisha	A2: 1151 - 1381	E2: 09 - 14	2: Orgánico
	3: Catimor	A3: 1382 - 1614	E3: 15 - 20	-
	4: Caturra	-	-	-
	5: Borbón	-	-	-
	6: Pacamara	-	-	-
	7: Limaní	-	-	-
Selva sur (Cusco)	1: Típica	A1: 1426 - 1580	E1: 02 - 12	1: Convencional
	2: Geisha	A2: 1581 - 1735	E2: 03 - 23	2: Orgánico
	3: Catimor	A3: 1736 - 1905	E3: 24 - 35	-

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Para el muestreo de hojas con roya, se siguieron las recomendaciones del Centro de Investigación de la Roya del Café (CIFC), de Portugal; es decir, se tomaron hojas con pústulas de color naranja desarrolladas, con esporas visibles, sin presencia del hiperparásito *Verticillium lecanii* y sin manchas necróticas (Várzea et al., 2023). Para medir la severidad, se usó la escala gráfica propuesta por Eskes (1983) (Figura 1).

Figura 1. Escala para evaluar la severidad de la roya del café en hojas individuales
Figure 1. Scale for assessing the severity of coffee leaf rust on single leaves



Fuente: elaboración propia en base a Eskes (1983). Source: own elaboration based on Eskes (1983).

El análisis estadístico se hizo como si fuera un Diseño Completamente al Azar (DCA) para cada zona cafetalera, considerando como tratamientos las variedades, edad de plantación, sistemas de producción y pisos altitudinales. Se hizo un Análisis de Varianza (ANVA) y la Prueba de Duncan ($P \leq 0.05\%$) con la ayuda del programa estadístico Statgraphics 18-X64.

Resultados

Severidad por variedades. La Tabla 2 muestra que las variedades cultivadas en cada zona de estudio difieren en la cantidad y en la frecuencia con la que una variedad está presente, comparada con las otras. En la selva norte se reportaron nueve variedades y la más frecuente fue Típica, que representó el 49.7% de las muestras; Geisha fue la menos frecuente (0.9%). En la zona central se reportaron siete variedades y la más frecuente fue Caturra, que representó el 33.7% de las muestras; Limaní fue la menos frecuente (2.5%). En el sur se reportaron tres variedades, siendo la más frecuente Típica, que representó el 69.2 % de las muestras y Catimor, que fue la menos frecuente (7.9%). La Tabla 2 también muestra que en

el norte las variedades Borbón, Caturra Amarilla, Caturra Roja y Típica tuvieron grados de severidad, estadísticamente, similares entre sí; pero mayores que los grados de severidad encontrados en el otro grupo de variedades conformado por Catuaí, Geisha, Colombia, Oro Azteca y Pache que, a su vez, tuvieron valores, estadísticamente similares, entre sí. En la selva central las variedades Limaní, Geisha, Catimor y Borbón tuvieron grados de severidad, estadísticamente, similares entre sí, pero mayores que los grados de severidad encontrados en las variedades Caturra y Típica que fueron similares a Pacamara, que tuvo la severidad más baja. En el sur, las tres variedades reportadas tuvieron valores de severidad, estadísticamente, diferentes entre sí.

Tabla 2. Severidad de la roya del café en diferentes variedades, según zona cafetalera
Table 2. Severity of coffee rust in different varieties, according to coffee-growing zone

Zona	Variedades	Frecuencia (%)	Severidad* (0-9)
Selva norte (Cajamarca)	1: Típica	49.7	5.59 a
	2: Geisha	0.9	5.00 b
	3: Caturra Roja	22.9	5.84 a
	4: Caturra Amarilla	4.7	6.00 a
	5: Borbón	15.4	6.00 a
	6: Oro Azteca	1.6	5.00 b
	7: Colombia	1.9	5.00 b
	8: Catuaí	1.3	5.00 b
	9: Pache	1.6	5.00 b
Selva central (Junín, Pasco)	1: Típica	14.4	5.76 b
	2: Geisha	8.6	6.00 a
	3: Catimor	22.8	6.00 a
	4: Caturra	33.7	5.84 b
	5: Borbón	11.4	6.00 a
	6: Pacamara	6.6	5.00 c
	7: Limaní	2.5	6.00 a
Selva sur (Cusco)	1: Típica	69.2	5.33 b
	2: Geisha	22.9	6.00 a
	3: Catimor	7.9	5.05 c

*Prueba de Duncan ($P \leq 0.05\%$). Fuente: elaboración propia. *Duncan test ($P \leq 0.05\%$). Source: own elaboration.

