COMPROBACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE LA METODOLOGÍA PARA LA REGIONALIZACIÓN FITOSANITARIA

Ángela Porras González, José Cortiñas Abrahantes, Santiago Jiménez Jiménez, Lérida Almaguel Rojas y Guadalupe Gómez Izaguirre

Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Calle 110 no. 514 e/ 5a. B y 5a. F, Playa, Ciudad de La Habana, CP 11600

RESUMEN

Estudios de regionalización de diferentes enfermedades y plagas han sido realizados usando varias técnicas estadísticas que requirieron el uso de algún parámetro estadístico y resumiera la información proveniente de los sitios permanentes de muestreo de los organismos nocivos o campos estacionarios involucrados. Estos parámetros tienen el inconveniente de que no siempre reflejan la realidad. Con el objetivo de comprobar la aplicabilidad de la metodología para la regionalización fitosanitaria se realizó en Alternaria porri *L. en ajo (*Allium sativum*), teniendo en cuenta los estudios de modelación realizados por Gómez y Cortiñas (2000). Se utilizaron los datos de 45 campos de muestreo permanente ubicados en cinco empresas de cultivos varios de La Habana: Alquízar, Batabanó, Güira de Melena, Güines y Melena del Sur. Se tomaron además los valores de las variables climáticas asociados a los territorios en estudio, teniendo en cuenta aquellas que resultaron efectivas en el estudio de modelación. Se identificaron los tipos de suelos asociados a cada campo, así como su relieve. Como resultado de la aplicación de la metodología se demostró que los territorios de las empresas de cultivos varios estudiados presentaron dos grupos de comportamiento de la enfermedad producida por* A. porri *en ajo (Güines y Melena del Sur como grupo 1, y Alquízar, Batabanó y Güira de Melena como grupo 2), las que se caracterizaron de manera particular por las temperaturas medias y mínimas, humedad relativa media, así como los días de precipitaciones.*

Palabras clave: *manejo integrado de plagas, regionalización, Alternaria porri, Allium sativum*

ABSTRACT

Regionalisation studies of different diseases and pests have been made using several statistical techniques which required use of some statistical parameter that summarize information to come of sampling permanent places of injurious organisms or involved stationary fields. These parameters have the inconvenient not ever reflex reality. With the objective to verify applicability of phytosanitary regionalization methodology was made in Alternaria porri *L. in garlic (*Allium sativum*) considering modelation studies made by Gomez and Cortiñas (2000). Data of 45 permanent sampling fields placed in 5 Enterprises of Havana: Alquízar, Batabanó, Güira, Güines and Melena were taken. Values of climatic variables associated to territories studied were taken also, considering those results effective in modelation study. Soil types associated to each fields were identified, as well as its relief. As result of application of methodology was demonstrated that territories of studied enterprises present two behavior groups of disease produced by* A. porri *in garlic (Güines and Melena as group 1 and Alquízar, Batabanó and Güira as group 2), characterizing in particular form by high and low temperatures, relative humidity medium as well as precipitation days.*

Key words: *Integrated pest management, regionalisation, Alternaria porri, Allium sativum*

INTRODUCCIÓN

Estudios de regionalización de diferentes enfermedades y plagas han sido realizados usando varias técnicas estadísticas, entre ellas análisis de regresión, análisis de varianza y técnicas multivariadas como componentes principales, análisis discriminantes, análisis de *cluster,* entre otras. Todos ellos requirieron el uso de algún parámetro estadístico que resumiera la información proveniente de los sitios permanentes de muestreo de los organismos nocivos o campos estacionarios involucrados. Estos parámetros estadísticos tienen el inconveniente de que no siempre reflejan la realidad. Tal es el caso del área bajo la curva: puede demostrarse que dos curvas presentan la misma área, sin embargo su evolución en el tiempo puede diferir abismalmente. También, si se utiliza la pendiente de la recta de regresión de la evolución de la enfermedad o plaga por regionalizar con respecto al tiempo, puede demostrarse que existan dos curvas con iguales pendientes y evoluciones diferentes. Métodos que pudieran utilizar toda la información recogida de los campos estacionarios involucrados en un estudio, resultarían recomendables aplicar para datos que presenten estas características, como los que se propusieron en la metodología para la regionalización fitosanitaria [Cortiñas *et al.*, 2000], cuya aplicabilidad comprobamos en este trabajo. Con este objetivo se decidió realizar la regionalización *Alternaria porri* L. en ajo (*Allium sativum*), teniendo en cuenta los estudios de modelación de la enfermedad realizados por Gómez y Cortiñas (2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los datos de 45 campos de muestreo permanente ubicados en cinco empresas de cultivos varios de La Habana: Alquízar, Batabanó, Güira de Melena, Güines y Melena del Sur. Se tomaron además los valores de las

variables climáticas asociados a los territorios en estudio, teniendo en cuenta aquellas que resultaron efectivas en el estudio de modelación. Se identificaron los tipos de suelos asociados a cada campo, así como su relieve según las clasificaciones en el *Atlas de Cuba*.

