1+021

DESARROLLO MATEMATICO E IMPLANTACION DEL MODELO DE SIMULACION DE LA ROYA DEL CAFETO EN COLOMBIA

Esther Cecilia Montoya-Restrepo*; César Augusto Sierra-Sanz**

RESUMEN

MONTOYA R., E.C.; SIERRA S., C.A. Desarrollo matemático e implantación del modelo de simulación de la roya del cafeto en Colombia. Cenicafé (Colombia) 44(2): 56-67. 1993.

La construcción e implantación de un modelo de simulación de la roya del cafeto en Colombia, se llevó a cabo en CENICAFE, de acuerdo con las hipótesis y conceptualización de los procesos biológicos y matemáticos, con una estructura biológica interpretada a través de variables y expresiones matemáticas lógicas y secuenciales y con unos supuestos de relación de los procesos comprobados experimentalmente. La investigación se realizó en diferentes etapas: 1. Estudio de los procesos biológicos del hongo *Hemileia vastatrix* y las interacciones durante el proceso monocíclico y policíclico de la epidemia; 2. Estudio de modelos descriptivos con base en datos históricos de epidemiología, en donde el método de las fases mostró el mejor ajuste ($r > 0,98$); 3. Estudio de un modelo explicatorio basado en el proceso monocíclico y policíclico del patógeno; 4. La unión de los modelos en uno, **Descriptivo-Explicatorio**, se hizo bajo la hipótesis que la tasa instantánea en un momento dado, obtenida con el modelo descriptivo, es función de la RSLPM (Razón de Sobrevivencia Líquida del Proceso Monocíclico) obtenida con el modelo Explicatorio. Dicha hipótesis se está comprobando experimentalmente en diferentes localidades. Los datos generados por el modelo son: RSLPM, infección aparente en el tiempo t, e infección aparente en el tiempo t+1 ó dato a predecir. El modelo propuesto, ha mostrado una buena descripción de los valores observados de infección, en cualquier período a predecir, evaluado a través del coeficiente de correlación lineal significativo entre valores simulados y observados ($r=0,957^*$).

Palabras claves: *Hemileia vastatrix*, epidemia, simulación, modelos, razones de sobrevivencia, procesos policíclicos.

ABSTRACT

The improvement and implantation of the simulation model for Coffee Leaf Rust in Colombia was carried out by CENICAFE, according to the conceptual knowledge of the biological and mathematical processes involved, to prove a hypothesis. The model taken was a process with a biological structure, interpreted trough mathematical variables and expressions characterized as being logical and in sequence. Moreover, each process was based on a hypothesis of relations experimentally proved. The research was carried out in different stages: 1. The study of the biological processes of the fungus and their interactions during the monocyclic and policyclic processes; 2. The study of descriptive models based on historical epidemic data in which the Phases Method has had the best significative fitting performance value ($r>0.98$); 3. The study of the explanatory or fundamental model based on the monocyclic and policyclic processes of the pathogen; 4. The combination of the two models as descriptive-explanatory was conceived under the hypothesis that the instantaneous rate in a fixed time, obtained by the descriptive model, is a function of the SRMP achieved, in turn, by the explanatory model. Indeed, this hypothesis has been verified experimentally in different locations where research is being carried out. The data generated by the model are:RSLPM,the apparent infection of the disease in time t, and in t+1 time or predictive date. The proposed model has demonstrated a close relationship between the values of the infection data observed in any predictive term and the simulated values, with significative linear correlation coefficient ($r=0.957$).

Keywords: *Hemileia vastatrix*, epidemic, simulation, models, policyclic process.

* Investigador Científico I. Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico II. Fitopatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia.

El conocimiento de los factores que determinan el comportamiento epidémico de la roya del cafeto en Colombia es uno de los aspectos de mayor trascendencia para el sector cafetero, ya que, mediante él se fundamenta en gran parte la política sanitaria actual, y se planean los recursos para el sector generador del mayor porcentaje de divisas del país, con el propósito de defender la industria cafetera y el ingreso del caficultor.

La roya del cafeto como factor biológico externo reduce, tanto el desarrollo de la planta como la cosecha, afectando varios procesos fisiológicos de la misma. El control eficiente de una enfermedad, como la citada, es aquel que se basa en el conocimiento del potencial destructivo de la misma.

Para conocer la interacción y cuantificar los factores que determinan la dinámica poblacional de un organismo patogénico y su potencial de daño, es necesario recurrir a los métodos que ofrece la epidemiología, ciencia que estudia la enfermedad en términos de población (14), y comprende el estudio del aumento de una enfermedad en el tiempo y en el espacio, en función de la interacción entre poblaciones del patógeno y el hospedante con el medio ambiente. Esta interacción puede ser a su vez modificada por el hombre.

Para que una enfermedad se desarrolle en proporciones epidémicas es necesario que ocurra una interacción entre una población de plantas susceptibles y una de patógenos virulentos y agresivos, en condiciones ambientales favorables.

