

LA ROYA, implacable enemigo del café

JUAN F. BARRERA, Investigador Titular, El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Antiguo Aeropuerto km 2.5, Tapachula, Chiapas, CP 30700 México. Correo electrónico: jbarrera@ecosur.mx



Introducción

A principios de 2017, el Instituto Hondureño del Café (IH-CAFÉ) anunció que la variedad de café Lempira perdió la resistencia a la roya del café *Hemileia vastatrix* Berk. et Br.; el IHCAFÉ atribuyó la susceptibilidad de esta variedad –hasta entonces resistente– a la presencia de una nueva raza de roya (La Tribuna 2017, Romero Murillo 2017). Para el mundo del café de la región, esta noticia es alarmante en grado sumo si se considera que ha pasado poco más de cuatro años del denominado “brote atípico” de la enfermedad ocurrido en 2012 en Centroamérica y México (Barrera et al. 2013), cuyo impacto orilló a la cafeticultura de la mayoría de estas naciones a una crisis sin precedentes (Avelino et al. 2015), de la cual apenas se vislumbran signos de recuperación. En el caso de México ¿Qué se puede esperar en el futuro cercano y qué será de la cafeticultura en las próximas décadas, si parte importante del parque cafetalero está resguardado –o se está resguardando– a través de variedades hasta ahora consideradas resistentes o tolerantes a la roya? A fin de arribar a posibles respuestas –o por lo menos a vislumbrar los derroteros que la cafeticultura mexicana podría o debería tomar–, en este artículo se revisará la problemática que representa este patógeno; como se verá, la roya provoca una enfermedad cuyas causas y efectos son multifactoriales, y por lo mismo, la complejidad del problema dificulta su comprensión y manejo. Tras la imposibilidad de erradicar a la roya una vez que se detecta y establece en una región, los esfuerzos se han encaminado en tres direcciones principales, mismas que serán abordadas en este artículo: uso de fungicidas (químicos y biológicos); siembra de plantas resistentes (mejoramiento genético); y modificación del hábitat (prácticas culturales) para incrementar el vigor de las plantas (p. e. nutrición) o disminuir las condiciones que requiere el patógeno para su desarrollo (p. e. manejo de la sombra). No se dejará de lado el cambio climático, elemento catalizador que amenaza con dinamizar el sistema del triángulo de la enfermedad que comprende la interacción planta-patógeno-ambiente. Para empezar, se abordará el contexto histórico que antecede a la delicada situación actual a la que nos ha llevado la roya, este implacable enemigo del café.

El regreso de la roya

La roya del café es un problema añejo que nos ha vuelto a estallar en las manos. En efecto, en el siglo XIX la roya arrasó la cafeticultura de Ceylán (hoy Sri Lanka) y desde entonces quedó manifiesto su poder destructivo, a tal grado que, según Villaseñor Luque (1979), fue considerada “entre las 7 pestes y enfermedades más importantes de los últimos 100 años” y comparada “con las 10 plagas de Egipto relatadas en la Biblia”. Tras el descubrimiento de *H. vastatrix* en Ceylán en 1869 –probablemente introducida en plantas infectadas de África del Este por expedicionarios británicos (Wrigley 1988)–, Schieber (1972) menciona que bastaron cuatro años para que este patógeno destruyera su cafeticultura y solo 28 años para que la isla dejara de exportar café, reduciendo la producción de 700 mil a 50 mil sacos de 60 kg; con respecto a la superficie sembrada con café, ésta se redujo de casi 70 mil hectáreas en 1866-1868 a unas 14 mil hectáreas en 1893-1895, sustituyéndose gran parte del cultivo de café por té y hule hacia 1890. Como se comprenderá, una historia tan funesta como ésta vaticinaba tiempos oscuros para los productores de café de otras regiones, pues para muchos fue evidente que tarde o temprano la roya llegaría al Nuevo Mundo.

Por casi 100 años, la cafeticultura de América Latina y el Caribe prosperó libre de *H. vastatrix* hasta que el 17 de enero de 1970 se hizo el primer reporte de la roya cerca de Itabuna, Bahía en Brasil (Schieber 1972). Con la presencia de la roya en el gigante cafetalero, las alarmas sonaron nuevamente y los países del resto del continente reforzaron los programas preventivos ante la inevitable invasión del patógeno, que a Centroamérica habría de llegar por Nicaragua el 2 de diciembre de 1976 y a México por el Soconusco, Chiapas el 11 de julio de 1981.