Con el objetivo de dilucidar diferencias en cuanto a comportamiento, se realizaron gráficos de los perfiles de los campos estacionarios de cada empresa, así como por tipo de siembra que se definieron dentro del calendario para el cultivo. Un gráfico de perfiles de todos los campos fue realizado con el objetivo de discernir qué debía considerarse como efecto aleatorio en el modelo. Se construyó un modelo del tipo

$$Y_i = X_i \cdot \beta + Z_i \cdot b_i + \varepsilon_i$$

donde Y_i representa la variable respuesta o la variable que va a ser utilizada para clasificar el territorio en estudio para el i-ésimo campo estacionario (distribución); $X_i \cdot \beta$ representa el comportamiento medio (parte fija del modelo), en la cual se involucran todas aquellas variables que se desean utilizar para establecer las zonas de comportamiento; $X_i \cdot b_i$ la parte aleatoria del modelo que se toma teniendo en cuenta los gráficos de los perfiles y representa el error [Verbeke y Molenberghs, 1997].

Sobre el modelo planteado, se realizó un análisis de modelos mixtos con la finalidad de establecer el más sencillo por utilizar para describir los datos. Posteriormente se procedió a estudiar su validez realizando estudios gráficos del comportamiento medio observado y estimado por el modelo para los diferentes grupos de comportamiento, obtenidos en el proceso de definición del modelo, así como un análisis gráfico de los residuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de los tipos de suelo y el relieve dadas por el *Atlas de Cuba* para las zonas del territorio de La Habana comprendidas en este estudio es la misma (suelos ferralíticos y relieve de llanura fluviomarina), por lo que ambas quedaron excluidas del análisis.

Como resultado del análisis exploratorio de los datos, en las *Figs. 1-5* se muestran los gráficos de perfiles para el conjunto de campos correspondientes a las diferentes empresas de cultivos varios.

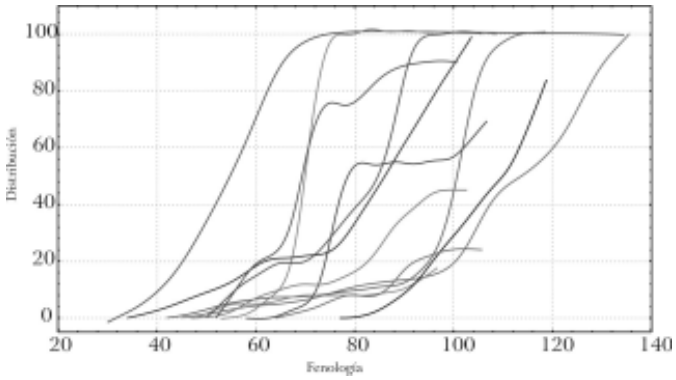


Figura 1. Empresa de Güira de Melena.

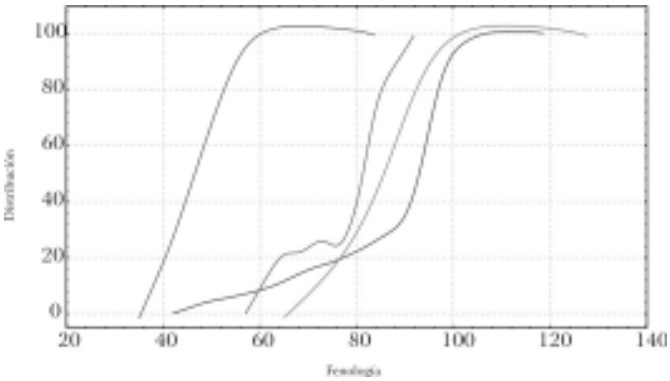


Figura 2. Empresa de Batabanó.

