

## **Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el ciclo primavera-verano en la región sureste del estado de México**

### **Spatial distribution of gladiolus rust (*Uromyces transversalis*) during spring-summer cycle in the southeast region of the state of Mexico**

Rosalba Quiñones-Valdez <sup>1</sup>, Jesús Ricardo Sánchez-Pale <sup>2</sup>, Ana Karen Pedraza-Esquivel <sup>3</sup>, Alvaro Castañeda-Vildozola <sup>2</sup>, Omar Franco-Mora <sup>2</sup>

Originales: *Recepción*: 28/01/2015 - *Aceptación*: 20/11/2015

#### **RESUMEN**

La roya transversal (*Uromyces transversalis*) afecta al follaje y demerita la calidad de la flor del gladiolo (*Gladiolus* spp.) lo cual provoca fuertes daños económicos en la producción y puede llegar a causar la pérdida total del cultivo. Los estudios de análisis espacial de enfermedades son fundamentales para planificar estrategias de manejo, mejorar los métodos de muestreo y determinar las pérdidas actuales o potenciales de producción. El objetivo del presente trabajo fue analizar la distribución espacial de roya transversal en los municipios de Tenancingo, Villa Guerrero y Ocuilan en la región sureste del Estado de México durante el ciclo primavera-verano de los años 2013 y 2014, con técnicas geoestadísticas. Se determinó el nivel de severidad que expresaron las plantas en 121 puntos de muestreo georreferenciación por cada parcela evaluada. La roya presentó una distribución espacial de tipo agregada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo donde se expresó, en los dos años de estudio. El modelo que mejor describió la dependencia espacial fue el de tipo gaussiano, seguido del esférico.

#### **Palabras clave**

*Uromyces transversalis* • gladiolo • semivariograma

- 
- 1 Alumna del Programa de Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo Toluca 50200, Estado de México, México.
  - 2 CIEAF, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. [jrsanchezp@uaemex.mx](mailto:jrsanchezp@uaemex.mx)
  - 3 Alumna de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.

## ABSTRACT

Gladiolus rust, caused by *Uromyces transversalis*, affects foliage and reduces flower quality of *Gladiolus* spp.; this can lead to severe economic loss because of reduced yields, and even total crop loss. Spatial analysis studies of this disease are fundamental in order to plan strategies to manage crop health, improve sampling methods, and determine both current and potential production losses. The aim of this study was to analyze the spatial distribution of rust using geostatistical techniques in the municipalities of Ocuilan, Tenancingo and Villa Guerrero, in the southeastern region of the State of Mexico, during the spring-summer growing cycles of 2013 and 2014. The severity level of the disease was estimated at 121 georeferenced sampling points within each evaluated area. Gladiolus rust showed an aggregated spatial distribution in the different crop phenological stages during which it expressed throughout the two years of the study. The spatial dependency model was best described by the Gaussian model, followed by the spherical one.

### Keywords

*Uromyces transversalis* • gladiolus • semivariogram.

## INTRODUCCIÓN

La región sureste del estado de México es la principal productora de flor de corte en México. Se caracteriza por el cultivo de diversas especies ornamentales de alto valor económico como rosa, clavel y gladiolo. Su producción y venta se concentran en fechas clave de venta como son la celebración del día de la madre, del padre y de muertos, aunque para el mercado internacional se produce durante todo el año (15).

El cultivo de gladiolo (*Gladiolus* spp.) es considerado la principal flor de corte, su cultivo es una fuente generadora de empleo y divisas. Por la importancia social y económica que representa este cultivo es de vital importancia atender a los factores que limitan su producción como son los insectos plaga y enfermedades. Dentro de las enfermedades, se destacan el secamiento causado por *Fusarium* spp. y la roya transversal ocasionada por *Uromyces*

*transversalis* (Thumen) G. Winter. La roya es considerada una enfermedad de tipo cuarentenario en México y norte del continente Americano (12) que demanda una fuerte cantidad de insumos agrícolas para su manejo (3).

La roya afecta al follaje del gladiolo y demerita la calidad de la flor para su comercialización, provocando fuertes daños económicos en la producción, así como un decremento en las exportaciones (16) y puede causar la pérdida total del cultivo (17). La enfermedad se manifiesta principalmente en las hojas y tallos de la planta, que presentan pústulas dispuestas en forma transversal a las nervaduras de la hoja (2), con polvo amarillo-naranja (urediosporas). Las pústulas llegan a unirse formando manchas más grandes, conforme avanza el daño, las lesiones se tornan de color café-oscuro y finalmente se observa necrosis.

