

Incidencia, severidad y distribución espacial de *Uromyces transversalis* en una nueva región del Estado de México

Incidence, severity and spatial distribution of *Uromyces transversalis* in new region of Mexico State

Rosalba Quiñones-Valdez, Jesús Ricardo Sánchez-Pale, Álvaro Castañeda-Vildozola, Omar Franco-Mora, Alfredo Ruíz Orta

Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus universitario "El Cerrillo", El Cerrillo Piedras Blancas s/n, C.P. 50200, Toluca, Estado de México.

RESUMEN

Antecedentes: En la región norte del Estado de México se ha reportado la enfermedad cuarentenaria llamada "roya transversal" del gladiolo, que afecta la calidad de su flor y cormo. El conocimiento de su comportamiento espacial es necesario para un manejo integrado.

Objetivo: Modelar la distribución espacial de la roya transversal en plantaciones de gladiolo en los municipios de Ixtlahuaca y Jocotitlán del Estado de México, durante los ciclos primavera-verano y verano-otoño de 2013 y 2014.

Metodología: Se determinó la incidencia y severidad en plantas de 121 puntos de muestreo georeferenciados por parcela para determinar su distribución espacial con técnicas geoestadísticas mediante el programa R.

Resultados y conclusiones: La enfermedad estuvo ausente durante los dos ciclos de 2013, y el ciclo primavera-verano de 2014. Los síntomas y signos de la enfermedad se detectaron durante la etapa de espata del ciclo verano-otoño de 2014, con incidencias finales de 61.1 % en Ixtlahuaca y 75.8 % en Jocotitlán, se observaron pústulas en posición transversal respecto a las nervaduras de la hoja, además de uredosporas. La roya presentó una distribución espacial de tipo agregada durante las etapas fenológicas de espata y floración. El modelo que describió la dependencia espacial fue el de tipo lineal y pentaesférico.

Palabras clave: gladiola, roya transversal, agregación, krigeado, modelación.

ABSTRACT

Background: Gladiolus rust has been reported recently as a quarantine disease in the northern region of the State of Mexico; it affects the flower and corm quality. Knowledge about its spatial behavior is required for integrated management.

Objective: To model the spatial distribution of gladiolus rust in plantations growing in the municipalities of Ixtlahuaca and Jocotitlan, during the spring-summer and summer-autumn cycles of 2013 and 2014.

Methods: The severity and the incidence in plants were determined at 121 georeferenced sampling points, per plot, to determine the spatial distribution of the disease through geostatistical techniques with the "R" program.

Results and conclusions: The results shown the epidemic was absent during the two that were evaluated in 2013 and in the spring-summer cycle of 2014. Symptoms of the disease were detected during the spathe stage, in the summer-autumn cycle of 2014, getting maximum infection rates of 61.1 % in Ixtlahuaca and 75.8 % in Jocotitlan; disease presence was confirmed by the formation of transversal pustules on the ribs of the leaf and urediniospores. Rust presented an aggregated spatial distribution during the phenological stages of spathe formation and flowering. Lineal and pentaspheric models were used to describe the spatial dependence of the disease.

Keywords: gladiolus, rust, aggregation, kriging, modeling.

ARTICLE HISTORY

Received 02 March 2018 / Accepted 30 November 2018

On line 07 December 2018

CORRESPONDING AUTHOR

✉ Jesús Ricardo Sánchez Pale, jrsanchezp@uaemex.mx
ORCID: 0000-0001-6495-5381

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y expresión de una enfermedad se origina por la íntima relación que se establece entre sus

diferentes componentes en el llamado triángulo de la enfermedad, como son la interacción de un hospedero susceptible, un patógeno virulento y un ambiente favorable (Agris, 2004). Un cambio en el ambiente de

un patosistema puede alterar la distribución geográfica y temporal de problemas fitosanitarios (Gini *et al.*, 2008), así como la aparición de enfermedades infecciosas en donde no se conocían (Anderson *et al.*, 2004). La ausencia de patógenos que afectan a los cultivos es una premisa prioritaria en la producción comercial de cualquier cultivo ornamental (Daughtrey y Benson, 2005), sin embargo, también es importante el análisis de la presencia de una enfermedad dentro de una nueva región para implementar medidas preventivas y de control con la finalidad de evitar pérdidas mayores (Gini *et al.*, 2008). En el Estado de México, el cultivo de gladiolo se siembra en dos regiones geográficamente diferentes, 1) la región sureste considerada como la más importante que concentra 78 % de la producción (SIAP, 2018), ubicada en altitudes menores a los 1,900 m.s.n.m, caracterizada por un clima cálido, con siembras durante todo el año pero con alta incidencia de enfermedades e insectos plaga; y 2) la región norte que abarca los municipios de Ixtlahuaca y Jocotitlán, ubicada en altitudes por arriba de los 2,600 m.s.n.m caracterizada por concentrar su producción de flor para fechas conmemorativas del día del padre y día de muertos. Esta región se había considerado, hasta hace unos años, con ausencia de roya (CESAVEM, 2013), y de bajas poblaciones de insectos plaga, características que le han permitido considerarla como zona apta para producir semilla entre los productores.