Severidad por edad de plantación. La Tabla 3 muestra que los rangos de edad del cafetal cambiaron de una zona cafetalera a otra. En el norte, la edad de los cafetales estuvo entre 3 y 25 años, pero la mayor frecuencia de parcelas estuvo en el primer rango de edad (70.4%); en este caso de 3 a 10 años. En la Selva Central, la edad de los cafetales estuvo entre 3 a 20 años, pero la mayor cantidad de parcelas (62.2%) estuvo en el tercer rango de edad; en este caso de 15 a 20 años. En la zona sur, la edad de los cafetales estuvo entre 2 a 35 años, pero la mayor cantidad de parcelas (43.4 %) estuvo en el primer rango de edad; es decir, de 2 a 12 años. La severidad en la zona norte fue mayor en el tercer rango de edad y la menor

en las parcelas del grupo más joven; ambos valores fueron, estadísticamente, diferentes. La severidad en la selva central fue menor en las parcelas del grupo más joven; estadísticamente, diferente a los valores encontrados en los cafetales de los grupos de mayor edad. En el Cusco no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los grados de severidad reportados en los cafetales de los tres grupos de edad, tal como se muestra en Tabla 3.

Tabla 3. Severidad de la roya del café en cafetales de diferentes edades, según zona cafetalera
Table 3. Severity of coffee rust in coffee trees of different ages, according to coffee-growing zone

Zona	Edad (años)	Frecuencia (%)	Severidad* (0-9)
Selva norte (Cajamarca)	E1: 03 - 10	70.4	5.63 b
	E2: 11 - 17	24.8	5.81 ab
	E3: 18 - 25	4.7	6.00 a
Selva central (Junín, Pasco)	E1: 03 - 08	30.5	5.61 b
	E2: 09 - 14	7.3	6.00 a
	E3: 15 - 20	62.2	5.94 a
Selva sur (Cusco)	E1: 02 - 12	43.4	5.29 a
	E2: 03 - 23	21.9	5.36 a
	E3: 24 - 35	34.7	5.32 a

*Prueba de Duncan ($P \leq 0.05\%$). Fuente: elaboración propia. *Duncan test ($P \leq 0.05\%$). Source: own elaboration.

Severidad por sistema de producción. La Tabla 4 muestra que, en la selva norte, el sistema de producción mayoritario es el convencional (95.3%). Los resultados fueron los mismos en el sur; es decir, el sistema de producción mayoritario es el convencional (95.8%) comparado con el orgánico. En la selva central, todas las parcelas de café muestreadas fueron convencionales. La severidad en la zona norte y en el sur fue, significativamente, mayor en el sistema de producción orgánico. En la selva central no se pudieron hacer comparaciones entre sistemas de producción, porque en el muestreo no se tuvieron parcelas donde el cafetal fuera manejado bajo un sistema de producción orgánica.

Tabla 4. Severidad de la roya del café en diferentes sistemas de producción, según zona cafetalera
Table 4. Severity of coffee rust in different production systems, by coffee-growing zone

Zona	Sistema de producción	Frecuencia (%)	Severidad* (0-9)
Selva norte (Cajamarca)	Convencional	95.3	5.70 b
	Orgánico	4.7	6.00 a
Selva central** (Junín, Pasco)	Convencional	100.0	-
	Orgánico	0.0	-
Selva sur (Cusco)	Convencional	95.8	5.29 b
	Orgánico	4.2	5.73 a

*Prueba de Duncan ($P \leq 0.05\%$). **No se hizo Prueba de Duncan porque las muestras solo correspondieron al sistema de producción convencional. Fuente: elaboración propia. *Duncan test ($P \leq 0.05\%$). **Duncan test was not performed because the samples only corresponded to the conventional production system. Source: own elaboration.