Y, sin embargo, la temida roya fue un fiasco; es decir, su llegada a Centroamérica y México no ocasionó el impacto negativo pronosticado, pues si bien estaba presente en los cafetales, sus daños pocas veces representaron un riesgo para la producción. Aquellos fueron tiempos de convivir con



el enemigo, en aparente paz. En el caso de México, habrían de transcurrir 31 años –de 1981 a 2012– para que las cosas cambiaran de rumbo y, finalmente, *H. vastatrix* expresara todo su poder devastador. En efecto, en un hecho sin precedentes en territorio nacional, en 2012 los niveles de infestación de la roya en el Soconusco se incrementaron abruptamente poco antes de iniciar la maduración de la cosecha, con el consabido impacto en la producción (Barrera et al. 2013). Después, otras zonas cafetaleras del estado y país verían replicar la tragedia. Dos mil doce se recordará como el año del regreso de la roya –aunque ésta nunca estuvo realmente ausente– y ha significado un parteaguas en la historia de la cafecultura mexicana.

El patógeno

Entender al patógeno en su interacción con su planta hospedera y con las condiciones ambientales que favorecen o limitan su desarrollo, y en consecuencia que afectan el grado de manifestación de la enfermedad, es fundamental para su manejo. Con casi 150 años de interacción con el ser humano, la roya ha sido una de las primeras y más estudiadas enfermedades de plantas (Talhinhas et al. 2017). Se estima que las pérdidas son del orden de 30% si no se controla, pero que pueden alcanzar 100% si ocurre un ataque muy fuerte (Gaytán et al. 2015).

De acuerdo con la nueva clasificación, *H. vastatrix* es un hongo del tipo de las royas primitivas que pertenece a la familia Chaconiaceae del orden Uredinales, cuya estructura reproductiva, la espora –uredospora–, tiene forma de riñón con su cara superior cubierta de espinas y la inferior sin ellas, característica que le valió el nombre de *Hemileia*, que se traduce como “mitad lisa”. De las casi 50 especies de *Hemileia* que existen, el café es atacado por dos: *H. vastatrix* y *H. coffeicola*, la primera de distribución mundial y la segunda limitada todavía a África. De 1861 data el primer reporte de *H. vastatrix* infectando café silvestre en la región del Lago Victoria en el Este de África, de donde se cree es originaria. La roya es un patógeno obligado y específico de especies del género

Coffea, es decir, infecta solo hojas vivas de estas plantas y no se puede cultivar en medios artificiales. Entre las especies comerciales de café, *C. arabica* es la más susceptible hacia la roya.

Siguiendo a Avelino y Rivas (2013), el ciclo vital de *H. vastatrix* y los factores que lo afectan se puede resumir así: 1) Diseminación. Una vez producidas, las uredosporas –o entidades infecciosas–, abandonan la lesión donde nacieron, lo cual ocurre a través de la acción de factores como viento, lluvia, insectos o personas como los cosechadores, que propician que éstas se despeguen del esporóforo que las originó y se diseminen cortas o largas distancias en el ambiente. 2) Infección. Al depositarse de 15 a 30 uredosporas por centímetro cuadrado en el envés de hojas jóvenes –flexibles y suaves al tacto–, si las condiciones de radiación (cero radiación u obscuridad), mojadura de la hoja (24 a 48 horas de agua libre) y temperatura (22 °C) son adecuadas, éstas germinan y con temperaturas entre 13 y 16 °C forman unas estructuras llamadas apresorios con las cuales se adhieren a estomas bien formados y se introducen a la hoja por ellas. Si la planta hospedera es susceptible, y se presentan condiciones ambientales óptimas, las uredosporas germinadas penetran en el tejido foliar a través de hifas o filamentos que forman el micelio o cuerpo vegetativo del hongo. Primero ocurre la invasión de las células de las estomas, proceso que facilitan los haustorios, unas estructuras por medio de las cuales el hongo comienza a alimentarse; en los cafetos resistentes la formación del primer haustorio desencadena las reacciones de defensa y se inhibe la infección. Después, ya establecido el hongo en la hoja hospedera, invade y se alimenta de los tejidos mediante la formación de hifas y más haustorios que, transcurridos entre 10 y 20 días, dan lugar a las lesiones amarillentas o primeros síntomas de la infección. Hasta aquí, se dice que el hongo está en proceso de incubación. Se ha encontrado que alta humedad en suelo y plantas con alta carga de frutos son factores que facilitan la infección. Y 3) Esporulación. Al madurar, el hongo se prepara para salir de la hoja, proceso que inicia cuando algunas hifas invaden una cámara subestomática y forman un grupo de células esporógenas o protosoro; eventualmente, algunas de estas células saldrán por la abertura de la estoma para dar lugar a un soró o pústula, donde se formará un esporóforo, estructura sobre la cual se producirán de manera continua –hasta la muerte de los tejidos de la hoja– las nuevas uredosporas. A partir de la estoma invadida se producirán más soros y éstos producirán más esporóforos y uredosporas que, con el paso del tiempo, darán origen al síntoma más característico de la infección: las lesiones anaranjadas. Ciertas estimaciones indican que una lesión puede contener de 15 mil a 50 mil soros que, se cree, pueden producir de 300 mil a 2 millones de uredosporas en tres meses, localizándose las uredosporas más viejas en el centro de las lesiones.