Recientemente se reportó la presencia de roya transversal en el municipio de Jiquipilco (Quiñones *et al.*, 2015), ubicado en el Valle de Toluca cerca de la región norte del Estado de México. Los síntomas se caracterizan por la presencia de protuberancias de color amarillo-naranja en el follaje, las cuales están ubicadas transversalmente con relación a las nervaduras de la hoja, que corresponden al síntoma típico de la enfermedad. Sin embargo, su presencia, incidencia y severidad no han sido cuantificadas, ni tampoco se ha determinado su distribución espacial para los principales municipios de la región Norte.

Uromyces transversalis (Thumen) G. Winter se ha reportado en otros miembros de la familia Iridiaceae (SENASICA, 2014). Se caracteriza por ocasionar daños al follaje y demeritar la calidad de la flor, provoca fuertes daños económicos en la producción (USDA, 2009) hasta una pérdida del 100 % en plantaciones sin control (Shubert *et al.*, 2006), así como un decremento en las exportaciones (Valencia-Botín *et al.*, 2013). Su disemi-

nación se da por hojas y tallos infectados así como por cormos, rizomas y flores contaminados con esporas de la roya. Las esporas pueden ser transportadas a grandes distancias por el viento y por la movilización de la flor para su comercialización (SENASICA, 2014). Cuando existen daños severos, mayores a 60 %, causan pérdida total en el valor comercial de la flor; si la infección ocurre en etapas tempranas se puede presentar una reducción en la calidad de la flor y en el calibre del cormo (USDA, 2009). Por otro lado, su presencia en etapas tardías impactará en la diseminación de la enfermedad a través del cormo infestado a otras parcelas o regiones (SENASICA, 2014).

Para generar adecuadas estrategias de manejo de esta enfermedad en la región norte del Estado de México, es necesario contar con estudios sobre la dinámica que presente en tiempo y espacio, que soporten su desarrollo eficiente y sostenible (Agrios, 2004). En este sentido, los métodos geoestadísticos proporcionan una medida directa de la dependencia espacial, y permiten elaborar mapas de su distribución en un área (Carvalho y Ampélio, 2010), elementos considerados de gran significancia para el manejo de la enfermedad desde una perspectiva en sitio específico. 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 extienda (Park *et al.*, 2007).

Debido a lo anterior, y con la finalidad de generar estrategias de manejo que consideren los arreglos espaciales que presenta la enfermedad emergente en esta región, el presente trabajo tuvo por objetivo modelizar la distribución espacial de la roya transversal del cultivo de gladiolo en dos municipios ubicados en la región Norte del Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló durante los años 2013-2014 en los ciclos agrícolas invierno-verano y verano-otoño. Se consideraron dos parcelas comerciales (Figura 1) de una hectárea por ciclo, sembradas con la variedad Roja borrega, de los municipios de Ixtlahuaca (IX1 e IX2) y Jocotitlán (JO1 y JO2), la distancia entre surcos fue de 0.80 m y entre plantas de 10 cm. Los cultivos vecinos a las parcelas de estudio fueron maíz, tomate de cáscara y otras parcelas de gladiolo, separadas por bordes de 10 m. En cada parcela, los muestreos se realizaron en tres

etapas fenológicas del cultivo, para el ciclo invierno-verano se realizaron a los 60 días después de la siembra (DDS, etapa vegetativa), a los 80 DDS (etapa de espata) y a los 113 DDS (etapa de floración); mientras que para el ciclo verano-otoño se realizaron a los 78, 103 y 120 DDS. Dentro de las parcelas, se formaron subparcelas de 100 m por cada lado y se marcaron los puntos de muestreo a cada 10 m, la severidad de la roya fue evaluada en una planta por punto de muestreo. La escala diagramática arbitraria de severidad estuvo construida de seis clases con base al porcentaje de daño sobre el tejido de hoja: 1 (sano, sin síntomas visibles), 2 (<15 % área foliar dañada), 3 (15.1 a 30 %), 4 (30.1 a 45 %), 5 (45.1 a 60 %) y 6 (>60 %). La incidencia (%) se determinó como el cociente de 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).