Cualquier modificación en uno de esos factores provocará una alteración, aumento o reducción de la intensidad y severidad de la enfermedad y de su tasa de desarrollo. Este concepto se conoce en epidemiología como el teorema de Equivalencia. Por lo tanto, con el fin de cuantificar el sistema se identifican como variables exógenas el ambiente, el hospedante y el patógeno y como variable endógena la infección o intensidad de la enfermedad.

Los sistemas de predicción desarrollados para enfermedades en plantas han sido agrupados en empíricos (descriptivos) y en fundamentales (explicatorios), basados en la forma en la cual fue derivado el sistema.

Los sistemas predictivos empíricos han sido desarrollados mediante el estudio y comparación de datos históricos de ocurrencia de la enfermedad en interacción con las condiciones ambientales registradas en dicha localidad (o estación meteorológica cercana).

Muchos modelos de regresión (3,4,6,14) han sido desarrollados para la predicción de la roya del cafeto basados en los períodos de latencia y en los parámetros biológicos, los cuales pueden ser clasificados como "sistemas predictivos empíricos" en razón a que estos no explican el proceso de la acción biológica. Los sistemas predictivos fundamentales o explicatorios, se basan en el estudio de las relaciones de las condiciones biológicas y del medio ambiente que gobiernan la interacción patógeno-hospedante.

La precisión del sistema de predicción depende que tan bien el sistema ha interpretado las relaciones biológicas y meteorológicas que preceden a la infección o al desarrollo de la enfermedad, tanto en condiciones experimentales como a nivel comercial (3). Entre los modelos fundamentales o explicatorios está el propuesto por Kushalappa (5,6). Este modelo está basado en las razones de sobrevivencia para el proceso monocíclico de la roya del cafeto, explicando así en gran parte la forma de acción biológica del patógeno y su interacción con el ambiente en presencia de un hospedante susceptible, representado por la razón de sobrevivencia líquida del proceso monocíclico (RSLPM).

En este modelo explicatorio, la RSLPM cuantifica la proporción de individuos disponibles para iniciar un ciclo infectivo en un tiempo o período definido (intervalo t, t+1), producto de la interacción de la razón de sobrevivencia básica (RSB), de los equivalentes del proceso monocíclico para el ambiente (EPMA) y el hospedante (EPMHp). La RSB es el índice de infección corregido por el hospedante. El EPMA es la proporción de infección resultante de la interacción del hospedante disponible con la duración de agua líquida, temperatura y días con lluvia, en el tiempo (t). El EPMHp es la proporción de infección debida a la capacidad productiva del árbol en el tiempo (t).

Este es un modelo multiplicativo de los efectos de las variables exógenas: Patógeno (RSB), ambiente (EPMA) y hospedante (EPMHp). Así, la RSLPM agrupa los factores climáticos y biológicos que tienen influencia significativa en el desarrollo de la enfermedad en un solo parámetro, el cual asociado a la tasa instantánea de infección de los modelos descriptivos permitiría integrarlos en un solo Modelo Descriptivo-Explicatorio.

Hernández (2), sugiere la posible asociación lineal entre los parámetros tasa media de infección según modelo descriptivo y la razón de sobrevivencia líquida del proceso monocíclico.

Hasta el presente en Colombia se tiene el estudio de la epidemia de la roya del cafeto a través de modelos descriptivos y la duración de los períodos de incubación y latencia del hongo en tres pisos térmicos (8).

En cuanto al control de la epidemia, los estudios de épocas fijas de aspersión y los estudios climáticos regionales de áreas agroecológicas homogéneas han permitido recomendar tres calendarios de aspersión con fungicidas cúpricos, de acuerdo con la distribución de la cosecha para cada zona (10, 11, 12).

Los resultados experimentales, obtenidos en diferentes estudios, hasta el presente, no han permitido cuantificar la disminución de la producción por efecto de la enfermedad, ya que este es un efecto indirecto, además, han mostrado la necesidad de estudiar la relación de los factores biológicos y climatológicos que influyen en el desarrollo de la epidemia, condicionando la distribución de la enfermedad, su incidencia, severidad y el efecto sobre la producción de acuerdo a las condiciones específicas a través del tiempo, en cada región.

El objetivo de este trabajo fue Construir e Implantar un Modelo Epidemiológico de Simulación para la roya del cafeto, basado en fundamentos teóricos biológicos y matemático estadísticos, mediante la comprobación de la siguiente hipótesis: "La tasa instantánea de la infección, obtenida con un modelo descriptivo, es función de la RSLPM, del modelo explicatorio".

Los resultados de este trabajo permiten determinar los aspectos hacia los cuales debe enfocarse la investigación de la epidemia, con los siguientes fines:

- Producir información confiable para el planteamiento de futuras investigaciones como la construcción de modelos de previsión de la enfermedad, que se utilizarían para recomendar a través del servicio de extensión las medidas de protección mas oportunas y eficientes, de acuerdo con los mínimos niveles de infección a partir de los cuales se generan pérdidas económicas.