Severidad por pisos altitudinales. La Tabla 5 muestra que los rangos de pisos altitudinales, donde se ubican los cafetales, cambian de una zona cafetalera a otra. En la selva norte, el rango estuvo entre 1433 a 1.897 m s.n.m. pero la mayor cantidad de parcelas (55%) estuvo en el segundo rango de altitud; en este caso de 1588 a 1742 m s.n.m. En el centro, el rango estuvo entre 920 a 1614 m s.n.m. y la distribución de los cafetales, por altitud, fue similar en los niveles A1 y A2; la menor cantidad de cafetales está en el nivel A3, es decir de 1382 a 1614 m s.n.m. En el sur, el rango estuvo entre 1426 a 1905 m s.n.m. y la distribución de los cafetales, por altitud, fue similar en los tres niveles; aunque con una ligera mayoría (35.7%) en el primer rango de altitud, en este caso de 1426 a 1580 m s.n.m. En el norte, la severidad fue, estadísticamente, similar en los pisos altitudinales A1 y A3, pero mayores estadísticamente cuando se les compara con el A2. En la selva central, la severidad fue, estadísticamente, similar entre los niveles extremos A1=A3; que fueron, estadísticamente, menores que el rango de altitud A2. Mientras, en el sur, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los grados de severidad reportados en los tres niveles de altitud (Tabla 5).

Tabla 5. Severidad de la roya del café en diferentes pisos altitudinales, según zona cafetalera
Table 5. Severity of coffee rust at different altitudinal levels, according to coffee-growing zone

Zona	Altitud (msnm)	Frecuencia (%)	Severidad* (0-9)
Selva norte (Cajamarca)	A1: 1433 - 1587	32.7	5.90 a
	A2: 1588 - 1742	55.0	5.49 b
	A3: 1743 - 1897	12.3	6.00 a
Selva centro (Junín, Pasco)	A1: 920 - 1150	39.8	5.75 b
	A2: 1151 - 1381	39.2	6.00 a
	A3: 1382 - 1614	21.0	5.75 b
Selva sur (Cusco)	A1: 1426 - 1580	35.7	5.31 a
	A2: 1581 - 1735	31.6	5.27 a
	A3: 1736 - 1905	32.7	5.37 a

*Prueba de Duncan ($P \leq 0.05\%$). Fuente: elaboración propia. *Duncan test ($P \leq 0.05\%$). Source: own elaboration.

Discusión

Los resultados muestran lo diverso y complejo que son los agroecosistemas cafetaleros en el Perú. Por ejemplo, la presencia de muchas variedades comerciales de café, que ya ha sido reportada anteriormente. Incluso, hace más de una década, se presentó un mapa de distribución de las principales variedades, pero se señalaba que esa distribución no es sinónimo de mayor área cultivada, porque en una finca cafetalera un agricultor puede tener más de cinco variedades mezcladas y con un número de plantas diferente, para una variedad frente a otra (Julca-Otiniano et al., 2023); no obstante, las variedades susceptibles a la roya siguen siendo las más cultivadas.

La respuesta diferente de las variedades frente a esta enfermedad también ha sido estudiada por Borjas et al. (2020) en la selva central. Estos autores encontraron que la mayor severidad correspondió a Maragogype, con 15.8%; valor, estadísticamente, superior a los encontrados en las demás variedades. Mundo Novo, con una severidad del 10% fue, es-

estadísticamente, similar a Catuaí y Geisha, que tuvieron valores superiores al 11%. Catimor, Pache, Caturra, Bourbon y Típica tuvieron valores inferiores al 10% y fueron, estadísticamente, similares; destacándose Catimor, con un valor aproximado del 5%. Pacamara fue la variedad en la que se encontró menor severidad, con un valor de 1.3%; estadísticamente, diferente al resto de las variedades estudiadas.

En relación con los rangos de altitud en los que se ubican los cafetales, los resultados muestran que la clasificación tradicional de los tres pisos cafetaleros (bajo (600 - 900 m s.n.m.), medio (900 - 1.400 m s.n.m.) y alto (> 1.400 m s.n.m.)), ha cambiado en las tres zonas, pero con mayor énfasis en la selva norte y sur, donde el rango de pisos altitudinales está por encima de los 1.400 m s.n.m. Pero explicar la incidencia de la roya solamente por la altitud supone que las parcelas cafetaleras son homogéneas y, como se ha encontrado, estas son muy diversas, complejas y dinámicas y terminan generando condiciones microclimáticas que no están siendo considerados, adecuadamente, cuando se evalúa la enfermedad. Quizá, por ello, cuando se ha evaluado la incidencia de la roya del café en diferentes pisos altitudinales, los resultados no han sido muy claros. Por ejemplo, en un estudio realizado en café variedad Caturra Roja, en la selva central, se encontró que la incidencia de la roya en tres pisos altitudinales fue variable durante el periodo de evaluación. En el 2006, la mayor incidencia correspondió a la localidad de Villa Rica (1.536 m s.n.m.), comparada con la de San Ramón (1.258 m s.n.m.) y Satipo (981 m s.n.m.); al año siguiente fue similar en Villa Rica y San Ramón y menor en Satipo; pero el 2008 fue mucho mayor en Satipo, seguido de San Ramón y Villa Rica (Julca-Otiniano et al., 2009).