Análisis geoestadístico. La estimación del semivariograma se realizó con los datos del valor medio de la clase de severidad determinada en los sitios de mues-

treo por cada fecha; el valor experimental del semivariograma se calculó con base a lo establecido por Isaaks y Srivastava (1989):

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

donde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el 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 R (Bivand et al., 2008; R Core Team, 2012) con la librería gstat (Pebesma, 2004). Se evaluaron 7 modelos (esférico, exponencial, gaussiano, lineal, matern, bessel y pentaesférico) para seleccionar el que mejor se ajustó a la semivarianza experimental de los valores de severidad de la roya, y se seleccionó el de menor error (Cressie, 1985).

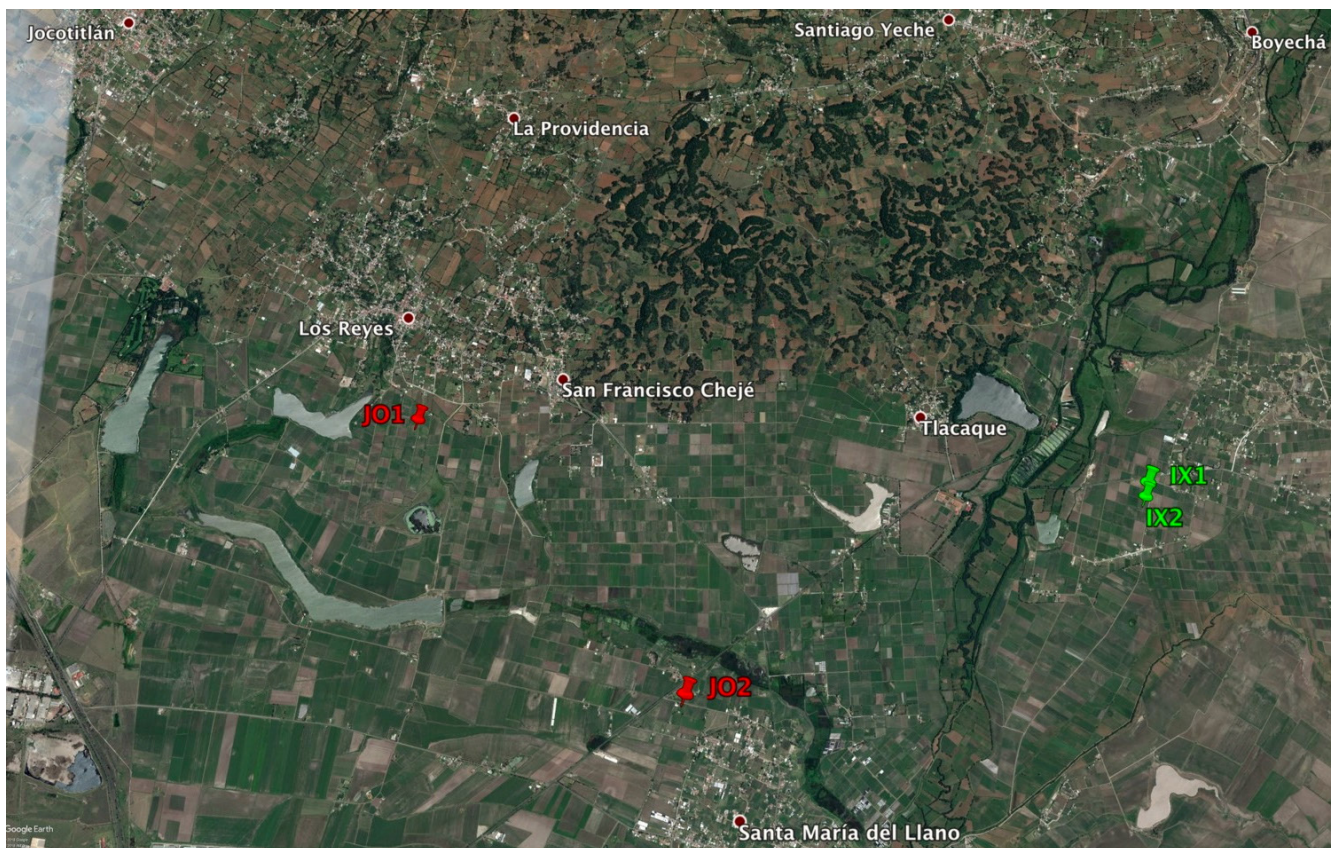


FIGURA 1. Mapa de ubicación de las parcelas de gladiolo en la región norte del Estado de México. JO1 y JO2 corresponden a las parcelas 1 y 2, respectivamente, en Jocotitlán. IX1 e IX2 corresponden a las parcelas 1 y 2, respectivamente, en Ixtlahuaca.