El ciclo comprendido desde la germinación hasta la esporulación se denomina periodo de latencia y dura 17.6 días a la temperatura óptima de 25 °C; dado que suelen ocurrir varios ciclos en la misma hoja hospedera y en un mismo ciclo de producción de café, la roya se catalogue como un patógeno de policiclos uredospóricos. Como podrá imaginarse, si la planta hospedera es susceptible y las condiciones del ambiente son las apropiadas –lo cual se cumple casi siempre durante el periodo de lluvias–, más corto será el periodo de

latencia, más ciclos uredospóricos sucederán y, al debilitarse las hojas por efecto de la infección, su sobrevivencia disminuirá, y el daño por la roya será mayor.

El fungicida ideal

Es altamente probable que, si los fungicidas actuales hubiesen existido en el siglo XIX, la roya no habría arrasado con la cafecultura de Ceylán ni de otras regiones que fueron afectadas en aquel entonces. Los fungicidas son sustancias o productos de origen químico o biológico que asperjados al follaje o incorporados al suelo se usan para inhibir o matar a hongos patógenos que afectan cultivos. Hoy día, se dispone de cierta diversidad de esos productos químicos, siendo los elaborados con cobre los más usados para proteger los cafetos susceptibles al ataque de la roya.

Existen dos grupos de fungicidas usados contra la roya, clasificados según tengan o no la capacidad de penetrar en las hojas de los cafetos: Los llamados fungicidas de “contacto”, es decir, aquellos que inhiben el desarrollo de las esporas al entrar en contacto con ellas; y los fungicidas “sistémicos”, llamados así porque ingresan a los tejidos de las plantas. Dado que los fungicidas de contacto permanecen en la superficie foliar, se deben usar *antes* que las esporas penetren a la planta, por ello se asperjan cuando éstas no se han depositado sobre las hojas; de esta manera actúan como “protectores”, pues las esporas que caen en las superficies tratadas no germinan. Si el hongo logra penetrar a la hoja, los fungicidas de contacto no serán eficaces en parar la infección, por lo tanto, se deben usar los fungicidas sistémicos, ya que éstos al matar al hongo invasor evitan que prosiga la infección, de allí que también se les denomine fungicidas “curativos”.

Uno de los fungicidas más antiguos conocidos y empleados contra las enfermedades de las plantas, entre ellas la roya del café, es el caldo bordelés —una mezcla de sulfato de cobre pentahidratado (1 kg), cal hidratada (1 kg) y agua (100 l)—, cuya creación se debe a Millardet, un profesor de botánica de la Universidad de Burdeos (Francia), que en 1885 anunció su uso contra el mildiú de la vid. En Brasil, se desarrolló otra mezcla fungicida enriquecida con nutrientes llamada caldo Viçosa, que también se usa para el control de la roya en número de hasta cinco aplicaciones por año; la mezcla —750 g



de sulfato de cobre pentahidratado, 300 g de sulfato de zinc, 400 g de sulfato de magnesio, 100 g de ácido bórico, 400 g cloruro de potasio, 350-550 g de hidróxido de calcio y pH de 5.6 a 5.8—, se prepara al momento de la aplicación y tiene la ventaja de controlar también a la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y proveer a la planta con cobre, zinc y boro (Zambolim 2016).

Otros productos a base de cobre como el oxiclورو de cobre, óxido de cobre y el hidróxido de cobre ganaron un lugar prominente en el control de este patógeno, tanto por su eficacia y disponibilidad como por su bajo costo, características que aún hoy los sitúan entre los fungicidas más usados en el control químico de la roya. Con respecto al caldo bordelés, Barberá (1976) señala que estos productos no requieren neutralización previa, no tapan las boquillas de los equipos de aspersión, se usan a dosis menores porque su contenido de cobre es alto (>50%), son menos fitotóxicos y son más compatibles con otros plaguicidas, lo que permite usarlos en mezclas.

