

Modelación matemática de *Alternaria solani* Sor. en tomate en función de la edad del cultivo y las variables meteorológicas

Mathematical modeling of *Alternaria solani* Sor. in tomato depending on climatic variables and crop age

Autores: M. Sc. Amauri Díaz Rodríguez*, Irladis Urgellez Cardosa, Noryaisis Abreu Romero y Arley Abreu Romero

Institución: Centro de Desarrollo de la Montaña. Limonar de Monte Ruz, El Salvador, Guantánamo. CP 99500. Tel.: 32 2229; 28 2207; 28 2209

E-mail: amaury@cdm.gtmo.inf.cu

Resumen.

Con la información de diferentes dinámicas de *Alternaria solani* Sor. en el cultivo del tomate, en zonas montañosas de Guantánamo durante el periodo 1999-2009, se desarrolló un estudio de modelación matemática de la intensidad de la enfermedad en función de la edad del cultivo y de las variables meteorológicas. El mejor ajuste y confiabilidad para caracterizar la intensidad de la enfermedad se logró con el modelo exponencial: $Y = \exp(-11.5842 - 0.0490226 * \text{Fenología} + 0.217819 * \text{H. R. Media} - 0.0880317 * \text{H. R. Mínima} - 0.0512557 * \text{Precip.} + 0.377033 * \text{Temp. Máx.}) / (1 + \exp(-11.5842 - 0.0490226 * \text{Fenología} + 0.217819 * \text{H. R. Media} - 0.0880317 * \text{H. R. Mínima} - 0.0512557 * \text{Precip.} + 0.377033 * \text{Temp. Máx.}))$

Palabras clave: *Solanum Lycopersicum*, *Alternaria Solani*, modelos matemáticos.

Abstract.

With the information from different dynamics of *Alternaria solani* Sor. in tomato cultivation in mountainous areas of Guantánamo during the period 1999-2009, we developed a mathematical modeling study of the intensity of the disease based on crop age and weather variables. The best fit and reliability to characterize the severity of the disease was achieved with the exponential model: $Y = \exp(-11.5842 - 0.217819 + 0.0490226 * * \text{HR Phenology Media} - 0.0880317 * \text{HR Minimum} - 0.0512557 * \text{Precip.} + 0.377033 * \text{Temp. Max.}) / (1 + \exp(-11.5842 - 0.217819 + 0.0490226 * * \text{HR Phenology Media} - 0.0880317 * \text{HR Minimum} - 0.0512557 * \text{precip.} + 0.377033 * \text{Temp. Max.}))$

Key words: *Solanum Lycopersicum*, *Alternaria Solani*, mathematical models

Introducción.

A finales de la década del 70 del pasado siglo comenzaron los trabajos de señalización y pronóstico de los organismos nocivos en los cultivos agrícolas y, se diseñó un sistema de trabajo basado en la implantación de metodologías, lo que condujo a la reducción de los programas de tratamientos químicos y por tanto a un considerable ahorro de los insumos de plaguicidas.

Entre los objetivos generales de la aplicación del pronóstico de enfermedades se encuentra el aumento de los ingresos producto de un mejor manejo de los fungicidas, la disminución de los riesgos de pérdidas debido a la ocurrencia de epifitias, así como la disminución del efecto potencial del deterioro del ambiente y la salud humana.

En Cuba, Gómez *et. al.* (1999) y Castellanos *et. al.* (2005 a y b) desarrollaron diferentes métodos de pronóstico del tizón temprano basados en múltiples dinámicas poblacionales evaluadas en provincias del centro y el occidente de nuestro archipiélago. Estos métodos de pronósticos presentan una efectividad limitada en la región oriental y en específico en áreas montañosas.

El objetivo del trabajo fue realizar la modelación matemática del desarrollo epidemiológico de *Alternaria solani* en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de montaña, en función de la edad de las plantas y las variables meteorológicas.

Materiales y métodos.

Las investigaciones se realizaron en áreas experimentales (Organopónico) del Centro de Desarrollo de la Montaña (CDM) ubicado en la localidad de Limonar de Monte Ruz, El Salvador, Guantánamo a 485 msnm.

El cultivo del tomate se desarrolló sobre un sustrato compuesto por suelo ferralítico rojo (Ferralsol éutrico) (Hernández *et. al.*, 1999) y cachaza, mezclados en proporción 1:3.

Se analizaron los porcentajes de intensidad de *A. solani* en cada evaluación semanal correspondientes a diferentes dinámicas poblacionales durante el periodo de 1999 al 2009 sobre diferentes variedades, para determinar las relaciones entre este indicador, la edad del cultivo en días de plantado y las variables meteorológicas.

Las variables climáticas que se tuvieron en cuenta para el estudio fueron temperatura (mínima, media y máxima); humedad relativa (mínima, media y máxima) y el acumulado semanal de precipitaciones, registrados en la Estación Agrometeorológica del CDM. Se calcularon los índices medios correspondientes a siete días antes de cada muestreo.