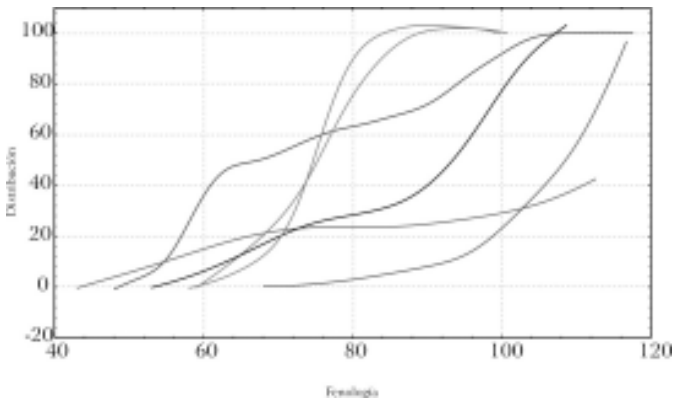


Figura 3. Empresa de Alquízar.

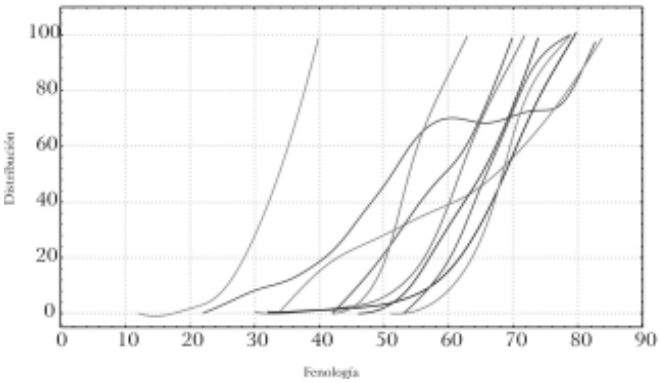


Figura 4. Empresa de Güines.

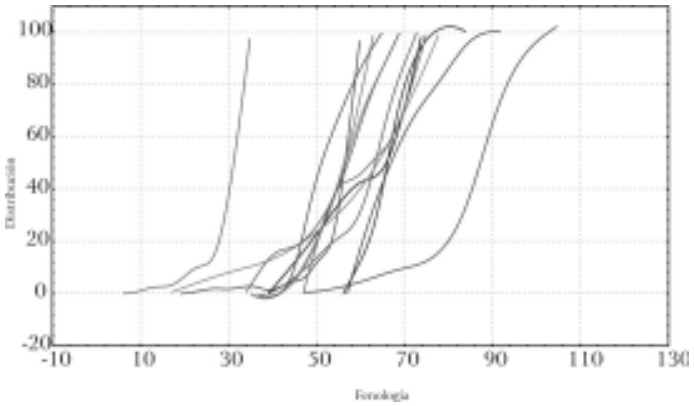


Figura 5. Empresa de Melena del Sur.

Se aprecia que existen diferencias en el comportamiento de la *Alternaria porri* en las diferentes empresas en estudio. Teniendo en cuenta el pequeño número de campos pertenecientes a Batabanó y su comportamiento, se decidió considerarla asociada a Güira de Melena, debido a la similitud que presentaban ambas empresas, y el resto se consideraron cada una como un grupo. Por tanto, para el proceso de modelación posterior se partiría de cuatro grupos de comportamiento. Los gráficos obtenidos en el estudio por tipo de siembra se muestran a continuación (*Fig. 6-8*).

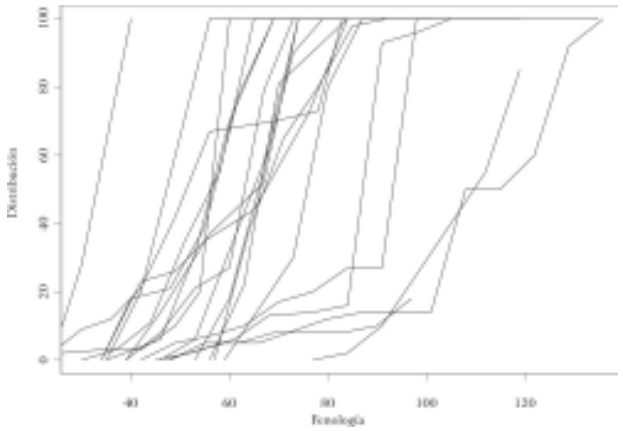


Figura 6. Gráfico de perfiles para los campos estacionarios considerados como Siembra I.