La diseminación de la enfermedad ocurre a partir de cormos, rizomas y flores contaminados con esporas de la roya, así como hojas y tallos infectados (12). Este patógeno causa daños superiores al 60%, si la infección ocurre en etapas tempranas se puede presentar una reducción en la calidad de la flor y en el tamaño del cormo. Su presencia en etapas tardías impacta en la diseminación de la enfermedad, a través del cormo infestado, a otras parcelas o regiones (10). Su control se ha realizado con fungicidas de origen químico, sin considerar los patrones espaciales que presenta.

Los estudios de distribución espacial son fundamentales para planificar las estrategias adecuadas de manejo de la roya del gladiolo, mejorar los métodos de muestreo, determinar las pérdidas actuales y potenciales de producción del cultivo y adoptar técnicas de agricultura de precisión. En este sentido, los métodos geoestadísticos proporcionan una medida directa de la dependencia espacial, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional (Coordenadas X e Y), de la distribución de los organismos (18) y permiten elaborar mapas de su distribución espacial (5). Los mapas ayudan a direccionar las alternativas de control hacia zonas específicas donde *a priori* se espera o existe una mayor probabilidad de presentarse la enfermedad, o se pueda extender.

En México, se carece de información sobre el comportamiento espacial de la roya transversal del gladiolo a nivel de parcela. Por tanto, es importante generar datos de los patrones espaciales a través del ciclo de producción que puedan ser visualizadas mediante mapas. Así, los objetivos del presente estudio fueron: 1) analizar la distribución espacial de la roya transversal con el uso de técnicas geoestadísticas y 2) obtener mapas que permitan la visualización de los patrones espaciales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis espacial de la roya transversal del gladiolo, se realizó durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2013 y 2014, cuya flor se destina a la comercialización en la fecha conmemorativa del día de padre. El trabajo se llevó a cabo en los municipios de Tenancingo, Villa Guerrero y Ocuilan, con antecedentes de la presencia de la enfermedad. En cada municipio se realizó tres muestreos en las siguientes etapas fenológicas del cultivo, a) a los 30 Días Después de la Siembra (DDS, etapa vegetativa), b) a los 55 DDS (etapa de espata) y c) a los 80 DDS (etapa de floración) en dos parcelas comerciales, sembradas con la variedad roja Borrega.

En cada parcela se estableció una malla de 100 m por cada lado, donde se marcaron puntos de muestreo a cada 10 m, para un total de 121/parcela. En cada punto se determinó la severidad de la enfermedad en la planta de gladiolo. La escala diagramática de severidad estuvo construida de seis grados con base al porcentaje de daño sobre el tejido de hoja: 1(sano, sin síntomas visibles), 2 (<15% área foliar dañada), 3(16 a 30%), 4(31 a 45%), 5(46 a 60%) y 6(>60%). La incidencia (%) se determinó como el cociente entre plantas con síntomas de roya y el total de plantas muestreadas, multiplicado por 100.

Las plantas fueron ubicadas geográficamente mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (dGPS) (Modelo SPS351, Trimble, USA). Se analizó los valores de la severidad de la enfermedad por cada fecha de muestreo. Se realizó una exploración estadística de los datos originales de la severidad de la enfermedad para determinar la normalidad de los datos y proceder a su análisis estadístico.

### Análisis geoestadístico

El análisis geoestadístico consistió en: 1) estimación del semivariograma; 2) estimación de los parámetros del modelo de semivariograma; 3) estimación de la superficie (mapas) utilizando puntos (estimaciones) a partir del kriging.

La estimación del semivariograma se hizo con los datos de la severidad determinada en los sitios de muestreo; el valor experimental del semivariograma se calculó en base a lo establecido por Isaaks y Srivastava (1989):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \left[ [z(x_i) + h] - z(x_i) \right]^2$$

donde:

$\gamma^*(h)$  = valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia  $h$ .

$N(h)$  = número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia  $h$ .

$z(x_i)$  = valor de la variable de interés en el punto muestral  $x_i$  y  $z(x_i+h)$  es el valor de la variable de interés en el punto muestral  $x_i+h$ .

A este semivariograma se le denomina experimental y se ajustó a un semivariograma teórico preestablecido.

El semivariograma experimental fue obtenido a través del programa VarioWin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring, NY, USA).

Para determinar el valor de la relación espacial entre los datos obtenidos en los muestreos se calculó el nivel de dependencia espacial. Este valor se obtiene al dividir el efecto pepita y la meseta, expresado en porcentaje: con menos de 25% es alto; entre 26 y 75% es moderado y mayor a 76% es bajo (9).