Con la información procesada se determinaron los modelos matemáticos que mejor describen la relación entre la intensidad de la enfermedad, la edad de las plantas en días después de plantados y todas las variables meteorológicas, mediante un análisis de regresión lineal múltiple.

Por último se realizó la modelación matemática por regresión no lineal de la intensidad de la enfermedad en función de la fenología y las variables meteorológicas. Para ello, la información se organizó según la edad del cultivo y se relacionó con el promedio de intensidad de la enfermedad y de la lluvia semanal y para el resto de las variables meteorológicas se tuvo en cuenta la mediana según recomendaciones de Cortiñas (1999).

El procesamiento de los datos se realizó con el empleo del sistema estadístico STATGRAPHICS Plus para Windows, versión 5.1, 2001.

Resultados y discusión.

Modelación matemática de la enfermedad en función de la edad del cultivo y las variables meteorológicas por regresión lineal múltiple.

Se ajustaron 219 modelos para el porcentaje de la intensidad. El mejor modelo alcanzó un coeficiente de determinación ajustado de 88.8 y quedó en función de la edad de las plantas, la humedad relativa media, las precipitaciones, la temperatura máxima y la temperatura media, seguido por el modelo que además de las variables fenología, humedad relativa media, temperatura máxima y media añade la humedad relativa mínima con un coeficiente de determinación ajustado de 88.4 (tabla 1).

Tabla 1. Resumen de los modelos para la intensidad de la enfermedad

Modelo	Error Cuadrado Medio	R ²	R ² ajustado	Cp	Variables Incluidas
1	129.64	89.363	88.8516	19.4499	ACEFG
2	134.88	88.9328	88.4007	24.1995	ACDFG
3	136.03	88.8385	88.3019	25.2413	ACFGH
4	141.15	88.4184	87.8616	29.8798	ACEFH
5	145.46	88.0642	87.4904	33.7901	ACDFH
6	148.47	87.7007	87.2322	35.8038	ACFH
7	154.63	87.1898	86.7018	41.4451	ACFG

A- Fenología B- H. R. Máxima C- H. R. Media
D- H. R. Mínima E- Precipitaciones F- Temp. Máxima
G- Temp. Media H- Temp. Mínima

El estadístico R-cuadrado ajustado mide la proporción de variabilidad de la intensidad de la enfermedad que es explicada por el modelo. Los modelos señalados anteriormente son los que presentan los valores mayores de R-cuadrado ajustado y los menores del estadístico Cp de Mallows. El estadístico Cp es una medida de sesgo en el modelo, basado en una comparación del error cuadrado medio total con la variación del error verdadero.

Castellanos *et. al.* (2005b) al ajustar diferentes modelos para la dispersión del tizón temprano en el cultivo de la papa en áreas de la provincia de Cienfuegos, determinaron que el mejor modelo fue el que incluyó los días de brotado el cultivo, la temperatura máxima promedio durante 14 días, la oscilación de humedad relativa durante ese mismo tiempo, la temperatura efectiva máxima por encima de 18 y 19°C durante siete días y la humedad relativa máxima > 95% durante cinco días, con un coeficiente de determinación ajustado de 0,666.

Modelación matemática no lineal de la intensidad de la enfermedad en función de la edad del cultivo y las variables meteorológicas.

El resultado del análisis estadístico para la modelación matemática no lineal de la probabilidad de la intensidad de la enfermedad arrojó que un modelo que utilizó una función Logit como enlace, con la fenología y 4 variables meteorológicas, manifestó un buen ajuste al presentar un porcentaje ajustado de desviación en la intensidad de la enfermedad igual a 80%. Este estadístico es similar al habitual coeficiente de determinación ajustado. En este modelo participan la edad del cultivo en días de plantado (fenología), la humedad relativa media y mínima, las precipitaciones y la temperatura máxima, siete días antes de cada evaluación y su expresión matemática es:

$$Y = \exp(-11.5842 - 0.0490226 * \text{Fenología} + 0.217819 * \text{H. R. Media} - 0.0880317 * \text{H. R. Mínima} - 0.0512557 * \text{Precipitaciones} + 0.377033 * \text{Temp. Máxima}) / (1 + \exp(-11.5842 - 0.0490226 * \text{Fenología} + 0.217819 * \text{H. R. Media} - 0.0880317 * \text{H. R. Mínima} - 0.0512557 * \text{Precipitaciones} + 0.377033 * \text{Temp. Máxima}))$$

En este modelo las variables meteorológicas humedad relativa media y temperatura máxima aportan positivamente y el resto de forma negativa. La temperatura y la humedad relativa tienen, de alguna forma, un rol importante en el comportamiento epidemiológico de *Alternaria solani*. Son variables meteorológicas que se tuvieron en cuenta en anteriores métodos de pronóstico del tizón temprano como el de Gómez *et. al.* (1999) y el de Castellanos *et. al.* (2005a).