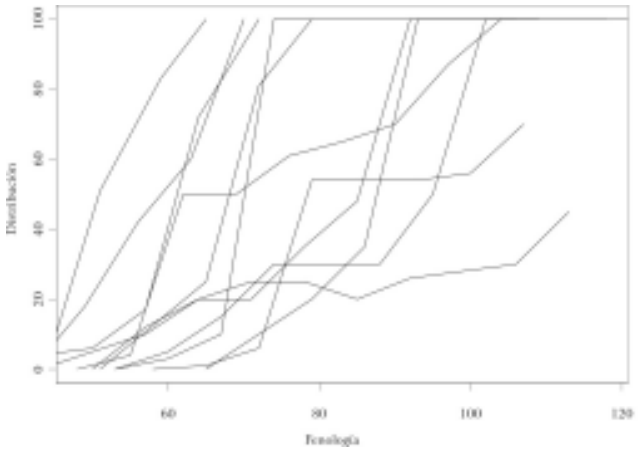


Figura 7. Gráfico de perfiles para los campos estacionarios considerados como Siembra II.

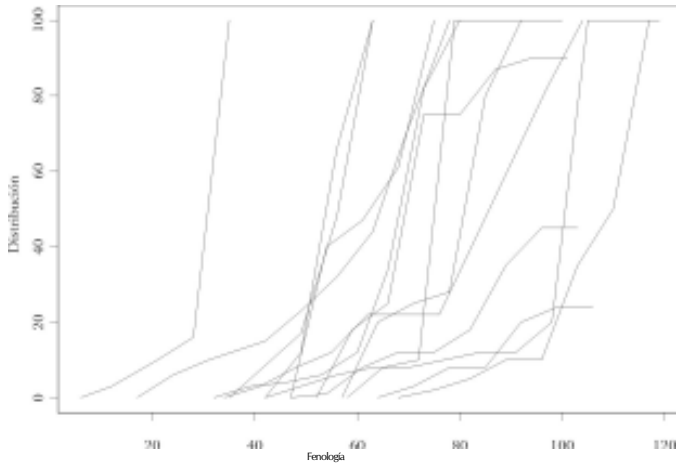


Figura 8. Gráfico de perfiles para los campos estacionarios considerados como Siembra III.

Se aprecia, de los gráficos anteriores, que existe alguna diferencia en el comportamiento de la enfermedad según el tipo de siembra, lo cual indica que la variable debe ser involucrada en el modelo.

En la *Fig. 9* se muestra el gráfico de los perfiles de todos los campos, donde se puede apreciar una gran variabilidad de comportamiento. Las curvas presentan diferentes interceptos y pendientes, lo cual indica que deben utilizarse ambos como efecto aleatorio. Es decir, el modelo para describir el campo constará de una parte fija que se intentará modelar usando las variables climáticas, la variable grupo, asociada al comportamiento por empresa, así como la variable tipo de siembra y una parte aleatoria que será el intercepto por utilizar para modelar el campo, así como el parámetro asociado a la fenología, el cual define la pendiente de la curva que ha de describirse.

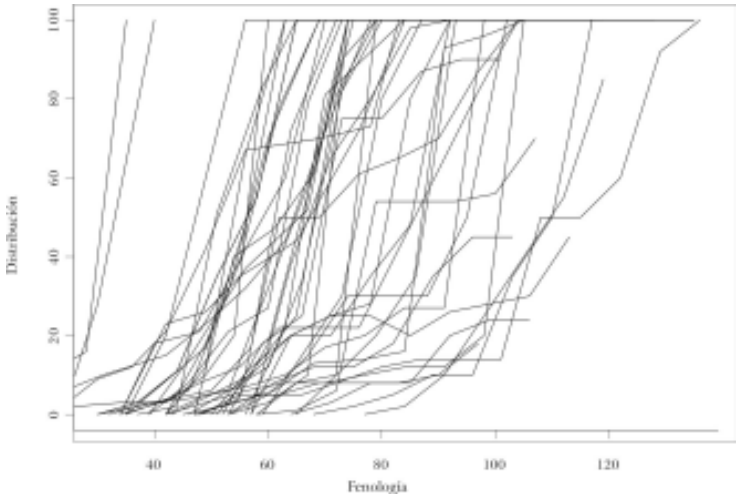


Figura 9. Gráfico de los perfiles del total de campos de las empresas de cultivos varios involucradas en el análisis.

El proceso de modelación mediante modelos mixtos lineales, usando las conclusiones aportadas por el análisis gráfico exploratorio de los datos, mostró que en el siguiente modelo puede ser reducido el número de variables por utilizar para clasificar el territorio en estudio (*Tabla 1*).