- El modelo propuesto, se integraría al "Modelo Matemático del Cultivo del Café en Colombia", BIO-0601, el cual se encuentra en desarrollo en CENICAFE.

MATERIALES Y METODOS

Las etapas generales, para la construcción e implantación del modelo descriptivo-explicatorio, fueron las siguientes:

1. Estudio de modelos descriptivos
2. Estudio del modelo explicatorio
3. Construcción e implantación del modelo descriptivo-explicatorio.

Estudio de modelos descriptivos En esta fase se utilizó información experimental del proyecto "Epidemiología de la roya del café", (8), con las siguientes características: Localidad Santágueda (comienzos de la enfermedad en la zona); Variable infección promedio por árbol (n=30) y a través del tiempo (intervalo=15 días); comportamiento del crecimiento de la infección sigmoidal definido.

Se evaluaron aspectos tales como: 1. El ajuste de modelos básicos Gompertz, Monomolecular y Logístico, mediante el método de los mínimos cuadrados, y tomando como máximo de infección (asíntota) la unidad; 2. Tasas instantáneas; 3. Estudio de la epidemia por fases, aplicando el ajuste sugerido por Liebig (9); 4. Resultados de la simulación del proceso de la epidemia, mediante estos modelos.

Estudio del modelo explicativo-descriptivo. El modelo explicatorio propuesto por Kushalappa (5,6), tiene la expresión ya descrita:

$$\mathbf{RSLPM = RSB * EPMA * EPMHp} \quad \text{<<1>>}$$

En la cual RSLPM es un parámetro en un instante dado, cambiando a través del tiempo.

Cada uno de los componentes en la expresión **<<1>>**, han sido estimados mediante expresiones propuestas por Kushalappa (6) y Hernández (2), así:

Razón de Sobrevivencia Básica (RSB)

$$\mathbf{RSB} = Y_t = \frac{X_a(t) + (X_c(t) + X_c(t-1))}{Y_a(t) + (Y_C(t) + Y_C(t-1)} \quad \text{<<2>>}$$

Y_t = Indice de infección en el tiempo t.
X = Número de hojas con roya
Y = Número de hojas
a = Presente
c = Caídas
t = Tiempo

Equivalente para el proceso monocíclico por el ambiente (EPMA)

$$\mathbf{EPMA = EINFA * EDISA}$$

$$\mathbf{EPMA} = [\mathbf{EINFA}_{AL} + \frac{\sum_{t}^{n} (\mathbf{EINFA}_T)}{n}] * \mathbf{EDISA} \quad \text{<<3>>}$$

Donde: $EINFA_{AL}$ es la expresión para infección en función de la duración de agua líquida en el hospedante (AL) estimada directamente en términos de horas (t), así:

$$\mathbf{EINFA}_{AL} = 1 - 1{,}996 \ \mathbf{Exp}\ (-0{,}1089t) \quad \text{<<4>>}$$

$EINFA_T$ es la expresión para infección en función de la temperatura durante el período de permanencia del agua líquida en intervalos de seis horas por día (n=4)

$$\mathbf{EINFA}_T = \mathbf{Sen}^2\ (188{,}1T - 41{,}6T^2 - 151{,}3T^3) \quad \text{<<5>>}$$

T es la relación entre la diferencia de la temperatura observada o media y la temperatura mínima con respecto a la diferencia entre temperatura máxima y mínima.

EDISA es la expresión para infección en función del número de días favorables para la diseminación del patógeno (E_1 y E_2), con relación a la disponibilidad del hospedante (E_3) para períodos de previsión (FP):

$$\text{EDISA} = \frac{E_1 + 0{,}5E_2}{FP} E_3 \qquad \text{<<6>>}$$

E_1 = Número de días con lluvia ≥ 1 mm.
E_2 = Número de días con lluvia < 1 mm.
E_3 = Densidad del hospedante, con respecto al potencial genético, expresado en proporción.
FP = Número de días entre t y t+1.

Equivalente del proceso monocíclico por el hospedante (EPMHp)

EPMHp se estima así:

$$\text{EPMHp} = 0{,}5 + \frac{pp_t * 0{,}5}{M_n} M_t \qquad \text{<<7>>}$$

donde:

M_t = Número de meses transcurridos desde la fecha de floración hasta el tiempo t.
M_n = Número de meses transcurridos desde la fecha de floración hasta la cosecha.
PP_t = Proporción de frutos presentes con relación al potencial productivo (genético), en el tiempo t.

Información experimental. La información necesaria para estimar los componentes de la expresión <<1>>, fue obtenida mediante observación de campo y de laboratorio.

La observación de campo se hizo en un lote sembrado con variedad susceptible (Caturra) sin control químico ni biológico. La unidad experimental fue el árbol, ya que el nivel de estudio en el modelo es la infección media por árbol.

RSB. La información para estimar RSB, se tomó a intervalos de PL días, correspondientes al período de latencia para la localidad, de acuerdo con los resultados de Leguizamón et al. (8). En cada localidad se tomaron 120 árboles seleccionados aleatoriamente en cada lectura, a los cuales se les contó, en quince ramas al azar, durante el período de producción, el número de hojas presentes y el número de hojas con roya.