Para determinar la relación entre los datos obtenidos en los muestreos se calculó el nivel de dependencia espacial. Este valor se obtiene al dividir el efecto pepita (error aleatorio) y la meseta (cuando la distancia h tiende al infinito en el semivariograma), expresado en porcentaje: con menos de 25 % es alto; entre 26 y 75 % es moderado y mayor a 76 % es bajo (López-Granados *et al.*, 2002).

Después de seleccionar el modelo que presentó menor error se procedió a la interpolación con el método kriging (método de interpolación). Se evaluaron tres modelos de Kriging (simple, ordinario y universal) con la técnica de validación cruzada. Se seleccionó el Kriging con menor error de precisión para realizar la interpolación con base al error medio (, el cual debe ser cercano a cero (Cruz-Cardenas *et al.*, 2013); de igual forma se determinó error cuadrático medio (que considera a un modelo de semivariograma adecuado si, como regla práctica, el valor del estadístico es cercano a cero (Navas *et al.*, 2008; Vieira *et al.*, 2010) y la media estandarizada del error de predicción que debe ser cercana a cero (Cruz-Cardenas *et al.*, 2013).

El resultado del Kriging es una capa espacial en formato geotiff obtenida con la librería rgdal del programa R. Finalmente, el mapa se editó con el programa Surfer 10.0 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street Golden, CO, 804011866, USA) para visualizar la influencia de cada modelo en la distribución espacial de la roya.

RESULTADOS

Los datos indicaron que durante los dos ciclos de producción de gladiola del año 2013 no se detectó la presencia de la enfermedad, resultado similar se encontró para el ciclo invierno-verano 2014 (Tabla 1). Sin embargo, en el ciclo verano-otoño 2014 se identificaron síntomas característicos de la roya transversal en la dos parcelas evaluadas de cada municipio, en ninguna de ellas se presentó durante la etapa vegetativa (78 DDS), y fue a partir de la etapa de espata que se expresó la enfermedad, alcanzando incidencias finales que fluctuaron de 14.0 a 61.1 % en Ixtlahuaca, con un nivel de severidad de 1.84 en IX2 (Tabla 1), mientras que en

Tabla 1. Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas y su validación obtenidos del muestreo de roya transversal en gladiolo durante el ciclo verano-otoño 2014, en Ixtlahuaca y Jocotitlán, Estado de México

PARCELA	DDS*	INCIDENCIA (%)	SEVERIDAD MEDIA	MODELO	PEPITA	MESETA	RANGO	PEPITA/MESETA %	NIVEL DE DEPENDENCIA	VALIDACIÓN CRUZADA		
										ME	RMSE	MSPE
Ixtlahuaca												
1	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	103	14.01	1.25	Gaussiano	0.96	0.26	33.69	369.2	Baja	0.004	0.964	0.931
	120	47.77	1.75	Bessel	1.58	0.25	7.66	632.0	Baja	0.006	0.738	1.815
2	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	103	17.73	1.22	Exponencial	0.37	0.43	2.66	15.91	Alta	0.003	0.801	0.642
	120	61.14	1.84	Pentaesférico	0.00	0.00	10.47	0.00	Alta	0.008	1.193	1.424
Jocotitlán												
1	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	120	37.57	1.54	Pentaesférico	0.00	1.75	10.83	0.00	Alta	0.000	1.145	1.312
2	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	103	49.68	1.91	Lineal	0.00	2.14	5.91	0.00	Alta	0.004	1.329	1.768
	120	75.79	2.68	Lineal	0.00	0.12	5.88	0.00	Alta	0.013	0.352	0.124

*DDS: Días después de la siembra.

Jocotitlán se presentaron incidencias que se ubicaron entre 37.7 a 75.8 %, con un nivel de severidad de 2.68 en JO2 (Tabla 1).