Sin embargo, en un estudio realizado con la variedad Típica, en el sur del Perú (Cusco), se encontró que la incidencia de esta enfermedad fue mayor en la zona baja (1.000 m s.n.m.), seguida de la zona media (1.300 m s.n.m.) y alta (1.600 m s.n.m.); valores que fueron, estadísticamente, diferentes (Márquez y Julca-Otiniano, 2015). En Colombia, se ha señalado que la enfermedad por encima de los 1600 m de altitud no requiere control (Rivillas et al., 2005). Sin embargo, en el mismo país se ha reportado que la disminución de la diferencia, entre las temperaturas diarias máximas y mínimas, por efecto del Fenómeno de La Niña y la presencia constante de humedad en las hojas, hacen que la enfermedad presente niveles altos, con características de epidemia, en zonas por encima de los 1.600 m s.n.m. Llegando, en algunos casos, a registrarse paloteo, por efecto de esta enfermedad, hasta en altitudes superiores a 2.000 m. Por ello, en la actualidad se recomienda que el seguimiento y control de la enfermedad sea riguroso en cualquier condición altitudinal donde se cultive café (Rivillas, 2015).

La migración del café a pisos altitudinales mayores en el Perú se ha dado por la búsqueda de bebidas de buena calidad ("café de altura" = café de calidad"). Este fenómeno ha sido reportado en Brasil y otros en países, como Costa Rica, Guatemala y Honduras, donde los granos se clasifican según la elevación del lugar (Da Mata et al., 2007), pero cuando el café migró a las partes más altas, es lógico suponer que también migraron sus patógenos. Además, las condiciones ambientales favorables para el cultivo del café, también los son para el patógeno (Rivillas et al., 2005). Esto explicaría porque la enfermedad alcanza niveles de severidad importantes en pisos altitudinales altos y no, necesariamente, se debe a la aparición de nuevas razas, específicas para esas altitudes. Las uredosporas son transportadas a más de 1.000 m de altura por las corrientes de aire y, por lo tanto, pueden llegar a las fincas situadas a miles de kilómetros de distancia (Zambolim, 2015). Aunque en el Perú se han re-

portado cinco razas conocidas (I, XXIII, XXIV, XXXIV y XXXV) y 2 nuevas razas de *H. vastatrix* (Julca-Otiniano et al., 2024), no se conoce su distribución geográfica. En Brasil se analizaron 120 aislamientos de las poblaciones de *H. vastatrix* y no se encontró una asociación entre el origen del aislamiento con la región de estudio (Nunes et al., 2009).

No se tiene referencias de la relación, entre la severidad de esta enfermedad y la edad de los cafetales, pero en este estudio el valor más bajo siempre correspondió a las parcelas más jóvenes y se incrementó en los cafetales de mayor edad; aunque ese incremento no siempre fue estadísticamente significativo. Este incremento de la severidad en los cafetales viejos se explicaría por una mayor intensidad de ataque de *H. vastatrix* en la menor cantidad de follaje que tienen las plantas más viejas y por la pérdida de capacidad de defensa de esas plantas, de mayor edad, al ataque del patógeno. Además, es de esperar que las plantas de mayor edad y con menor follaje se estresen más fácilmente. López (2010), señala que, si la planta sufre un estrés antes que se depositen las uredosporas, aumenta la predisposición de las hojas a la infección del hongo. Una relación, entre la severidad de la enfermedad y la edad de las plantas, ha sido reportada en otros patosistemas. Por ejemplo, para el caso del tabaco negro la edad de la planta explicó el 30% de la severidad del daño causado por *Cercopora nicotianae* en hojas de este cultivo, en la región San Martín en Perú (Julca-Otiniano et al., 2008).