De la tabla anterior se deduce que existe un grupo de variables (T_{max}, HR_{max}, Hr_{min}, precipitación y tipo de siembra) involucradas en la clasificación del territorio que no contribuyen a ella, por lo que procedimos a eliminarlas del modelo y continuamos con el proceso de modelación. La prueba estadística para los efectos fijos corroboró que el grupo de variables antes mencionado se puede eliminar del modelo (*Tabla 2*). Teniendo en cuenta que la variable fenología resultaba la variable clave en el proceso, se decidió mantenerla.

Un segundo modelo fue ajustado con el objetivo de dilucidar si la variable grupo, que representa la caracterización de la zona, resultaba significativa o no, así como determinar si los grupos dados por el análisis exploratorio eran los que debían considerarse desde el punto de vista estadístico. La siguiente tabla muestra los valores estimados de los parámetros asociados a las variables involucradas (*Tabla 3*).

Los niveles de significación en general son mas bajos para este modelo, lo cual indica que este conjunto de variables permite explicar las variaciones de la enfermedad en el campo. Esto se confirma si tenemos en cuenta el test de Deviance (9,66 para Df = 14) (Agresti 199) obtenido a partir de los valores de la función de verosimilitud para ambos modelos (3069,220; 3059,560), por lo que podemos decir que el modelo 2 no difiere significativamente del modelo 1 teniendo en cuenta que el valor de *p* es 0,7866, por lo que podemos eliminar las variables que fueron excluidas de este modelo para describir el comportamiento de la enfermedad (*Tabla 4*).

Se aprecia que los niveles de significación de las variables son en general menores de 0,20, por lo que se puede considerar que están alrededor de la frontera de la significación estadística. Para el caso de la variable grupo, ella no aporta significativamente, pero en interacción con la fenología resulta muy significativa, por lo que se procedió a analizar si los grupos establecidos en el análisis exploratorio debían ser restructurados o no, para lo cual se realizó un análisis de contraste que se muestra en la siguiente tabla (*Tabla 5*).

Los grupos que comprenden las empresas de cultivos varios de Güines y Melena del Sur pueden ser considerados, desde el punto de vista estadístico, que presentan comportamiento similar, al igual que Alquízar, con Batabanó y Güira de Melena, por lo que se restructuraron teniendo en cuenta el análisis anterior, y se procedió a realizar uno nuevo, pero ahora considerando una nueva estructura de grupo.

Tabla 1. Parámetros estimados, error estándar y nivel de significación obtenidos para el primer modelo

Efecto		Estimado	Error estándar	Nivel de significación
FENO		0,59354722	2,0925551	0,7782
TMAX		4,41473271	5,81632291	0,4486
TMED		–15,9862867	6,76558708	0,019
TMIN		6,25176249	3,90844465	0,111
HRMAX		–1,70709667	2,18923027	0,4363
HRMED		2,21821736	1,92043821	0,2492
HRMIN		–0,33540519	1,30821884	0,7979
PP		0,06154954	0,15076454	0,6835
DPP		–4,18279201	3,26067721	0,2008
TSIEM	1	67,2804398	166,265931	0,6861
TSIEM	2	49,2260093	165,888623	0,7669
TSIEM	3	61,6236105	165,697932	0,7103
GRUPO	1	–23,0850163	20,2357725	0,2551
GRUPO	2	–33,3184057	22,212699	0,135
GRUPO	3	–8,87855016	27,696432	0,7488
GRUPO	4	0	–	–
FENO*TMAX		–0,04251764	0,07254974	0,5584
FENO*TMED		0,21337323	0,09514983	0,0259
FENO*TMIN		–0,09388747	0,05645886	0,0977
FENO*HRMAX		0,00821318	0,02924604	0,7791
FENO*HRMED		–0,02930135	0,02657879	0,2714
FENO*HRMIN		0,00716731	0,01767456	0,6855
FENO*PP		–0,0008964	0,00218112	0,6815
FENO*DPP		0,0413966	0,04514387	0,3601
FENO*TSIEM 1		–0,09467985	0,28368119	0,7389
FENO*TSIEM 2		0,24967836	0,32421379	0,442
FENO*TSIEM 3		0	–	–
FENO*GRUPO 1		1,01927862	0,31136653	0,0012
FENO*GRUPO 2		1,13623184	0,3419276	0,001
FENO*GRUPO 3		–0,01059743	0,38659152	0,9782
FENO*GRUPO 4		0	–	–