Para las variables hojas caídas (Y_c) y hojas caídas con roya (X_c), se hizo el conteo de ellas en el tiempo (t) y (t-1), en 16 árboles seleccionados aleatoriamente y cercados al inicio del ciclo productivo.

EPMA En primera instancia, para la implantación del modelo, se estimó EINFA asumiendo las estimaciones propuestas por Kushalappa, en las expresiones <<4>> y <<5>>, posteriormente, se corroboraran u obtendrán mediante experimentos en laboratorio, de acuerdo con lo planteado en el proyecto de investigación del Centro Nacional de Investigaciones del Café (CENICAFE): Simulación de la roya del cafeto en Colombia.

En la estimación de EDISA, se asumió la expresión propuesta por Kushalappa <<6>>. Para estimar el área en m^2 por árbol se seleccionaron aleatoriamente en el área experimental, 16 árboles cada cuatro meses, a los cuales se les midió el 50% de las hojas de todo el árbol, según método desarrollado por Valencia (13) y Arcila (1).

EPMHp Para la construcción del modelo se utilizaron las estimaciones propuestas por Kushlappa <<7>>, mientras se obtienen los resultados experimentales del proyecto sobre Niveles de Infección para el Control de la Roya del Cafeto, que se ejecuta actualmente en CENICAFE.

Construcción e implementación del modelo descriptivo-explicatorio. El modelo se desarrolló sin considerar (supuestos): Deficit Hídrico, control químico (protector, curativo y erradicativo), Manejo Genético y Control Biológico.

El primer paso en la construcción del modelo, una vez definido el fundamento teórico de la epidemia (Figura 1), fue la construcción del diagrama de Forrester para los procesos monocíclico y policíclico.

En el proceso monocíclico , el inóculo inicial o nivel de la población está representado en su unidad mínima como la espora capaz de causar la infección. Sin embargo, en algunos casos, donde no es posible lograr la infección a partir del cultivo monospórico, caso frecuente en parásitos obligados, se toma la población inicial como un agregado de esporas, en este caso puede considerarse a nivel de pústula (lesión).

En el proceso policíclico, la fuente de inóculo inicial puede tomarse a nivel de pústula o agregado de pústulas; éstas pueden medirse como unidad en sí mismas (incidencia), o como unidad de área de la planta susceptible afectada (severidad), o como una unidad u órgano de la planta susceptible afectada (hojas con roya). En este caso para facilitar las mediciones, se tomó el número de hojas con signos de la roya del cafeto como la unidad mínima poblacional.

La construcción de este modelo está sustentada bajo la comprobación de la siguiente hipótesis: "La tasa instantánea del modelo descriptivo es función de la RSLPM, del modelo explicatorio.

Para evaluar esta hipótesis se utilizó la información obtenida en el testigo (sin control), del experimento Epocas de Control Químico de la roya del Cafeto en Colombia, realizado en la localidad de Circasia para el ciclo productivo correspondiente al año de 1991.

La corroboración de esta hipótesis, a su vez permitió obtener la expresión para la tasa instantánea en función de la estimación de RSLPM, para así predecir la infección a ocurrir en el tiempo (t+1).

Una vez comprobada la hipótesis se hizo una primera evaluación del modelo propuesto, con la información obtenida del testigo (sin control), en el experimento Epocas de Control Químico de la roya del Cafeto en Colombia, en las localidades de Circasia (1991 y 1992), Chinchiná (1992) y Gigante (1992).

RESULTADOS Y DISCUSION

Estudio de Modelos Descriptivos. La expresión logística y la de Gompertz presentaron mejores ajustes con respecto a la monomolecular (Figura 2). Además, que las tasas medias de infección por día son muy similares: 0,019 y 0,012 para la Logística y Gompertz, respectivamente.

El método de las fases mostró mejor ajuste en la fase lineal, por tener mayor información y ser la más definida. Al estimar la infección con los valores iniciales observados de cada fase y la tasa de infección en la fase II de la epidemia (K), se obtuvo una asociación lineal entre valores observados y calculados de 0,99. (Figura 2).