Una mayor severidad de la roya del café en los cafetales orgánicos, comparados con los convencionales, es contrario al reporte de Márquez y Julca-Otiniano (2015) que, en el Cusco, en variante Típica, encontraron que la incidencia fue mayor en la parcela de café convencional comparada con la de café orgánico; diferencias que fueron, estadísticamente, significativas. Aunque en ensayos con la variedad Caturra Roja, en tres localidades de la selva central y en dos campañas cafetaleras, no se encontraron diferencias estadísticas en la incidencia de la enfermedad en parcelas abonadas con productos orgánicos y comparadas con un testigo sin tratar. Ello, con excepción de la localidad de Villa Rica, donde se encontraron diferencias estadísticas, tanto al inicio como al final del estudio (Julca-Otiniano et al., 2009). En todo caso, la diferencia de la incidencia de esta enfermedad en estos dos sistemas de producción no es muy clara. Autores como Van Der Vossen (2005), señalan que la producción orgánica es un sistema de producción respetuoso con el medio ambiente, pero no necesariamente reduce la incidencia de plagas y enfermedades por debajo de umbrales económicamente dañinos. Otros autores son más específicos y consideran que una de las limitaciones más importantes de este sistema de producción es el manejo de enfermedades; especialmente, de la roya del café (De Resende et al., 2021). Y es que *H. vastatrix* es un patógeno difícil de manejar y es el mismo que está presente, tanto en plantaciones convencionales como orgánicas, como se ha demostrado en Brasil (Nunes et al., 2009).

Conclusiones

Las características de los agroecosistemas cafetaleros en el Perú (variedades, pisos altitudinales, edad de plantación y sistema de producción) difieren de una región a otra y los hace complejos y dinámicos, estas tienen un efecto importante en los niveles que alcanza la roya del café. Por ello, para el diseño de programas de manejo integrado de esta enfermedad, los técnicos primero deben conocer con detalle estos agroecosistemas; así, los programas responderán a las características propias de estos y aumentarán las posibilidades de obtener mejores resultados.

Financiamiento

Este trabajo de investigación se realizó en el marco del proyecto: “Estudio de la variabilidad genética y caracterización de la roya del café (*Hemileia vastatrix* L.) en el Perú, como base para el desarrollo de un programa de manejo integrado de la enfermedad en un contexto de cambio climático”, financiado por PROCENCIA, Convenio N° PE501078996-2022.

Agradecimientos

Los autores y las autoras agradecen a PROCENCIA por el financiamiento del proyecto: “Estudio de la variabilidad genética y caracterización de la roya del café (*Hemileia vastatrix* L.) en el Perú como base para el desarrollo de un programa de manejo integrado de la enfermedad en un contexto de cambio climático”, que ha permitido la ejecución de este trabajo. También al Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) por su apoyo durante el trabajo de colecta en las diferentes zonas cafetaleras del país.

Bibliografía

- Borjas-Ventura, R., Alvarado-Huamán, L., Castro-Cepero, V., Rebaza-Fernández, D., Gómez-Pando, L. y Julca-Otiniano, A. (2020). Behavior of Ten Coffee Cultivars against *Hemileia vastatrix* in San Ramón (Chanchamayo, Peru). *Agronomy*, 10, 1867. DOI [10.3390/agronomy10121867](https://doi.org/10.3390/agronomy10121867)
- Da Matta, F.M., Ronchi, C.P., Maestri, M. y Barros R.S. (2007). Ecophysiology of Coffee Growth and Production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 485-510. DOI [10.1590/S1677-04202007000400014](https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014)
- De Resende, M.L.V., Pozza, E.A., Reichel, T. y Botelho, D.M.S. (2021). Strategies for Coffee Leaf Rust Management in Organic Crop Systems. *Agronomy*, 11, 1865. DOI [10.3390/agronomy11091865](https://doi.org/10.3390/agronomy11091865)
- Eskes, A. (1983). *Incomplete Resistance to Coffee Leaf Rust (Hemileia vastatrix)*. CIFC y FAO.
- Guerrero-Carrera, J., Jaramillo-Villanueva, J.L., Mora-Rivera, J., Bustamante-González, A., Vargas-López, S. y Chulim-Estrella, N. (2020). Impacto del cambio climático sobre la producción de café. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3), 1-18.
- Julca-Otiniano, A., Alvarado-Huamán, L., Castro-Cepero, V., Borjas-Ventura, R., Gómez-Pando, L., Pereira, A.P., Nielen, S., Ingelbrecht, I., Silva, M.C. y Várzea, V. (2024). New Races of *Hemileia vastatrix* Detected in Peruvian Coffee Fields. *Agronomy*, 14, 1811. DOI [10.3390/agronomy14081811](https://doi.org/10.3390/agronomy14081811)
- Julca-Otiniano, A., Alvarado-Huamán, L., Castro-Cepero, V., Borjas-Ventura, R., León-Rojas, F., Valderrama-Palacios, D., Bello-Amez, S. (2023). Variedades de café (*Coffea arabica*), una revisión y algunas experiencias en el Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(2), 134-155. DOI [10.53287/ruyx4519vm15b](https://doi.org/10.53287/ruyx4519vm15b)