Debe tomarse en cuenta que estos fungicidas son de contacto, por lo que su eficacia se ve disminuida conforme se deslava el producto con la lluvia y se producen nuevas hojas después del tratamiento; por lo tanto, para evitar la invasión es necesario hacer una buena aspersión, que incluye: un buen cubrimiento de la hoja con el producto y realizar aspersiones frecuentes (p.e. 3 a 5 aplicaciones en intervalos de 30 días principalmente de mayo a octubre). Sin embargo, el uso frecuente del cobre significa también enfrentarse a efectos colaterales indeseables como fitotoxicidad, acumulación de cobre en suelo y brotes explosivos de plagas como el minador de la hoja *Leucoptera coffeella* y el ácaro *Oligonychus ilisis* (Fulton 1984). Lo más recomendable es usar los fungicidas de contacto si la incidencia de roya (porcentaje de hojas con lesiones) es menor a 5% (Zambolim 2016). En México, se recomienda el uso del oxiclورو de cobre aplicado en focos e iniciando las aplicaciones antes de que se establezcan las lluvias, y asperjando hasta cuatro veces al año siempre y cuando así lo indique el muestreo de la incidencia de la roya (DGSV 2013).





Los fungicidas sistémicos, desarrollados desde inicios de la década de 1950, fueron un gran avance tecnológico en el control de las enfermedades de las plantas (Okioga 1975). Actualmente, los más usados en el control de la roya son del grupo de los azoles como cyproconazole, flutriafol, hexaconazole, propiconazole, tebuconazole y triadimefon; y las estrobilurinas (encontradas en el hongo *Strobilurus tenacellus*) como azoxystrobin y pyraclostrobin (Waller et al. 2007, Gaitán et al. 2015). La experiencia de Brasil, según Zambolim (2016), indica que estos productos químicos pueden aplicarse solos o en mezclas con estrobilurinas, ya sea al follaje o al suelo; cuando se aplican al suelo se hace en mezcla con insecticidas sistémicos para control del minador *L. coffeella* al inicio de las lluvias. Si la incidencia de roya está entre 5 y 10%, se usan dos aspersiones de fungicidas sistémicos a intervalo de 60 a 75 días, pero con incidencias superiores a 10% los sistémicos son ineficaces a menos que se usen alternados con fungicidas cúpricos. Valga la pena decir que los fungicidas sistémicos son más caros que los fungicidas de contacto.

Otros productos que merecen ser citados, aunque su uso es más restringido, local o de menor efectividad que los antes mencionados, son los extractos vegetales y los silicatos de potasio y calcio. También, ciertos antagonistas como *Bacillus thuringiensis*, *B. subtilis*, *Pseudomonas putida* y *Lecanicillium lecanii*, han mostrado efectos de control interesantes sobre la roya (Haddad et al. 2014, Zambolim 2016). No obstante, se requiere de mayor investigación para desarrollar este tipo de productos a escala comercial. En México, el uso empírico de “organismos de montaña” y la agro-homeopatía contra la roya han mostrado resultados positivos a juicio de sus usuarios, que requieren ser confirmados mediante investigación científica.

El monitoreo de la roya en los cafetales es una actividad primordial en la toma de decisiones de control, particularmente cuando se trata de orientar la aplicación de fungicidas. Al respecto, varios países se guían a través de programas de “alerta temprana”, es decir, de sistemas computarizados de algoritmos matemáticos capaces de predecir la intensidad

de la epidemia y emitir comunicados que se anticipan a los brotes de la enfermedad. En México, desde 2013 se implementó un programa de vigilancia epidemiológica de la roya (DGSV 2013), por medio del cual se determina la curva epidemiológica del patógeno, y con base en ésta, se establecen acciones de manejo preventivo.

En búsqueda de la variedad resistente

Si bien los fungicidas cúpricos contra la roya fueron la salvación de la cafecultura de muchas naciones –incluido México– su costo económico y ambiental fue el estímulo para que los fitomejoradores se concentraran en el desarrollo de variedades resistentes a la enfermedad (Bertrand et al. 1999). Al respecto, la veta más significativa provino de Timor Oriental, una isla situada hacia el extremo Este del Archipiélago Malayo; en esta isla, entonces colonia portuguesa, en 1927 se descubrió una planta de café inmune a *H.*

vastatrix entre plantas de la variedad *Typica* devastadas por la enfermedad en una plantación establecida en 1917-1918 en una finca situada a 800 metros sobre el nivel del mar en el municipio de Fatubessi en Hatulía distrito de Ermera (Betten-court 1973, Clarindo et al. 2013). Se cree que esta planta, llamada “híbrido de Timor” (HdT), se pudo generar a partir de un cruzamiento espontáneo o natural entre *Coffea arabica* y *C. canephora*. Investigaciones posteriores habrían de encontrar que, además de ser resistente a 23 razas de roya, el HdT también presentaba resistencia a la enfermedad de la cereza (*Colletotrichum kahawae*, CBD por sus siglas en inglés), a la bacteria *Pseudomonas syringae* y al nematodo *Meloidogyne exigua*.