### Mapas de densidad

Se utilizó el Kriging con la finalidad de estimar los valores insesgados a puntos que no fueron muestreados para la elaboración de mapas de densidad, que permiten visualizar el comportamiento espacial de la roya transversal en el cultivo de gladiolo, en cada uno de los muestreos de los tres municipios analizados. Las estimaciones de la densidad de la enfermedad en las diferentes etapas fenológicas por parcela fueron representadas en un mapa a través del programa Surfer 9.0. (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14<sup>th</sup> Street Golden, CO, 804011866, USA).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los muestreos realizados en las tres etapas fenológicas, la presencia de roya transversal del cultivo del gladiolo se presentó hasta la etapa de floración en el año 2013, mientras que para el ciclo 2014 se presentó a partir de la etapa de espata. En los tres municipios evaluados, la presencia de la enfermedad coincidió con el inicio de la temporada de lluvias en los dos años de estudio.

En el ciclo 2013, la enfermedad alcanzó niveles de incidencia del 100% en Tenancingo (tabla 1, pág. 213), mientras que en Villa Guerrero (tabla 3, pág. 214) se presentaron los menores niveles, ambos en la etapa de floración. Respecto de la severidad, hubo variaciones en los dos años de estudio, en Tenancingo se manifestaron las mayores intensidades (3,85), mientras que las menores se vieron en la parcela uno de Villa Guerrero y en Ocuilan (tabla 2, pág. 213). En la parcela uno de Ocuilan no se presentó la enfermedad durante todo su ciclo.

**Tabla 1.** Densidad y parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo de roya en el cultivo de gladiolo en Tenancingo, México, durante el ciclo primavera-verano 2013 y 2014.

**Table 1.** Density and parameters of the models fitted to the semivariograms obtained in gladiolus rust sampling, during spring-summer 2013-2014, in Tenancingo, Mexico.

| Parcela | DDS <sup>a</sup> | Incidencia (%) | Severidad (media) | Modelo    | Pepita | Meseta | Rango | Pepita/Meseta % | Nivel de Dependencia |
|---------|------------------|----------------|-------------------|-----------|--------|--------|-------|-----------------|----------------------|
| 2013    |                  |                |                   |           |        |        |       |                 |                      |
| 1       | 30               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 80               | 91,08          | 2,95              | Gaussiano | 0      | 1,45   | 3,95  | 0               | Alto                 |
| 2       | 30               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 80               | 100,0          | 3,85              | Gaussiano | 0      | 1,38   | 3,45  | 0               | Alto                 |
| 2014    |                  |                |                   |           |        |        |       |                 |                      |
| 1       | 30               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 80               | 93,63          | 3,47              | Gaussiano | 0      | 1,79   | 4,07  | 0               | Alto                 |
| 2       | 30               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | 9,55           | 1,21              | Gaussiano | 0      | 0,53   | 4,53  | 0               | Alto                 |
|         | 80               | 94,27          | 3,08              | Gaussiano | 0      | 1,66   | 4,20  | 0               | Alto                 |

<sup>a</sup>DDS: Días después de la siembra.

<sup>a</sup>DDS: Days after sowing

**Tabla 2.** Densidad y parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo de roya en el cultivo de gladiolo, en Ocuilan, México, durante el ciclo primavera-verano 2013 y 2014.

**Table 2.** Density and parameters of the models fitted to the semivariogramas obtained in gladiolus rust sampling, during spring-summer 2013-2014, in Ocuilan, Mexico.

| Parcela | DDS <sup>a</sup> | Incidencia (%) | Severidad (media) | Modelo    | Pepita | Meseta | Rango | Pepita/Meseta % | Nivel de Dependencia |
|---------|------------------|----------------|-------------------|-----------|--------|--------|-------|-----------------|----------------------|
| 2013    |                  |                |                   |           |        |        |       |                 |                      |
| 1       | 30               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 80               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
| 2       | 30               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 80               | 91,08          | 2,65              | Gaussiano | 0      | 1,02   | 3,01  | 0               | Alto                 |
| 2014    |                  |                |                   |           |        |        |       |                 |                      |
| 1       | 30               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 80               | 3,18           | 1,10              | Gaussiano | 0      | 0,43   | 5,15  | 0               | Alto                 |
| 2       | 30               | -              | -                 | -         | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | 12,74          | 1,14              | Esférico  | 0      | 0,14   | 1,98  | 0               | Alto                 |
|         | 80               | 36,30          | 1,65              | Gaussiano | 0      | 0,44   | 5,18  | 0               | Alto                 |

<sup>a</sup>DDS: Días después de la siembra.

<sup>a</sup>DDS: Days after sowing

**Tabla 3.** Densidad y parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas obtenidos en el muestreo de roya en el cultivo de gladiolo en Villa Guerrero, México, durante el ciclo primavera-verano 2013 y 2014.