Tabla 2. Suma de Cuadrado de Tipo III para evaluar los efectos fijos del modelo en estudio

Efecto	Tipo III	Pr > F
FENO	0,33	0,5684
TMAX	0,58	0,4486
TMED	5,58	0,019
TMIN	2,56	0,111
HRMAX	0,61	0,4363
HRMED	1,33	0,2492
HRMIN	0,07	0,7979
PP	0,17	0,6835
DPP	1,65	0,2008
TSIEM	0,37	0,6938
GRUPO	0,88	0,4501
FENO*TMAX	0,34	0,5584
FENO*TMED	5,03	0,0259

Efecto	Tipo III	Pr > F
FENO*TMIN	2,77	0,0977
FENO*HRMAX	0,08	0,7791
FENO*HRMED	1,22	0,2714
FENO*HRMIN	0,16	0,6855
FENO*PP	0,17	0,6815
FENO*DPP	0,84	0,3601
FENO*TSIEM	0,61	0,5454
FENO*GRUPO	5,86	0,0007

Tabla 3. Parámetros estimados, error estándar y nivel de significación obtenidos para el segundo modelo

Efecto	Estimado	Error estándar	Nivel de significación
FENO	1,41715054	1,32820999	0,2922
TMED	–11,0965286	4,4687051	0,0137
TMIN	5,60890171	3,49250864	0,1096
HRMED	1,58429741	1,16309152	0,1744
DPP	–4,28823675	2,7867652	0,1252
GRUPO 1	–62,7082719	103,476835	0,5451
GRUPO 2	–75,8780469	101,256731	0,4544
GRUPO 3	–55,3887693	98,2222685	0,5733
GRUPO 4	–44,1095185	101,375178	0,6639
FENO*TMED	0,14462768	0,06485813	0,0267
FENO*TMIN	–0,06859124	0,04842129	0,1579
FENO*HRMED	–0,02567976	0,01545467	0,0979
FENO*DPP	0,04345711	0,03860885	0,2615
FENO*GRUPO 1	0,93106111	0,29050039	0,0015
FENO*GRUPO 2	1,11642919	0,32084456	0,0006
FENO*GRUPO 3	0,0887404	0,34447311	0,7969
FENO*GRUPO 4	0		

Tabla 4. Suma de Cuadrado de Tipo III para evaluar los efectos fijos del modelo 2

Efecto	Tipo III	Pr > F
FENO	2,2	0,1458
TMED	6,17	0,0137
TMIN	2,58	0,1096
HRMED	1,86	0,1744
DPP	2,37	0,1252
GRUPO	0,7	0,5918
FENO*TMED	4,97	0,0267
FENO*TMIN	2,01	0,1579
FENO*HRMED	2,76	0,0979
FENO*DPP	1,27	0,2615
FENO*GRUPO	5,98	0,0006

Tabla 5. Resultados del análisis de contraste

Contraste	NDF	DDF	F	Pr > F
Melena = Güines	2	242	0,17	0,8409
Melena = Alquízar	2	242	10,04	0,0001
Melena = Batabanó y Güira	2	242	14,41	0,0001
Güines = Alquízar	2	242	9,5	0,0001
Güines = Batabanó y Güira	2	242	12,95	0,0001
Alquízar = Batabanó y Güira	2	242	0,16	0,8517

Los estimadores de los coeficientes asociados a las variables involucradas en el modelo considerando la nueva clasificación del territorio se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 6. Parámetros estimados, errores estándar y niveles de significación obtenidos para el segundo modelo

Efecto	Estimado	Error estándar	Nivel de significación
FENO	1,66195376	0,88764439	0,0670
TMED	–10,7442312	4,39862371	0,0153
TMIN	5,27925042	2,92155544	0,0723
HRMED	1,79593696	1,11094949	0,1073
DPP	–4,40634959	2,75354152	0,1108
GRUPO 1	–86,6527639	44,8964236	0,0547
GRUPO 2	–65,6611267	34,9289371	0,0612
FENO*TMED	0,14088086	0,06393475	0,0285
FENO*TMIN	–0,06479507	0,04791343	0,1775
FENO*HRMED	–0,02831604	0,01472907	0,0557
FENO*DPP	0,04512645	0,03048169	0,1385
FENO*GRUPO 1	0,98049226	0,22921189	0,0001
FENO*GRUPO 2	0	–	–

Los niveles de significación alcanzados por todas las variables se redujeron considerablemente, siendo notorio el caso de la variable grupo, lo cual indica que la nueva clasificación propuesta define el comportamiento de la enfermedad. Un estudio de los efectos de las fuentes fijas de variación en el modelo fue realizado, y es mostrado en la *Tabla 7.*