En la década de 1950 se iniciaron los trabajos para transferir la resistencia del HdT hacia las variedades comerciales susceptibles de *C. arabica*. Estas investigaciones fueron realizadas por científicos del Centro de Investigación de las Royas del Café (CIFC, por sus siglas en portugués), una institución creada en Oeiras, Portugal en 1955 y que desde agosto de 2015 se encuentra integrada al Instituto de Agronomía de la Universidad de Lisboa. Los científicos del CIFC hicieron





las primeras colectas del HdT en Timor Oriental en 1957 y generaron las tres descendencias conocidas del HdT (CIFC 832/1, CIFC 832/2 y CIFC 1343), que entre 1972 y 1981 fueron introducidas sin costo a Brasil, Colombia, Centroamérica y México. Gracias a estos materiales, después de 25 años de mejoramiento genético (1970-1995) se liberaron en Centroamérica y México los catimores Oro Azteca, Costa Rica 95, IHCAFÉ 90, Lempira y Catrenic, procedentes del cruzamiento de Caturra x HdT CIFC 832/1; en Colombia se liberaron los catimores Tabi, Colombia y Castillo como producto del cruzamiento de Caturra x HdT CIFC 1343; y en Brasil, se liberaron los sarchimores procedentes del cruzamiento de Villa Sarchi x HdT 832/2, que originaron las variedades IAPAR 59, Parainema, Limani, Tupí y Obatá (Bertrand et al. 1999, Zamarripa Colmenero et al. 2013). Se considera que más del 90% de todas las variedades resistentes a roya en el mundo fueron creadas con ayuda de los estudios conducidos por el CIFC (Várzea 2015).

En México, los esfuerzos por crear una variedad de café resistente a *H. vastatrix* culminaron con la liberación de Oro Azteca en 1995, tras 14 años de caracterización, selección y pruebas de adaptación en Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca (Zamarripa Colmenero et al. 2013). Oro Azteca es una variedad resistente a la roya, de porte bajo y semicomcompacta que proviene de 21 progenies avanzadas del cruzamiento de Caturra Rojo x HdT enviadas a México por el CIFC en 1981, y recibidas en el Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Las pruebas de adaptación realizadas en 27 ambientes evaluados entre 1986 y 1995, mostraron que Oro Azteca tuvo una producción promedio de 40.1 Qq de café pergamino/ha (rango de 32.2 a 55.2 Qq/ha), lo que significó 37% por arriba del rendimiento de la variedad comercial Caturra Rojo. De acuerdo con el INIFAP, otras características de Oro Azteca son: Tiene más de 90% de granos normales, un promedio de 6% de fruto vano, menos de 5% de grano caracol, tolerancia al estrés hídrico y su calidad de bebida es similar a

las variedades Catuaí, Caturra y Garnica. Desafortunadamente, Oro Azteca fue liberada bajo circunstancias poco propicias como bajo impacto de *H. vastatrix*, escasa renovación de cafetales y bajos precios del café, que perjudicaron su adopción por los productores, resultando en una superficie sembrada muy baja hasta antes del brote de roya de 2012. Sin embargo, después que este brote de roya causara graves pérdidas en la producción, la demanda de Oro Azteca en México se incrementó notablemente, según señalan Zamarripa Colmenero et al. (2013); otras variedades resistentes como Costa Rica 95, también han tenido mucha demanda en el país.

Las variedades de café resistentes a *H. vastatrix*, aunque muy productivas porque producen mayor número de cerezas por planta y porque su porte bajo permite incrementar la densidad de siembra por hectárea, a diferencia de las variedades tradicionales susceptibles –por ejemplo, Typica y Bourbon– requieren de manejo más intensivo, tienen menor longevidad y la calidad de la bebida no siempre es la mejor, características que no han sido del agrado de muchos productores y que podrían explicar su relativa baja adopción, y por lo tanto, el fuerte impacto de la roya en 2012. Actualmente, para protegerse de la roya muchos productores están sembrando las variedades resistentes, y en el caso de México, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), está promoviendo y facilitando la renovación de cafetales a través de la producción y distribución de semilla certificada y el establecimiento de viveros comunitarios, entre otras acciones, para reducir la vulnerabilidad y recuperar la producción (SAGARPA 2016).