La enfermedad requirió 103 días para alcanzar el inicio de los síntomas y 17 días para expresar su máximo nivel de severidad desde la aparición de los primeros síntomas en las dos localidades evaluadas. En Jocotitlán, los primeros síntomas de la enfermedad se observaron a los 120 DDS en JO1 y de 103 DDS para JO2. Los síntomas encontrados fueron protuberancias de color amarillo-anaranjadas en el follaje, las cuales estuvieron ubicadas transversalmente con relación a las nervaduras de la hoja. La observación en el microscopio indicó la presencia de uredosporas de forma ovoide, elipsoide u oblongas, con pared celular hialina, poros germinales oscuros y aislados (Hernández, 2004).

La severidad de la enfermedad presentó una distribución de tipo agregada entre los diferentes puntos de muestreo de la parcela, la cual fue explicada con los semivariogramas determinados, en todos los casos se logró modelar su distribución. Los modelos experimentales obtenidos tuvieron un ajuste a cinco tipos de modelos (Tabla 1) que describieron la depen-

dencia espacial entre los puntos de muestreo en las dos parcelas analizadas de cada municipio evaluado, con valores de 2.66 a 33.69 en Ixtlahuaca y de 5.88 a 10.83 en Jocotitlán. En la mayoría de los modelos obtenidos se presentó un efecto pepita igual a cero (error mínimo y escala adecuada de muestreo), excepto para los obtenidos en la parcela IXT1. El valor de la media de los errores de predicción (ME), el error cuadrático medio (RMSE) y la media estandarizada del error de predicción (MSPE) presentaron valores cercanos a cero en los semivariogramas obtenidos (Tabla 1) que permitieron validar los modelos ajustados. Se observó que los cambios en el nivel de incidencia y severidad de la etapa fenológica de espata a floración incidió en cambios del modelaje de los patrones espaciales, excepto para parcela JO2.

Los mapas obtenidos con el krigeado universal permitieron observar el avance de la epidemia entre las etapas fenológicas de espata a floración. En el mapa obtenido en la parcela IX1 a los 103 DDS, se observó la presencia de un amplio centro de agregación en la región central de la parcela, con ligeras agrupaciones en la región noreste; pero a los 120 DDS se observó una