Tabla 7. Suma de Cuadrado de Tipo III para evaluar los efectos fijos del modelo 3

Efecto	Tipo III	Pr > F
FENO	4,91	0,0324
TMED	5,97	0,0153
TMIN	3,27	0,0723
HRMED	2,61	0,1073
DPP	2,56	0,1108
GRUPO	3,49	0,0319
FENO*TMED	4,86	0,0285
FENO*TMIN	1,83	0,1775
FENO*HRMED	3,70	0,0557
FENO*DPP	2,20	0,1385
FENO*GRUPO	18,3	0,0001

Este análisis corrobora todo lo expuesto, evidenciando el aporte significativo de la variable grupo al modelar el comportamiento de la enfermedad. Un análisis de contraste fue realizado para confirmar esta afirmación (*Tabla 8*).

Tabla 8. Resultado del análisis de contraste

Contraste	NDF	DDF	F	Pr > F
Melena y Güines = Resto	2	242	24,96	0,0001

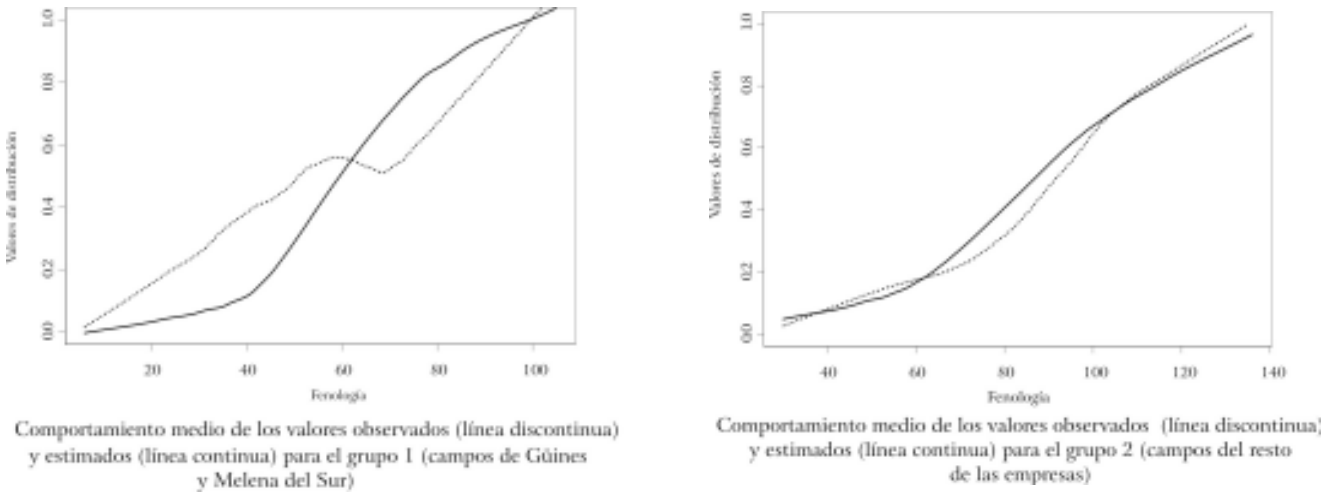
Se demuestra la existencia de dos grupos de comportamiento de la enfermedad. Un análisis comparativo del modelo obtenido utilizando dos zonas de comportamiento con el modelo anterior que consideraba cuatro zonas fue realizado, usando para ello los criterios de información propuestos por Akaike y Schwarz, los cuales se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 9. Valores de los criterios de información para la comparación de los modelos

Criterio de información	Modelo 2	Modelo 3
Akaike	–1 533,78	–1540,28
Schwarz	–1 541,34	–1547,87

Teniendo en cuenta que el modelo final obtenido presenta valores menores tanto para Akaike como para Schwarz, puede decirse que este ajusta mejor los datos. Este último modelo caracteriza las zonas de comportamiento desde el punto de vista climático de la siguiente manera. La zona que comprende las empresas de cultivos varios de Güines y Melena del Sur se caracterizan por temperaturas medias promedios de 21,74ºC, mínimas promedios de 16,91ºC, humedades relativas medias promedios de 81,88%, así como 1,16 días de precipitación promedio. Para el caso del territorio que comprende Alquízar, Batabanó y Güira de Melena, quedó caracterizado de la siguiente manera: temperaturas medias promedios ligeramente superiores (21,9ºC), mínimas promedios ligeramente inferiores (16,6 ºC), humedades relativas medias promedios inferiores (79,8%) y mayores promedios de días con precipitación (1,5 días).