**Table 3.** Density and parameters of the models fitted to the semivariograms obtained in gladiolus rust sampling, during spring-summer 2013-2014, in Villa Guerrero, Mexico.

| Parcela | DDS <sup>a</sup> | Incidencia (%) | Severidad (media) | Modelo      | Pepita | Meseta | Rango | Pepita/Meseta % | Nivel de Dependencia |
|---------|------------------|----------------|-------------------|-------------|--------|--------|-------|-----------------|----------------------|
| 2013    |                  |                |                   |             |        |        |       |                 |                      |
| 1       | 30               | -              | -                 | -           | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | -              | -                 | -           | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 80               | 86,62          | 2,90              | Gaussiano   | 0      | 1,97   | 5,02  | 0               | Alto                 |
| 2       | 30               | -              | -                 | -           | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | -              | -                 | -           | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 80               | 86,62          | 1,95              | Gaussiano   | 0      | 0,54   | 2,20  | 0               | Alto                 |
| 2014    |                  |                |                   |             |        |        |       |                 |                      |
| 1       | 30               | -              | -                 | -           | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | 0,64           | 1,01              | Gaussiano   | 0      | 0,01   | 13,98 | 0               | Alto                 |
|         | 80               | 4,46           | 3,92              | Esférico    | 0      | 1,52   | 5,51  | 0               | Alto                 |
| 2       | 30               | -              | -                 | -           | -      | -      | -     | -               | -                    |
|         | 55               | 100,0          | 1,08              | Gaussiano   | 0      | 0,20   | 4,61  | 0               | Alto                 |
|         | 80               | 100,0          | 4,60              | Exponencial | 0      | 0,01   | 2,58  | 0               | Alto                 |

<sup>a</sup>DDS: Días después de la siembra.

<sup>a</sup>DDS: Days after sowing

En 2014, la mayor severidad se documentó en las parcelas de Villa Guerrero, mientras que en Ocuilan se cuantificaron los menores daños de la roya. Respecto de la incidencia de la enfermedad, en Villa Guerrero se presentaron niveles de 4,46 a 100% en la etapa de floración para las dos parcelas evaluadas, aunque su presencia se registró desde la etapa de espata, comportamiento similar se observó en las parcelas de Tenancingo, aunque la enfermedad se expresó por arriba del 90% en ambas parcelas. En Ocuilan, se presentaron las menores incidencias de la roya que fluctuaron de 3,18 a 36,30% al final del ciclo (tabla 2, pág. 213).

El alto nivel de dependencia espacial determinada en los diferentes modelos obtenidos durante los dos años de estudio son un indicativo de la relación espacial

que se presentó entre los datos de severidad determinados en cada punto de muestreo, es decir, los niveles de severidad de la roya se expresan de forma agregada en la parcela, la cual fue explicada con los semivariogramas determinados, logrando modelizar su distribución. Los modelos de los semivariogramas obtenidos variaron entre las tres localidades evaluadas y entre las diferentes fechas de muestreo de la enfermedad.

Los diferentes tipos de modelo ajustados entre las fechas de muestreo y aún entre años pueden deberse a la disponibilidad de inóculo en cada parcela y a factores medioambientales (18).

El modelo que mejor describió la dependencia espacial fue el de tipo gaussiano, seguido del esférico (tabla 2, pág. 213 y tabla 3).

El modelo gaussiano describió la variabilidad espacial y la capacidad de diseminación de la roya del gladiolo en corto tiempo, en forma específica de la etapa de espata a la etapa de floración (25 días) en Villa Guerrero y Tenancingo, así como la presentada hasta la etapa de floración en Ocuilan. La alta continuidad espacial se explicó con la extensión radial que ocupó, es decir, la aparición de la enfermedad en una planta llevó a la infección de las plantas vecinas (1) hasta un límite debido al tiempo de duración de la epidemia, o en otros casos, a la duración o fin del cultivo. Los modelos gaussiano indicaron que, la distancia máxima a la cual los valores de severidad de la roya muestran dependencia espacial se ubicaron en un rango del semivariograma de 2,20 a 5,02 m para el año 2013, mientras que para el año 2014 su rango fue de 4,07 a 13,98 m. Los valores pequeños en el rango son indicativos de una variabilidad espacial en pequeña escala, mientras que un valor mayor indica la existencia de variabilidad espacial sobre una escala mayor (8). De acuerdo con lo señalado por Moreno-López (2009) los puntos de muestreo que disten menos en su valor del rango entre sí, tendrán valores de severidad más semejantes que los correspondientes a los puntos que estén más separados. Por otro lado, la reducción en valor del rango del semivariograma en la etapa fenológica de floración (tabla 3, pág. 214) puede ser explicada por el uso continuo de diversos fungicidas para obtener flor con los requerimientos que demanda el mercado.