La durabilidad de la resistencia de los catimores y sarchimores a *H. vastatrix* ha sido un asunto que preocupa, pues siendo completa, vertical o de “gen a gen” la naturaleza de la resistencia, es decir, que depende de genes mayores o dominantes, la respuesta de la planta puede ser de inmunidad (sin síntomas) o de total susceptibilidad si el patógeno rompe la resistencia. Ahora se conoce que existen nueve genes de resistencia completa en *Coffea* spp. (SH1, SH2, SH4 y SH5 en *C. arabica*; SH3 probablemente en *C. liberica*; y SH6 a SH9 en HdT y otros), capaces de reconocer las proteínas producidas por los respectivos genes de avirulencia (*avr*)



en el patógeno al momento de la colonización y, en consecuencia, de iniciar la reacción de defensa; por el contrario, la infección se presenta si la planta huésped es incapaz de detectar las proteínas emitidas por el patógeno (Waller et al. 2007, Avelino y Rivas 2013, Gaitán et al. 2015). El ejemplo más reciente de pérdida de resistencia en la región es el ya citado de Honduras, donde el catimor Lempira pasó de ser resistente a susceptible a los 26 años después de su liberación; más que un caso aislado, éste representa el devenir de las variedades resistentes generadas a partir del HdT, el cual proporciona resistencia completa a su descendencia. La pérdida de resistencia también ha sido reportada en Colombia, donde se ha observado que al paso de los años se incrementó el número de plantas susceptibles a la roya (Cristancho et al. 2007). En Veracruz y Chiapas, cada vez son más frecuentes los comentarios de que las variedades resistentes muestran signos de afectación por roya. Estos casos ilustran la gran capacidad de adaptación que posee este patógeno que, mediante mutaciones continuas que dan origen a nuevas razas, rompe las defensas de la planta hospedera. Por ello, se considera que la resistencia incompleta u horizontal puede proporcionar una resistencia más durable, sin embargo, ésta es una resistencia menos conocida y más difícil de lograr porque muchos genes pueden estar involucrados (resistencia poligénica); esta resistencia, en la cual las plantas atacadas presentan menor número de esporulaciones, tiran muy rápido las hojas infectadas y se recuperan más pronto, se ha reportado en *C. arabica*, *C. canephora*, híbridos interespecíficos entre *C. arabica* x *C. canephora* (Icatú) e incluso en el HdT, entre otros (Gaitán et al. 2015). Las variedades multilíneas, como las variedades Colombia y Castillo, son otra estrategia para enfrentar a la roya que consisten en mezclas de líneas genéticamente similares excepto por un gen de resistencia y con suficiente uniformidad en sus características agronómicas (Castillo Zapata y Moreno Ruiz 1988).

En una comunicación breve pero seminal, publicada en la prestigiosa revista científica *Nature* en 1932 por W. Wilson Mayne, un investigador radicado en el estado de Mysore al sur de la India, se dio a conocer por primera vez la posible existencia de razas fisiológicas en *H. vastatrix* (Mayne 1932), es decir, formas de la enfermedad con diferentes niveles de patogenicidad hacia diferentes cultivares de café. A la fecha, el CIFC ha caracterizado más de 50 razas de roya (Várzea 2015) —éstas se identifican con números romanos—, de las cuales la raza II es la más común a nivel mundial. En México, desde hace tiempo se sabe que la raza

II es la predominante, sin embargo, en la actualidad se desconoce la composición de razas de roya del café presentes en el país. Con estos antecedentes, es clara la importancia de contar con programas permanentes de mejoramiento genético del café, mediante los cuales se desarrollen tanto variedades resistentes a la roya como a otras enfermedades que amenazan la cafecultura; igualmente importante es evaluar en las zonas cafetaleras del país la adaptación de variedades desarrolladas en otras naciones, lo que podría ahorrar tiempo en la búsqueda de la variedad resistente.

Incrementando el vigor de los cafetos y modificando el hábitat contra la roya

Las relaciones de la roya con la condición de las plantas de café y con las características de la plantación son complejas, es decir, son relaciones en que intervienen una multiplicidad de factores que impide identificar la causa y el efecto correspondiente.

Esto mismo dificulta medir la relación entre la severidad de la enfermedad y el efecto sobre la cosecha (Waller et al. 2007). Sin embargo, se ha encontrado que un sistema radicular débil, cultivares muy productivos, altas densidades de siembra, cultivo a pleno sol, insuficiente manejo de malezas, deficiente fertilización, suelos ácidos y compactos, incrementan la susceptibilidad de los cafetos a la roya (Gaitán et al. 2015).

Existe el consenso que señala que los cafetos vigorosos son menos propensos a sufrir daños por la roya y, en general, responden mejor al estrés provocado por diversos factores que interactúan con el patógeno.

Por ello, es importante tener un buen programa de nutrición que permita aportar los macro y micro elementos que requiere el cultivo, así como un programa de conservación y mejoramiento de suelos. También es importante realizar podas para rejuvenecer el tejido de los cafetos, pero ante todo renovar la plantación para evitar plantas viejas que son menos productivas y más sensibles a los ataques de esta enfermedad.