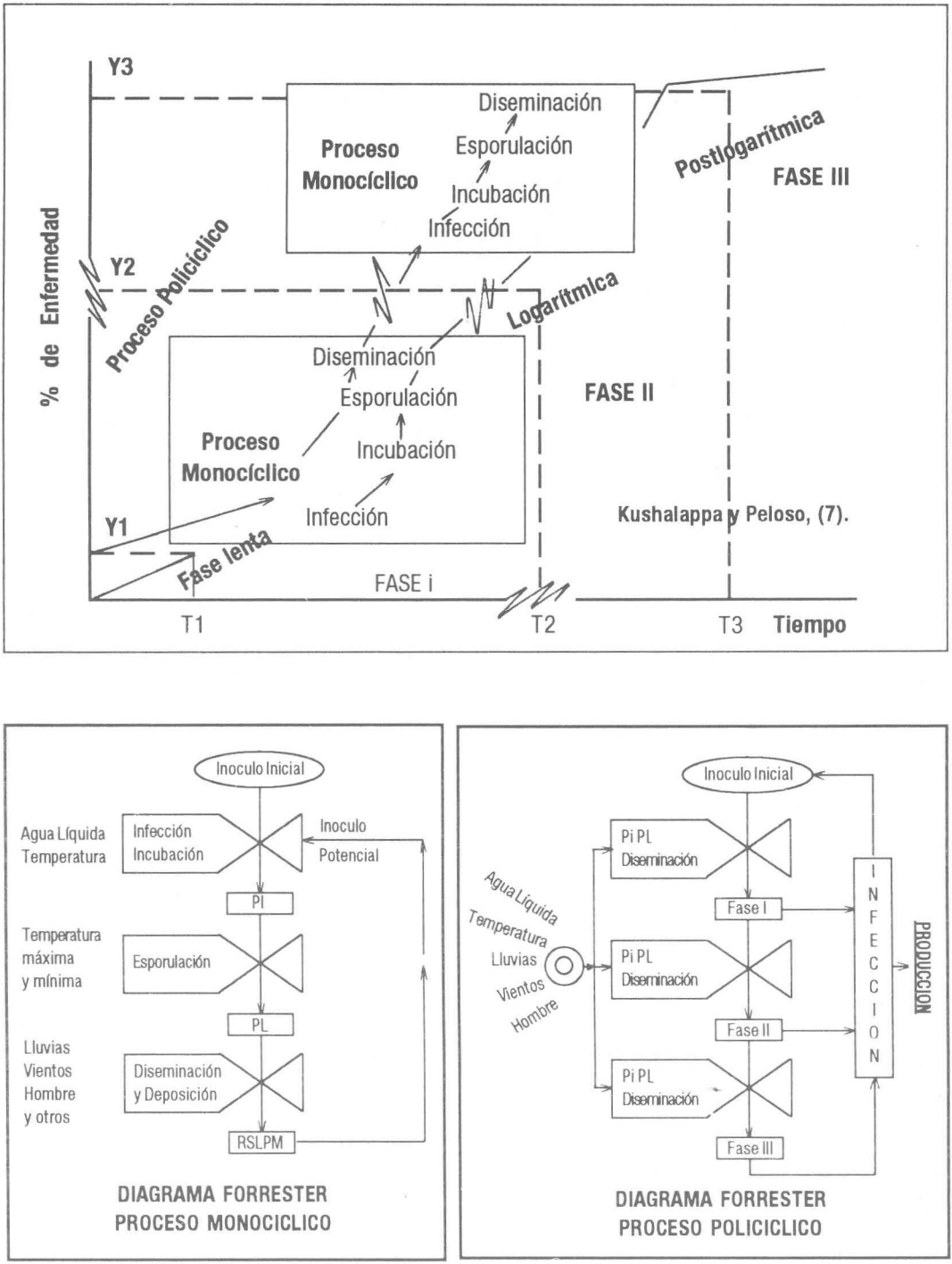

Figura 1. Proceso de la epidemia. Diagramas de Forrester: Proceso monocíclico y policíclico.