Los modelos esféricos encontrados en los patosistemas de Ocuilan (etapa de espata en la parcela dos) y Villa Guerrero (etapa de floración de la parcela dos) presentaron una dependencia espacial en rango del semivariograma de 1,98 y 5,52 m, respectivamente. Este modelo

ajustado se obtuvo con incidencias de la enfermedad por abajo del 12,74%. La modelización encontrada en el presente trabajo concuerda con lo reportado por Johnson *et al.* (2007) quienes describieron la variabilidad espacial del patosistema *Puccinia melanocephala*-caña de azúcar con modelos esféricos. Este modelo indica que la enfermedad se disemina a partir de una fuente primaria de inóculo que se expresa, en términos espaciales, en un patrón agregado (5). La agregación obtenida indica la existencia de zonas o puntos dentro de la parcela donde la enfermedad se manifiesta con mayor intensidad respecto del resto de puntos muestreados. Lo anterior, supone la existencia de condiciones ambientales favorables (corno infestado, diferencias en el relieve de la parcela que permite la acumulación de agua de riego o lluvia, etc.) o características de susceptibilidad dentro del genotipo del gladiolo que permiten una mayor expresión de la roya.

Únicamente en la etapa de floración en la parcela dos de Villa Guerrero se obtuvo un ajuste de la distribución espacial de la severidad de la roya al modelo exponencial. Dicho modelo indica que la distribución espacial de la roya tiene límites irregulares dentro de la parcela, es decir, expresa una distribución espacial discontinua. A pesar de tratarse de otro patosistema, la modelización con el modelo exponencial en el presente estudio, concuerda con lo reportado por Carvalho *et al.* (2009) con la roya del café (*Hemileia vastratix*) y por Twizeyimana *et al.* (2008), con la roya de la soya (*Phakopsora pachirhizi*).

En todos los modelos obtenidos se presentó un efecto pepita igual a cero, que de acuerdo con Twizeyimana *et al.* (2008), puede ser interpretado como un alto nivel de agregación de la severidad de la enfermedad; además es indicativo que el error

de muestreo fue mínimo y la escala de muestreo utilizada fue la adecuada.

Se observó que los patrones espaciales de distribución de la roya cambiaron a través del ciclo fenológico del cultivo de gladiolo durante el año 2014, pasando de un modelo de tipo gaussiano en la etapa fenológica de espata, a un modelo esférico o exponencial en la etapa de floración (tabla 2, pág. 213) o de esférico a gaussiano (tabla 3, pág. 214). Posiblemente ocasionado por los cambios en la incidencia o severidad de la enfermedad y al manejo que realizó el productor: eliminación de las primeras plantas enfermas, aplicaciones de fungicidas cada tercer día y el manejo del agua de riego.

Los mapas obtenidos por medio del kriging ordinario permitieron observar el comportamiento espacial en focos de agregación de la severidad de la roya transversal del gladiolo en las diferentes parcelas evaluadas durante el ciclo primavera-verano de los dos años de estudio (figura 1, pág. 217-218), así como los gradientes de la enfermedad que permiten su visualización.

En todos los mapas se logró visualizar la dinámica de avance de la enfermedad en el cultivo de gladiolo, de acuerdo con los valores que presentó el rango del semivariograma de la etapa fenológica de espata a floración. En el mapa obtenido en la parcela uno de Villa Guerrero en el ciclo 2013, se observó la presencia de centros de agregación distribuidos en la región este a oeste de la parcela, mientras que en la segunda parcela, se ubicaron en el centro de la parcela. En Tenancingo, los centros de agregación se ubicaron en la región noroeste y un centro de agregación en la región sureste de la parcela uno.