Los resultados obtenidos al analizar la estrecha relación entre la edad del cultivo y el índice de infestación de las plantas enfermas confirman los planteamientos de Samaniego *et. al.* (1984), quienes al correlacionar ambos factores determinaron que la enfermedad es más severa después del fin de la floración.

El modelo permite conocer la probabilidad de la intensidad de la incidencia de la enfermedad en condiciones de montaña de forma dinámica, en dependencia de la edad de la planta y las condiciones meteorológicas que concurren. El conocimiento de la probabilidad de intensidad de la enfermedad tiene gran utilidad ya que permite tomar decisiones en edades tempranas del cultivo con respecto a las medidas de control.

Castellanos *et. al.* (2005b) al estudiar el comportamiento de la *Alternaria solani* en el cultivo de la papa, encontraron que el porcentaje de distribución de la enfermedad fue la variable biológica que presentó los coeficientes de correlación más altos con la edad del cultivo y las variables meteorológicas, seguido del porcentaje de intensidad.

A partir de estos resultados realizaron la modelación matemática no lineal de la dispersión de la enfermedad en función de la edad del cultivo y las variables meteorológicas y encontraron que un modelo exponencial que utiliza una función Log-log como enlace y donde participan como predictores la edad y seis variables meteorológicas mostró un buen ajuste.

En este modelo exponencial participan la edad del cultivo en días de plantado, la temperatura máxima, mínima y media y la humedad relativa máxima, mínima y media, siete días antes de cada evaluación y su expresión matemática es:

$$Y = 1 - \exp\left(-\left(\exp(-24,2205) \times (\text{edad}^{4,083}) \times \exp(0,0492 \times T_{\text{máx}} - 0,1441 \times T_{\text{mín}} + 0,1328 \times T_{\text{med}} + 0,0482 \times H_{\text{máx}} - 0,0232 \times H_{\text{mín}} + 0,0173 \times H_{\text{med}}) \times \text{edad}\right)\right)$$

El modelo anterior se obtuvo para condiciones que difieren mucho de las referidas en este trabajo. En áreas montañosas la disponibilidad de áreas para desarrollar el cultivo del tomate intensivamente es muy limitada, es por ello que en estas condiciones los organopónicos constituyen una alternativa para la producción de este cultivo.

Sin embargo, la forma en que la enfermedad se dispersa no sigue un patrón que permita en estos pequeños espacios determinar cómo se produce la misma; es por ello que en condiciones de montaña la variable biológica Intensidad de la enfermedad es más efectiva para predecir los brotes y el posterior desarrollo epidémico de la misma.

Conclusiones.

El modelo exponencial en función de la edad de las plantas y cinco variables climáticas $Y = \exp(-11.5842 - 0.0490226 * \text{Fenología} + 0.217819 * \text{H. R. Media} - 0.0880317 * \text{H. R. Mínima} - 0.0512557 * \text{Precip.} + 0.377033 * \text{Temp. Máx.}) / (1 + \exp(-11.5842 - 0.0490226 * \text{Fenología} + 0.217819 * \text{H. R. Media} - 0.0880317 * \text{H. R. Mínima} - 0.0512557 * \text{Precip.} + 0.377033 * \text{Temp. Máx.}))$ demostró el mejor ajuste y gran confiabilidad para explicar la intensidad del tizón temprano en condiciones de montaña.

Referencias Bibliográficas.

- Castellanos, L.; Rivero, T.; Porras, A. & Pajón, J. (2005^a). Modelación matemática de *Alternaria solani* Sor. en papa en función del tiempo. *Fitosanidad*, 9(1), p. 23-26.
- Castellanos, L.; Rivero, T.; Porras, A. & Pajón, J. (2005^b). Modelación matemática de *Alternaria solani* Sor. en papa en función de las variables meteorológicas y la edad del cultivo. *Fitosanidad*, 9(1), p. 27-32.
- Cortiñas, J. (1999). Metodología de regionalización. Informe final de etapa de investigación. La Habana: INISAV.
- Gómez, G. [et. al.] (1999). Modelo de pronóstico de tizón temprano (*Alternaria solani* Sor.) en papa y en tomate en Cuba. *Fitosanidad*, 3(3), p. 89-94.
- Hernández, A. [et. al.] (1999). *Nueva versión genética de los suelos de Cuba*. Instituto de Suelos. AGRINFOR. MINAGRI.
- Samaniego, L. M.; Olivera, W.; León, R. y D. Ruiz. (1984). Dinámica del tizón temprano en el cultivo de la papa en la provincia de matanzas. *Ciencias Biológicas*, 15(2), p. 343-352.
- Statistical Graphics Corp. Statgraphics Plus for Windows 5.1. 2001.

Fecha de recibido: 23 dic. 2010
Fecha de aprobado: 26 feb. 2011