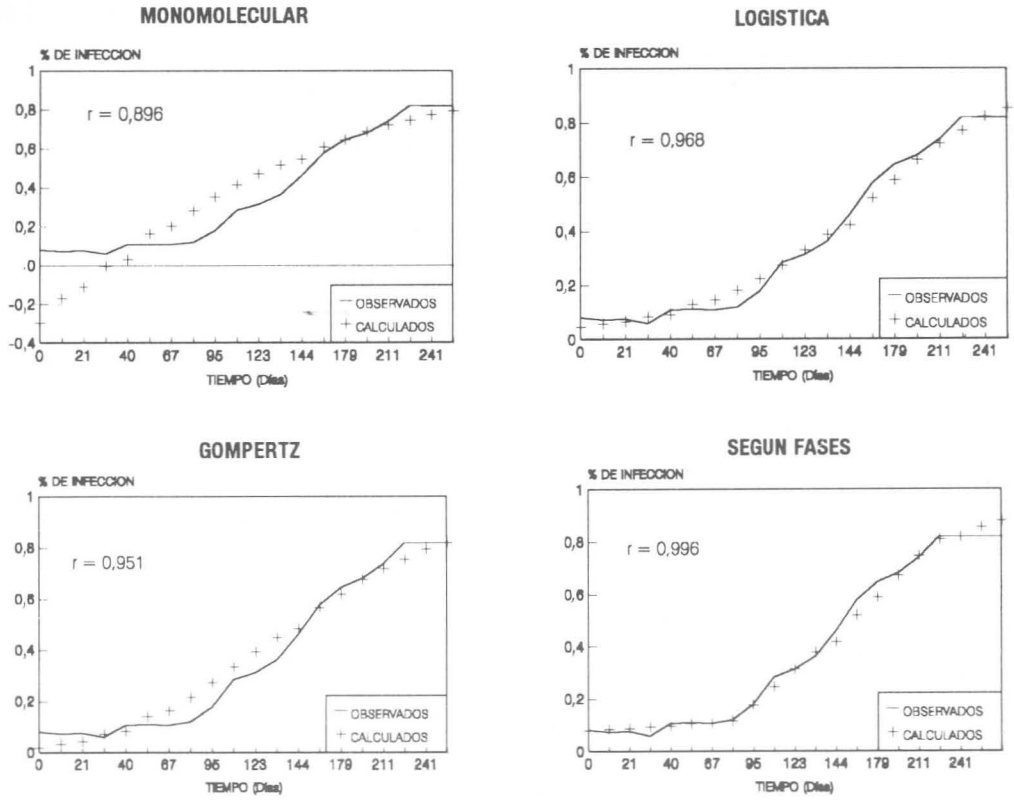

Figura 2. Ajuste según modelos descriptivos para datos tomados de Leguizamón et al. (8)

Con el conocimiento de la fase II, se puede inferir acerca de las otras dos fases. Además si se compara la tasa media de infección de la fase lineal, con el promedio de las tasas instantáneas dada por los modelos de mayor ajuste, logístico y Gompertz, se observa que son valores muy próximos; resultado que permitiría estimar la tasa instantánea de infección de los modelos clásicos, a través de la tasa media en la fase II de la epidemia.

Esta tasa puede interpretarse como la resultante de la interacción de los factores que determinan el comportamiento epidémico de la roya del cafeto y es una herramienta práctica de trabajo en la predicción de la enfermedad, una vez definidos los niveles iniciales de infección que caracterizan las fases y estimada la tasa media de infección de la fase II.

Al pronosticar algunos puntos, con base en las tasas instantáneas de infección en los modelos descriptivos clásicos y con la tasa media de infección en la fase II de la epidemia (lineal), se obtuvo una buena descripción de la epidemia (Figura 3).

La simulación del proceso de la epidemia mediante el método de las fases requiere la identificación del intervalo donde ocurre cada una de las fases en el proceso de la epidemia, y el conocimiento de la tasa de infección (K) en la fase II, la cual puede ser estimada según la epidemia anterior o parcialmente estimada con

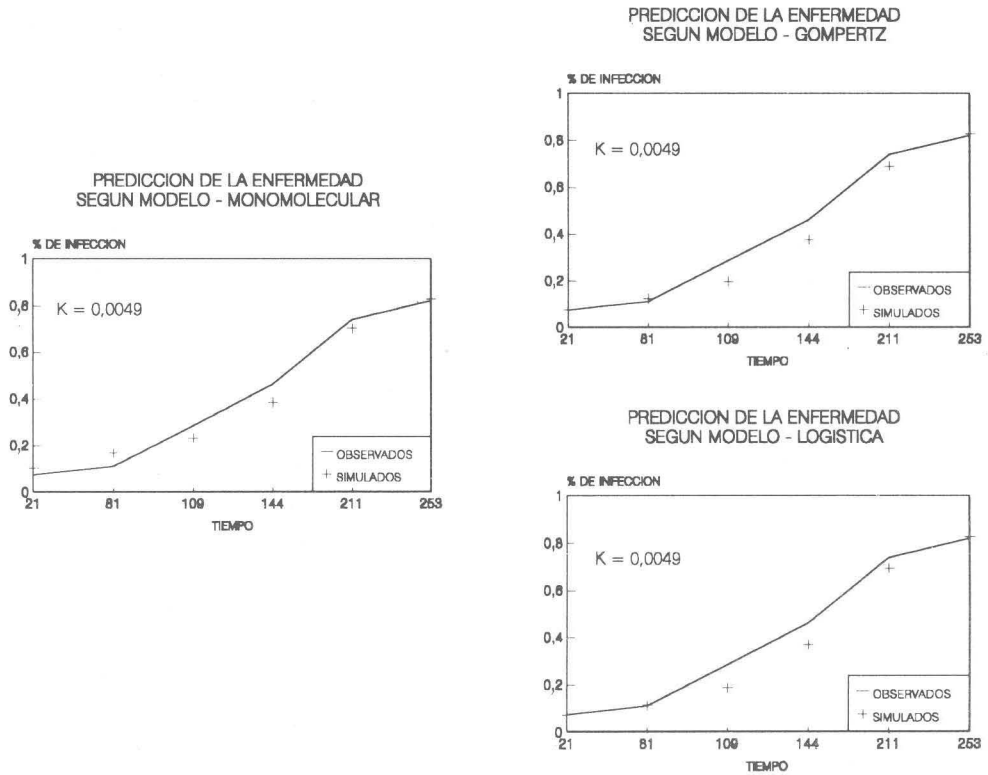

Figura 3. Predicción de la enfermedad con modelos descriptivos y la tasa en la Fase II. Datos tomados de Leguizamón et al. (8)

la tasa bruta. En este método la predicción se describe así:

FASE	SIMULACION
I	$Y_{t+1} = \text{antilog}\,(\text{Ln}\,(Y_t) + K * \Delta t)$
II	$Y_{t+1} = Y_t + K * \Delta t$
III	$Y_{t+1} = \text{Ln}\,(e^{Y} + K * \Delta t)$

Donde:

Y_t = Infección aparente en el tiempo t.
Y_{t+1} = Infección aparente en el tiempo t +1.
K = Tasa media de infección de la fase lineal de la epidemia.