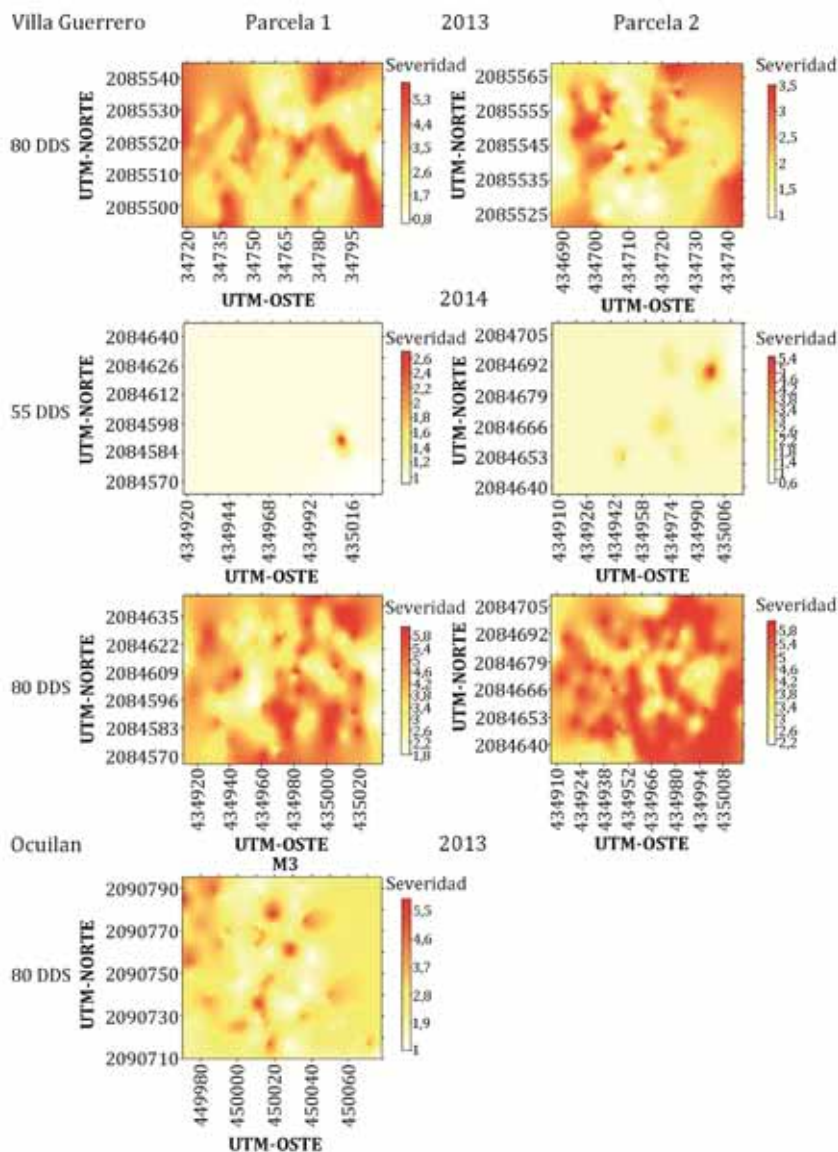
En la parcela dos, se observó la presencia de un centro de agregación en la región noroeste con tendencia a

distribuirse hacia el sureste. En Ocuilan, los centros de agregación de la parcela dos, se ubicaron en la región noroeste y ligeros centros de agregación en la región suroeste con tendencia hacia la región este.

En 2014, los centros de agregación de la parcela uno de Villa Guerrero se ubicaron al sureste, en la etapa de espata, mientras que para la etapa de floración, los centros de agregación se distribuyeron por toda la parcela (figura 1, pág. 217-218). En la segunda parcela, se observó que los centros de agregación se ubicaron al este, para distribuirse por toda la parcela en la etapa de floración. En Tenancingo, la parcela dos mostró los centros de agregación al noroeste y sureste durante la etapa de espata, en tanto que para la etapa de floración se distribuyeron por toda la parcela, siendo este último efecto similar para la parcela uno. Finalmente, en Ocuilan, los centros de agregación observados fueron muy evidentes y se situaron del noroeste a la región sur de la parcela dos durante la etapa de espata, manteniendo su patrón de distribución de los centros de agregación para la etapa de floración (figura 1, pág. 217-218). Mientras que en la parcela uno, los centros de agregación se ubicaron de noreste hacia la parte suroeste de la parcela, en la etapa de floración.

La agregación visualizada con los mapas indicó que la estrategia de manejo debe fundamentarse de acuerdo con la perspectiva de sitio o punto específico (4), excluyendo las aspersiones totales sobre toda la parcela. En este mismo sentido, una estrategia importante del manejo de la enfermedad es analizar sus patrones espaciales de distribución, porque pueden proporcionar información importante sobre la ecología del patógeno (ejemplo: dirección y distancia de avance o importancia y proximidad de las fuentes de inóculo).