Dado que conforme se incrementa la carga de frutos (cosecha) en las plantas el daño de roya es mayor (López-Bravo et al. 2012), conocer la bianualidad natural en la producción permite tomar acciones de prevención; por ejemplo, en el ciclo del cultivo de alta producción será necesario un programa más intenso de fungicidas para proteger a las hojas, pero también, un programa de nutrición que fortalezca a las hojas que por circunstancias naturales se debilitan al perder nutrientes que la planta destina prioritariamente al desarrollo y maduración de los frutos.



La relación sombra-roya es un asunto por demás complejo. Hasta antes del brote atípico de 2012 se consideraba que la incidencia de la enfermedad era mayor en cafetales muy sombrados, pero ahora la relación no parece tan directa. Un estudio reciente concluyó que la sombra tiene un efecto antagonista sobre la roya, debido a que la sombra reduce la carga de frutos en las plantas y ésta a su vez disminuye la intensidad de la enfermedad (López-Bravo et al. 2012). Un nivel aceptable de sombra varía de 40 a 60%, sin embargo, el buen manejo de la sombra debe considerar la altitud de la plantación, factor que afecta temperatura, humedad e iluminación, entre otros factores, cuyos efectos también repercuten sobre la incidencia de la roya.

La amenaza del cambio climático

El brote atípico de la roya de 2012 trajo a la mesa de discusión la probable interferencia del cambio climático entre sus causas, pues cafetales ubicados en sitios sobre los mil metros de altitud, sin antecedentes de ataques serios, fueron devastados por el patógeno. Estimaciones de varios estudios señalan que el cambio climático es una de las amenazas más serias del cultivo del café. Si se incrementa la temperatura en las zonas cafetaleras, como pronostican los modelos climatológicos, se espera que disminuya 50% la superficie apta para el cultivo en el año 2050 (Bunn et al. 2015). En Mesoamérica, se pronostica incrementos de 2.0 a 2.5 °C para

2050, donde México será uno de los países más afectados (Läderach et al. 2010). También, incrementos en las temperaturas suponen mayor prevalencia de plagas como la broca (*Hypothenemus hampei*) y enfermedades como la roya, ya que podrán ampliar su rango de distribución geográfica y altitudinal, manifestándose en sitios antes inaccesibles para ellas.

Y la ciencia proveerá

Desde el brote atípico de roya de 2012, que Baker (2014) cataloga como el evento más serio desde la gran epidemia que devastó a Ceylán en el siglo XIX, la roya plantea un panorama incierto para las zonas cafetaleras. Si bien se dispone de medidas que permiten hacer frente a esta enfermedad, la viabilidad de las mismas se ve comprometida por diversos factores, entre ellos: la presencia de razas nuevas del patógeno, la variabilidad climática, las condiciones que impone el mercado, la necesidad imperiosa de conservar los recursos naturales y el grado de marginación que caracteriza a gran parte de las familias de productores de café. Este panorama, ciertamente adverso, debe ser un aliciente para no bajar la guardia y estar siempre alertas; ahora más que nunca, la ciencia y la tecnología representan uno de los capitales más tangibles para alcanzar, o en su caso fortalecer, una cafecultura sustentable. La roya ha movido su pieza sobre el tablero, ahora nos toca a nosotros.



Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico recibido del proyecto multidisciplinario y transversal denominado "Innovación Socioambiental en Zonas Cafetaleras para la Reducción de la Vulnerabilidad" de El Colegio de la Frontera Sur.

Referencias

Avelino, J. y G. Rivas. 2013. La roya anaranjada del café. 47. <hal-01071036>

Avelino, J., M. Cristancho, S. Georgiou, P. Imbach, L. Aguilar, G. Bornemann, P. Läderach, F. Anzueto, A.J. Hruska, y C. Morales. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Sec.* 7: 303-321.

Baker, P.S. 2014. The 'Big Rust': An update on the coffee leaf rust situation. *Coffee & Cocoa International*, January 2014: 37-39.

Barberá, C. 1976. *Pesticidas agrícolas*. 2da ed. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

Barrera, J.F., J. Avelino, G. Huerta, J. Gómez y J. Herrera. 2013. La roya del café: Crónica de una devastación anunciada. *Ecofronteras* 49: 22-25.

Bertrand, B., G. Aguilar, R. Santacreo y F. Anzueto. 1999. El mejoramiento genético en América Central, p. 407-456. In: Bertrand, B. y B. Rapidel (eds.), *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. IICA-PROMECAFÉ, CIRAD, IDR, CCCR. San José, Costa Rica.