Estudio del Modelo Explicatorio. En la Tabla 1 se muestran algunos valores estimados para RSLPM, del modelo explicatorio, obtenidos con la información del testigo, para el ciclo de producción de café de 1991, en la localidad de Circasia, en el proyecto, Epocas de Control Químico del Cafeto en Colombia.

Tabla 1. Valores estimados de razón de sobrevivencia líquida del proceso monocíclico (modelo explicatorio) y tasas brutas (modelo descriptivo).

RSLPM	TASA BRUTA (%) $II_t - II_{t-1}$
1,427631 E-3	12,20
4,252090 E-2	03,29
9,337600 E-5	28,04

Dicha información comprendió:

- Hojas presentes en el tiempo (t).
- Hojas presentes con roya en el tiempo (t).
- Hojas caídas con roya en el tiempo (t) y (t-1).
- Hojas caídas en el tiempo (t) y (t-1).
- Duración de agua líquida.
- Temperatura media en el intervalo (t, t+1).
- Número de días con lluvia mayores o iguales a 1,6 mm., en el intervalo (t, t+1).
- Número de días con lluvia menor a 1,6 mm, en el intervalo (t, t+1).
- Número de días entre (t) y (t+1).
- Proporción de área foliar con respecto al potencial genético, en el tiempo t.
- Proporción de frutos presentes con respecto al potencial genético, en el tiempo t.
- Número de meses transcurridos desde la floración hasta la cosecha.
- Número de meses transcurridos desde la floración hasta (t)

Construcción e Implantación del Modelo de simulación Descriptivo-Explicatorio. La relación preliminar de la tasa bruta, la cual representa el cambio de la infección aparente en un período definido o tasa instantánea, con la estimación de RSLPM, tiene el comportamiento descrito en la Figura 4, expresado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa bruta} = -10{,}8559 - 4{,}0019667 * \log(RSLPM)_t$$

$$r = -0{,}98^{*} \text{ y } r^2 = 0{,}962$$

donde:

Tasa bruta = $(Y_{t+1} - Y_t)$, en porcentaje
Y_{t+1} = Infección aparente en t
Y_t = Infección aparente en t-1

Con esta función preliminar se implantó el modelo de simulación descriptivo-explicatorio, con el fin de realizar una primera evaluación.

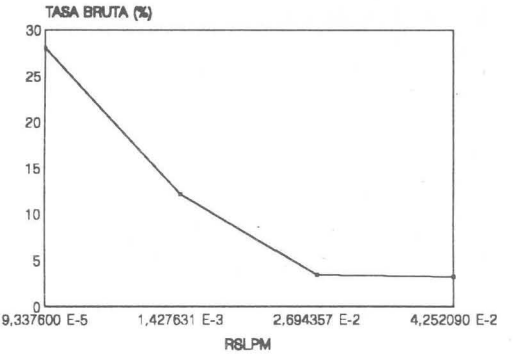

Figura 4. Razón de sobrevivencia líquida del proceso monocíclico (RSLPM) Vs. Tasa Bruta.

La asociación lineal entre valores observados y simulados fue significativa, con un coeficiente de regresión estadísticamente igual a uno (b=1,06) y coeficiente de correlación igual a 0,95 (Figura 5). La diferencia máxima, mínima y media, entre valores observados y simulados, fue de 8,6%, 0,1% y 4,12% respectivamente.

El modelo descriptivo, según la logística, mostró diferencias máxima, mínima y media, entre valores observados y simulados, de 25,44%, 0,92% y 11,54% respectivamente (Figura 5). Lo anterior es explicable, ya que los modelos descriptivos sólo utilizan la tasa me-

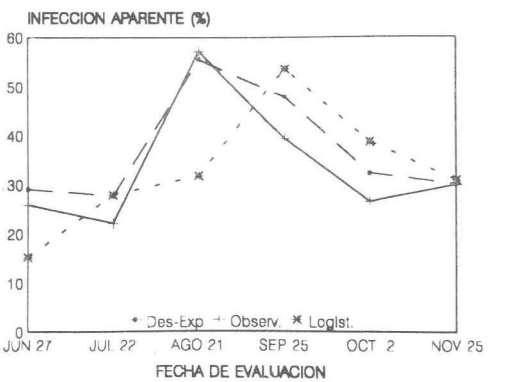

Figura 5. Valores Simulados según modelo descriptivo-explicatorio y modelo descriptivo Vs. Valores observados. Circasia 1991.

dia de infección estimada con epidemias anteriores y la infección ocurrida en el intervalo inmediatamente anterior, en cambio el modelo descriptivo explicatorio tiene en cuenta tanto el estado del hospedante y las condiciones climáticas como el nivel de infección del período inmediatamente anterior al de la predicción.