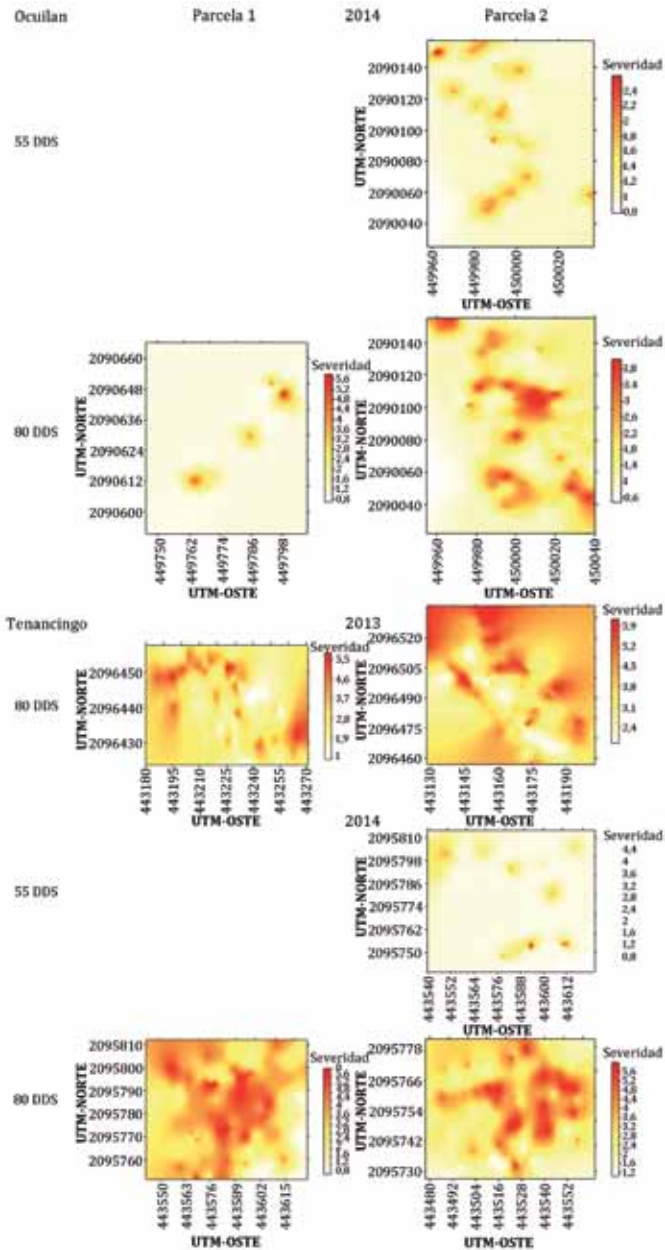




DDS: días después de la siembra. DDS: days after sowing.

**Figura 1.** Mapas de severidad de la roya transversal del gladiolo obtenidos en diferentes fechas de muestreo por parcela en tres municipios del Estado de México.

**Figure 1.** Maps of the severity of gladiolus rust obtained at different sampling dates per plot in three municipalities of the State of Mexico.



DDS: días después de la siembra. DDS: days after sowing.

**Figura 1 (cont.).** Mapas de severidad de la roya transversal del gladiolo obtenidos en diferentes fechas de muestreo por parcela en tres municipios del Estado de México.

**Figure 1. (cont.).** Maps of the severity of gladiolus rust obtained at different sampling dates per plot in three municipalities of the State of Mexico.

Los resultados sugieren realizar aplicaciones preventivas en los puntos iniciales de infestación, que seguramente tendría un efecto en el cambio de los patrones espaciales del ciclo, de igual forma se sugiere realizar aplicación con fungicidas curativos al inicio de los síntomas y de forma focalizada, y no eliminar la planta, pues solo diseminan a este tipo de enfermedad. Además, de un adecuado manejo del agua al tratar de mejorar la nivelación del relieve del terreno, sobre todo donde están los focos de infestación. Así mismo, permite dirigir las actividades de muestreo sobre las áreas o sitios específicos (13) y aplicar diversas acciones de control de la enfermedad de forma precisa a áreas específicas de infestación, como el uso de antagonistas y biofumigación (14) así como a reservorios o fuentes de inóculo que originan su posterior propagación. Esto representa las bases iniciales de protección vegetal en "sitios específicos", permitirá lograr ahorros económicos y un menor impacto al ambiente al reducir el uso de fungicidas en su manejo. El empleo de fungicidas de contacto hasta la etapa de espata e inicio de la temporada de lluvias, la aplicación con fungicidas curativos al inicio de los síntomas y el direccionamiento de las actividades de muestreo, permitirían justificar el uso de las técnicas de la agricultura de precisión para mantener bajo control los daños causados por la roya en la principal región productora de gladiolo en México. Este manejo tiene el potencial de reducir el uso de agroquímicos y de retardar el desarrollo de la resistencia (6).

La fiabilidad de los resultados obtenidos se verá fortalecida con los análisis que se realicen en los dos siguientes años, que permitan determinar la posible estabilidad espacial de la enfermedad en el mismo punto inicial de

infestación. Dicho resultado dará sustento a una predicción en términos espaciales para los posteriores cultivos de gladiolo.

## CONCLUSIONES

La roya transversal del gladiolo presentó una distribución espacial de tipo agregada en los dos años de estudio. El modelo que mejor describió la distribución espacial fue el de tipo gaussiano, seguido del esférico.

Los mapas obtenidos permitieron observar el comportamiento espacial en focos de agregación de la severidad de la roya transversal del gladiolo así como sus gradientes. Además, se visualizó la dinámica de avance de la enfermedad de acuerdo con los valores que presentó el rango del semivariograma desde la etapa fenológica de espata a floración.

La agregación visualizada con los mapas indicó que la estrategia de manejo debe fundamentarse desde la perspectiva de sitio o punto específico, excluyendo las aspersiones totales sobre toda la parcela.