- Julca-Otiniano, A., Echevarría, C., Ladera, Y., Borjas, R., Cruz, R., Bello, S. y Crespo, R. (2013). *Una revisión sobre la roya del café (Hemileia vastatrix) algunas experiencias y recomendaciones para el Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Julca-Otiniano, A., Julca, N., Blas, R. Bello, S., Carhuallanqui, R. y Crespo, R. (2008). Experiencias para el manejo integrado de *Cercospora nicotianae* Ellis & Everh en tabaco negro, localidad de Juan Guerra, Tarapoto, Perú. *Idesia*, 26(1), 15-27. DOI [10.4067/s0718-34292008000100003](https://doi.org/10.4067/s0718-34292008000100003)
- Julca-Otiniano, A., Meneses, L., Rodríguez, P., Bello, S., Anahui, J., Julca, N., Borjas, R., Crespo, R., Santibáñez, R., Fundes, G., Fundes, D. y Reynoso, A. (2009). *Selección de fuentes naturales para la fertilización de café en el marco de una agricultura orgánica (Resultados de ensayos en vivero y campos comerciales). Informe Final de proyecto financiado por INCAGRO*. Universidad Agraria La Molina.
- López, D. (2010). *Efecto de la carga fructífera sobre la roya (Hemileia vastatrix) del café, bajo condiciones micro climáticas de sol y sombra en Trurrialba, Costa Rica*. Tesis de magíster. CATIE.
- Machado, V.M.M. y Ríos, O. (2016). *Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: Revisión sistemática*. *Idesia*, 32(2), 15-23. DOI [10.4067/S0718-34292016005000002](https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000002)
- Márquez, F. y Julca-Otiniano, A. (2015). Café orgánico y convencional en tres pisos altitudinales en la provincia de La Convención, Cusco, Perú. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 31(3), 188-196.
- Nunes, C.C., Maffia, L.A., Mizubuti, E.S.G., Brommonschenkel S.H. y Silva, J.C. (2009). Genetic Diversity of Populations of *Hemileia vastatrix* from Organic and Conventional Coffee Plantations in Brazil. *Australasian Plant Pathology*, 38, 445-452. DOI [10.1071/ap09021](https://doi.org/10.1071/ap09021)
- Rivillas, C.A. (2015). Acciones emprendidas por Colombia en el manejo de la Roya del Cafeto. En FAO, *Manejo agroecológico de la roya del café* (pp. 11-16). FAO.
- Rivillas, C.A., Leguizamón, J.E., Gil, L.F. y Duque, H. (2005). *Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia*. Cenicafé Boletín Técnico 19.
- Van Der Vossen, H.A.M. (2005). A Critical Analysis of the Agronomic and Economic Sustainability of Organic Coffee Production. *Experimental Agriculture*, 41(4), 449-473. DOI [10.1017/S0014479705002863](https://doi.org/10.1017/S0014479705002863)
- Várzea, V., Pereira, A.P. y Silva M. (2023). Screening for Resistance to Coffee Leaf Rust. En I.L.W. Ingelbrecht, M.C. Lavado da Silva y J. Jankowicz-Cieslak (Eds.), *Mutation Breeding in Coffee with Special Reference to Leaf Rust* (pp. 209-224). Springer. DOI [10.1007/978-3-662-67273-0_15](https://doi.org/10.1007/978-3-662-67273-0_15)
- Zambolim, L. (2015). La Roya del Cafeto en Brasil. En FAO, *Manejo agroecológico de la roya del café* (pp. 7-10). FAO.