Con la información obtenida en las tres localidades, durante 1992, donde se llevan los registros para la evaluación del modelo, se simularon algunos puntos en cada localidad, en la primera fase (exponencial) de la epidemia. Como se observa en la Tabla 2, la diferencia mínima y máxima entre el valor observado y simulado fue de 0,4 y 3,8, respectivamente, y en general las diferencias fueron menores del promedio evaluado con los datos simulados y observados para la epidemia de 1991 en Circasia.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo interdisciplinario liderado por el Dr. Francisco Quiroga Z. por su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

A los señores: Rubén Darío Ospina T., Carlos Velásquez V., Uriel Gallego T., Iván Villegas L., Juan Alberto Cotacio, quienes tomaron la información de campo y la grabaron. Hernando García O. y Roberto Ospina A. Quienes colaboraron en el manejo de archivos, textos y programación.

A los doctores Francisco Quiroga Z., Lucelly Orozco G., Bernardo Chaves C., Fernando Gil V. y Héctor Fabio Ospina, quienes hicieron una revisión final del contenido de este artículo.

Tabla 2. Valores observados y simulados (Modelo descriptivo explicatorio), en diferentes localidades. Primera fase de la epidemia, 1992.

LOCALIDAD	CIRCASIA			CHINCHINA			HUILA		
FECHA	OBS	SIM	DELTA*	OBS	SIM	DELTA*	OBS	SIM	DELTA*
MAYO	5,57	5,10	0,47						
JUNIO	5,30	4,90	0,40	13,3	15,9	2,6	4,19	8,02	3,8
JULIO				15,2	16,4	1,2			

* DELTA: POR DEBAJO DEL PROMEDIO (4,12).

DELTA = | Valor observado - valor simulado |

LITERATURA CITADA

1. ARCILA P., J. Métodos prácticos y precisos para determinar el área foliar de una planta de café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE. Sección de fisiología. Informe Anual de 1986-1987. Chinchiná (Colombia), CENICAFE. 1987. p. 34-35.

2. HERNANDEZ T., T. A. Avaliação de modelo de previsão da ferrugem do cafeeiro para determinar épocas de aplicação de fungicida. Viçosa (Brasil), Universidade Federal de Viçosa, 1984. 68 p. (Tesis de Maestrado).

3. KRAUSE R., A.; MASSIE L., B. Predictive systems: modern approaches to disease control. Annual Review of Phytopathology (Estados Unidos) 13:31-47. 1975.

4. KUSHALAPPA, A. C. Avaliaçao do modelo de pronostico de ferrugens do cafeeiro. Viçosa (Brasil), Universidade Federal de Viçosa, 1983, (notas de clase).

5. KUSHALAPPA. A. C.; ESKES, B. A. *Coffee rust:* Epidemiology resistance and management. Boca Ratón (Estados Unidos), CRC Press, 1989. 345 p.

6. KUSHALAPPA. A.C.; LUDWIG, A. Calculation of apparent infection rate in plant diseases; development of a method to correct for Host Society of Japan 72(10):1373-1377. 1982.

7. KUSHALAPPA. A. C.; PELOSO, C. Epidemiologia de Doenças de Plantas - Uma Introduçao. Viçosa (Brasil), Universidade Federal de Viçosa, 1978. 16 p.

8. LEGUIZAMON C., J.E.; OROZCO G., L.; GOMEZ G., L. INFORME FINAL de investigación en epidemiología de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. en Colombia. Chinchiná (Colombia), JUNAC - CENICAFE, 1991. 188 p.

9. LIEBIG H., P. Growth and yield models as an aid for decision marking in protected crop production control. Acta Horticulturae (Holanda) 260:99-113. 1989.

10. SIERRA S., C. A.; RIVILLAS O., C. A.; GOMEZ G., L. O.; LEGUIZAMON C., J. E. Epocas de control químico de la roya del cafeto en Colombia para 1991. Zonas con cosecha importante en ambos semestres del año. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1991. 5 p. (Avances Técnicos Cenicafé Nº 156).

11. SIERRA S., C. A.; RIVILLAS O., C. A.; GOMEZ G., L. O.; LEGUIZAMON C., J. E. Recomendaciones para control químico de la roya del cafeto para 1991. Zonas con cosecha principal en el segundo semestre del año. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) Nº 157: 1-5. 1991.

12. SIERRA S., C. A.; RIVILLAS O., C. A.; GOMEZ G., L. O.; LEGUIZAMON C., J. E. Recomendaciones para control químico de la roya del cafeto para 1991. Zonas con cosecha principal en el primer semestre del año. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) Nº 158: 1-5. 1991.

13. VALENCIA A., G. Relación entre el índice del área foliar (IAF) y productividad del café. Cenicafé (Colombia) 24(4): 79-89. 1973.

14. VAN DER PLANK, J. E. Plant diseases; epidemic and control. New York (Estados Unidos), Academic Press, 1983. 349 p.