La agregación de la enfermedad posibilita direccionar las actividades de muestreo y aplicar diversas acciones de control de la enfermedad, de forma precisa a áreas específicas de infestación y/o fuentes de inóculo que originan su posterior propagación. Esto justifica el uso de las técnicas de agricultura de precisión para mantener bajo control los daños causados por la roya en la principal región productora de gladiolo en México.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Alves, M. C.; Pozza, E. A.; Mahado, J. C.; Araújo, D.V.; Talamini, V.; Oliveira, M. S. 2006. Geoestatística como metodología para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a spp. transmitidos por sementes. *Fitopatologia Brasileira*. 31: 557-563.
2. Blomquist, C. L.; Thomas, S. L.; McKemy, J. M.; Nolan, P. A.; Luque-Williams, M. 2007. First report of *Uromyces transversalis*, causal agent of gladiolus rust, in San Diego County, California. *Plant Disease*. 91: 1202.
3. COMEXFLOR (Consejo Mexicano de la Flor). 2011. Disponible en: <http://www.conmexflor.org/mlists.php?mlistid=4> (Fecha de consulta 6 de octubre de 2014).
4. Carvalho, A. M.; Moreira, S. F.; Ampelio, P. E.; Silva, O. M. 2009. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. *Journal Pest Science*. 82: 137-148.
5. Carvalho, A. M.; Ampelio, P. E. 2010. Indicator kriging modeling epidemiology of common bean anthracnose. *Appl Geomat*. 2: 65-72.
6. Fleischer, J.; Blom, E.; Weisz, R. 1999. Sampling in Precision IPM: When The Objective Is a Map. *Phytopathology*. 89: 115-118.
7. Isaaks, E. H.; R. M. Srivastava. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York. 561 p.
8. Johnson, R. M.; Grisham, M. P.; Richard, E. P. Jr. 2007. Relationship between Sugarcane rust severity and soil properties in Louisiana. *Phytopathology*. 97: 748-755.
9. López-Granados, F.; Jurado-Expósito, M.; Atenciano, S.; García-Ferrer, A.; Sánchez, M.; García-Torres, L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant. Soil*. 246: 97-105.
10. Mason, P.; Man-Son-Hing, A.; Rizvi, A. 2007. Gladiolus rust (*Uromyces transversalis*): A national management plan for exclusion and eradication. *APHIS-USDA*. 34 p.
11. Moreno-López, J. L. 2009. Introducción a la geoestadística y su aplicación. México, D.F. 151 p.
12. NAPPO (North American Plant Protection Organization). 2005. Gladiolus rust (*Uromyces transversalis*). North American Plant Protection Organization. Newsletter.
13. Navas-Cortés, J. A.; Landa, B. B.; Mercado-Blanco, J.; Trapero-Casas, J. L.; Rodríguez-Jurado, D.; Jiménez-Díaz, R. M. 2008. Spatiotemporal analysis of spread of infections by *Verticillium dahliae* pathotypes within a high tree density olive orchard in southern Spain. *Phytopathology*. 98: 167-180.
14. Perniola, O. S.; Staltari, S.; Chorzempa, S. E.; Astiz Gassó, M. M.; Molina, M. del C. 2014. Control biológico de *Fusarium graminearum*: utilización de *Trichoderma* spp. y biofumigación con parte aérea de *Brassica juncea*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 46(2): 45-56.
15. PESA (Proyecto Estratégico para la Seguridad Alimentaria). 2010. Cultivo de Gladiolo. Unidad Técnica Nacional. Región Altos de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 36 p. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/86159752/CULTIVO-DE-GLADIOLO#scribd> (Fecha de consulta: 30/09/2015).
16. SAGARPA (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural y pesca). 2009. Estudios promercado: ornamental, floricultores y servicios ornamentales El Organal, S.C. de R.L. Querétaro, Qro. Méx. 225 p.
17. Schubert, T.; Leahy, R.; Silagyi, A. 2006. Gladiolus rust (*Uromyces transversalis*) Arrives in the US: Florida and California. Florida Department of Agriculture and Consumer Services. Division of Plant Industry Pest Alert. Available in: <http://www.invasivespeciesinfo.gov/microbes/gladrust.shtml>. (Accessed January 2015).
18. Soberon, J.; Peterson, A. T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2: 1-10.
19. Twizeyimana, M.; Ojiambo, P. S.; Sonder, k.; Ikotun, T.; Hartman, G. L.; Bandyopadhyay, R. 2008. Pathogenic variation of *Phakopsora pachyrhizi* infecting soybean in Nigeria. *Phytopathology*. 99: 353-361.

**AGRADECIMIENTO**

Al proyecto PROMEP UAEM-PTC-356 (FE38/2013) por los recursos otorgados para la realización de la presente investigación.