También con el objetivo de estudiar la validez del modelo, fueron realizados análisis gráficos. En la *Fig. 10* se muestran gráficos por grupos del comportamiento medio observado y estimado por el modelo.



Comportamiento medio de los valores observados (línea discontinua) y estimados (línea continua) para el grupo 1 (campos de Güines y Melena del Sur)

Comportamiento medio de los valores observados (línea discontinua) y estimados (línea continua) para el grupo 2 (campos del resto de las empresas)

Figura 10. Gráfico de los comportamientos medios de los grupos de evolución de la enfermedad.

El gráfico realizado para el grupo 1 muestra ligeras diferencias entre el comportamiento medio observado y el estimado, no así para el grupo 2, cuyas líneas están realmente cercanas. Es importante señalar cómo la evolución de la enfermedad caracteriza las zonas, siendo más acelerada para las comprendidas por las empresas de cultivos varios de Güines y Melena del Sur, lo cual está en concordancia con la caracterización climática.

En la *Fig. 11* se observa que la mayoría de los residuos obtenidos se encuentran entre –2 y 2, así como la no existencia de un patrón definido, lo cual refleja la validez del modelo planteado.

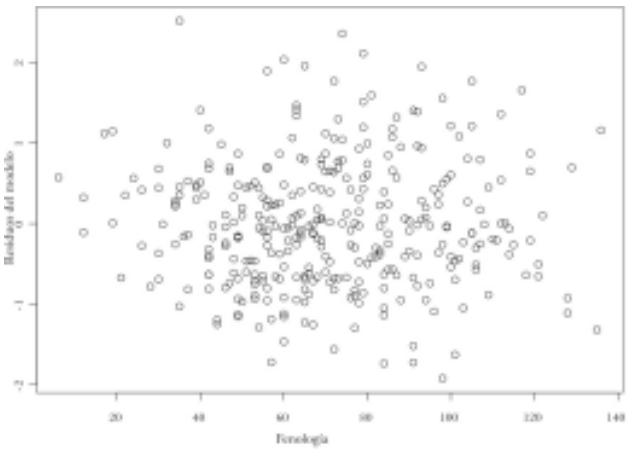


Figura 11. Gráfico de los residuos para la comprobación del modelo 3.

CONCLUSIONES

- Los métodos propuestos en la metodología para la regionalización fitosanitaria permitieron caracterizar el territorio, haciendo uso de toda la información proveniente de los muestreos periódicos de cada campo estacionario.
- Es posible utilizar todas aquellas variables que se deseen incluir en el proceso de caracterización del territorio (fenología, clima, relieve, suelo, tipo de siembra y otras).
- Esta metodología, basada en la modelación campo a campo, permitió reducir la varianza del error introduciendo nuevos parámetros que recogieron parte de la variación intrínseca de cada campo, lo que conllevó a una mejor estimación y, por tanto, un resultado más confiable.
- Como resultado de la aplicación de la metodología se demostró que los territorios de las empresas de cultivos varios estudiados presentan dos grupos de comportamiento de la enfermedad producida por *A. porri* en ajo (Güines y Melena del Sur como grupo 1, y Alquízar, Batabanó y Güira de Melena como grupo 2), caracterizándose de manera particular por las temperaturas medias y mínimas, humedad relativa media, así como los días de precipitaciones.
- Esta metodología es aplicable si se cuenta con conocimientos estadísticos que permitan seguir el procedimiento planteado en ella.

REFERENCIAS

Agresti, A.: *An Introduction to Categorical Data Analysis,* John Wiley & Sons, Inc., New York, E.U., 1996.

Cortiñas, J.: «Metodología para la regionalización fitosanitaria». Informe de Etapa 238.03 PR MIP Sanidad Vegetal, MINAGRI, La Habana, 2000

Gómez, G.; J. Cortiñas; L. Llanes: «Una propuesta de modelo matemático no lineal de la probabilidad de dispersión de la mancha púrpura del ajo en La Habana». Informe de Etapa 239.03 PR MIP Sanidad Vegetal,MINAGRI, La Habana, 2000.

Verbeke, G.; y G. Molenberghs: *Linear Mixed Models in Practice. A SAS-Oriented Approach,* Springer-Verlag, New York, Inc., E.U., 1997.