Bettencourt, A.J. 1973. Considerações gerais sobre o 'Híbrido de Timor'. Instituto Agronômico, Campinas, Brasil. Circular 23.

Bunn, C., P. Läderach, O. Ovalle Rivera y D. Kirschke. 2015. A bitter cup: Climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change* 129: 89-101.

Castillo Zapata, J. y G. Moreno Ruiz. 1988. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. *Cenicafé*. Colombia. 171 p.

Clarindo, W. R., C.R. Carvalho, E.T. Caixeta y A.D. Koehler. 2013. Following the track of "Híbrido de Timor" origin by cytogenetic and flow cytometry approaches. *Genet. Resour. Crop Evol.* 60: 2253-2259.

Cristancho, M., C. Escobar y J.D. Ocampo. 2007. Evolución de razas de *H. vastatrix* en Colombia. *Cenicafé* 58: 340-359.

[DGSV] Dirección General de Sanidad Vegetal. 2013. Manual técnico para el manejo preventivo de la roya del café. Clave DGSV/DPF-CNRF. Versión del 8 marzo 2013. SENASICA. México. 30 p.

Fulton, R.H. 1984. Chemical control of coffee leaf rust in Central America, p. 75-83. In: R.H. Fulton (ed.), *Coffee rust in the Americas*. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota.

Gaitán, A.L., M.A. Cristancho, B.L. Castro-Caicedo, C.A. Rivillas y G. Cadena-Gómez. 2015. *Compendium of coffee diseases and pests*. The American Phytopathological Society. APS Press. 79 p.

Haddad, F., R.M. Saraiva, E.S.G. Mizubuti, R.S. Romeiro y L.A. Maffia. 2014. Isolation and selection of *Hemileia vastatrix* antagonists. *Eur. J. Plant Pathol.* 139: 763-772.

Läderach, P., J. Hagggar, C. Lau, A. Eitzinger, O. Ovalle, M. Baca, A. Jarvis y M. Lundy. 2010. Mesoamerican coffee: Building a climate change adaptation strategy. *CIAT Policy Brief No. 2*, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

La Tribuna (Honduras). 2017. Ihcafé confirma nuevo brote de roya en el país. <http://www.latribuna.hn/2017/03/25/ihcafe-confirma-nuevo-brote-roya-pais/>

López-Bravo, D.F., E. de M. Virginio-Filho y J. Avelino. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Protection* 38: 21-29.

Mayne, W.W. 1932. Physiological Specialisation of *Hemileia vastatrix* B. and Br. *Nature* 129: 510.

Okioga, D.M. 1975. Work in progress in coffee research pathology. Fungicides in perspective. *Kenya Coffee* (August/September): 270-274.

Romero Murillo, F. 2017. Nueva raza de roya ataca cafetales de 8 departamentos. *La Prensa* (Honduras). <http://www.laprensa.hn/economia/1059765-410/nueva-raza-de-roya-ataca-cafetales-de-8-departamentos>.

[SAGARPA] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2016. Cuarto Informe de Labores 2015-2016. México.

Schieber, E. 1972. Economic impact of coffee rust in Latin America. *Annu. Rev. Phytopathol.* 10: 491-510.

Sutherst, R.W., F. Constable, K.J. Finlay, R. Harrington, J. Luck y M.P. Zalucki. 2011. Adapting to crop pest and pathogen risks under a changing climate. *WIREs Climate Change* 2: 220-237.

Talhinhas, P., D. Batista, I. Diniz, A. Vieira, D.N. Silva, A. Loureiro, S. Tavares, A. P. Pereira, H. G. Azinheira, L. Guerra-Guimaraes, V. Várzea y M. do C. Silva. 2017. Pathogen profile. The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: One and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology*, p. 1-13. BSPP y John Wiley & Sons Ltd.

Várzea, V. 2015. Update on the Coffee Leaf Rust Research Centre (Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro, CIFC). ICO (PSCB). 41th Meeting. 2 October, 2015. Milan.

Villaseñor Luque, A. 1979. La caficultura mexicana ante la roya del café. Instituto Mexicano del Café. Xalapa, Veracruz, México. 41 p.

Wrigley, G. 1988. *Coffee*. Longman Scientific & Technical. N.Y. 639 p.

Zamarrilla Colmenero, A., R. López Morgado y E. Escamilla Prado. 2013. Mejoramiento genético y variedades, p. 57-94. In: R. López Morgado, G. Díaz Padilla y A. Zamarrilla Colmenero (Comp.), *El Sistema producto café en México: Problemática y tecnología de producción*. INIFAP, México. Libro Técnico Núm. 34.

Zambolim, L. 2016. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Trop. Plant Pathol.* 41: 1-8.