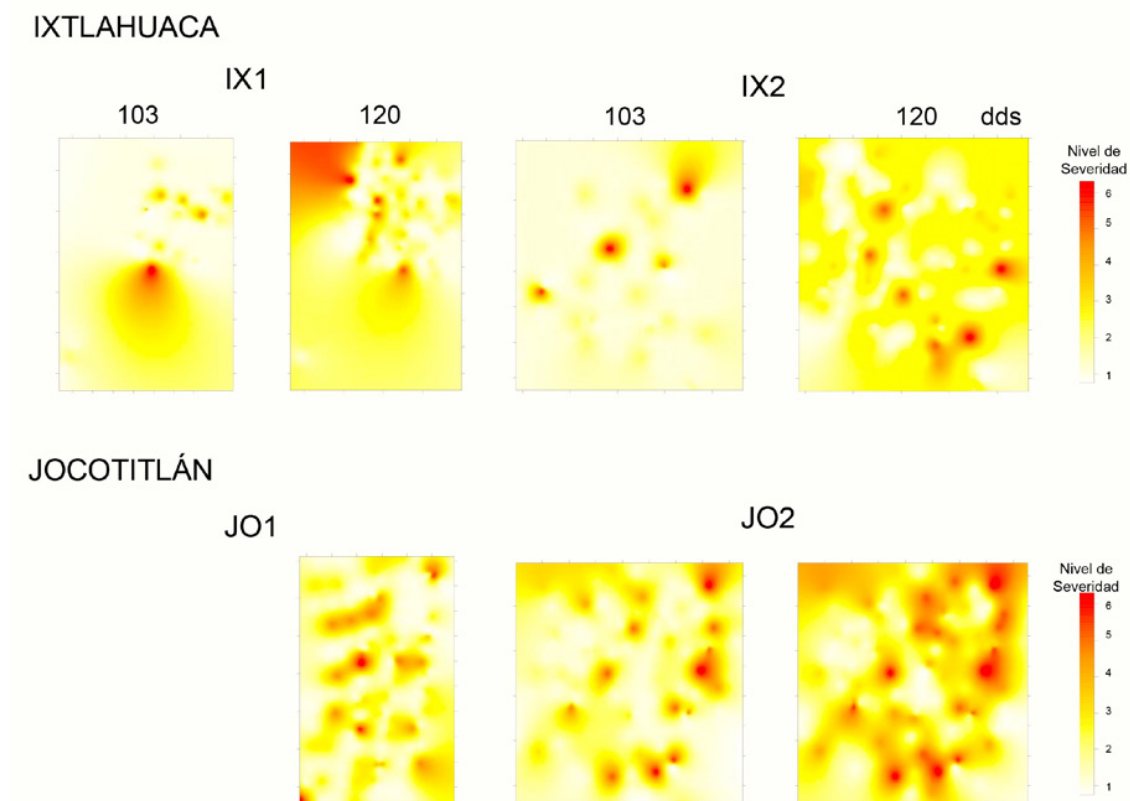


FIGURA 2. Mapas de agregación de severidad de la roya transversal del gladiolo obtenidos en dos parcelas de Ixtlahuaca (IX) y Jocotitlán (JO) en 2014.

intensa agregación en la región noroeste. En la parcela dos, los centros de agregación determinados a los 103 DDS se ubicaron en la región central y este, mientras que a los 120 DDS se ubicaron en la región central e intensificándose hacia el sureste (Figura 2).

En Jocotitlán, la agregación de la severidad de la enfermedad se presentó por toda la superficie del mapa de la parcela uno, en especial fueron evidentes los de la región norte, sin embargo, en el mapa obtenido a los 120 DDS se observó que los centros de agregación se ubicaron en la región oeste, con mayor intensidad y extensión hacia la región norte, aunque la ubicación espacial de los centros de agregación fueron similares entre las dos fechas de muestreo (Figura 2) difiriendo únicamente en el nivel de severidad de la enfermedad en cada etapa fenológica (Tabla 1). Finalmente, los centros de agregación de la parcela dos, se distribuyeron en diversos puntos de la superficie de la parcela, aunque los de mayor intensidad se ubicaron en la región central y norte.

DISCUSIÓN

Los resultados encontrados durante los dos años de estudio, confirman la presencia de roya transversal del gladiolo por arriba de los 2,600 m.s.n.m., previamente reportados para Jiquipilco (Quiñones et al., 2015), razón por la cual se considera como una enfermedad emergente para esta región de México. Los incrementos en el nivel de incidencia de la enfermedad en etapa de espata a floración en las dos parcelas de Ixtlahuaca y en la segunda parcela de Jocotitlán son indicadores de que el patógeno fue capaz de propagarse en esta región, además de la ausencia de control para esta enfermedad, expresándose en una mayor incidencia a los 120 DDS, resultados similares a lo reportado por Quiñones et al. (2015).

La aparición de la enfermedad en la región norte del Estado de México con aparentes características ambientales desfavorables para su desarrollo, con antecedentes de 15 años de sembrar esta ornamental sin ser afectada, y originalmente considerada como libre de la enfermedad (CESAVEM, 2013), pudo deberse a la conjunción de diversos factores como son la diseminación de la enfermedad por medio de material vegetativo contaminado con esporas de la roya, o por el traslado de esporas por el viento (SENASICA, 2014), así como aún factor adicional a considerar es el cambio

en el régimen de temperaturas que se da a nivel global (Gini et al., 2008), sobre todo si se considera que la temperatura es el principal factor que influye en la germinación de la esporas de *Uromyces transversalis* más que la humedad (Peterson y Berner, 2009).

La presencia de esta enfermedad en donde previamente no se había detectado, representa una continuidad de los diferentes reportes que suceden en otros patosistemas agrícolas como lo es *Hemileia vastratix* Berk. & Broom o roya del café, en México y Centro América, posiblemente los cambios en el régimen de temperaturas permiten una adaptación del patógeno a nuevos ambientes (Avelino et al., 2015) así como a una mayor producción inóculo en menor tiempo sin descartar la posibilidad de una raza fisiológica.

Los valores en el rango de los semivariogramas obtenidos indican la distancia máxima a la cual la severidad de la roya muestran dependencia espacial. Johnson et al. (2007) consideran que una reducida distancia en el valor del rango es indicativo de una variabilidad espacial en pequeña escala, en este mismo sentido, los puntos de muestreo que disten menos en su valor del rango entre sí, tendrán valores de severidad más cercanos que los correspondientes a los puntos que estén más separados (Moreno-López, 2009).

Con los semivariogramas ajustados fue posible determinar la magnitud y estructura de la dependencia espacial de la intensidad de la roya. El modelo gaussiano describió la variabilidad espacial del patógeno en el espacio físico de la parcela en IX1, en términos biológicos dicho modelo expresa la gran capacidad de diseminación (Alves et al., 2006); además expresa una alta continuidad espacial que se explicó con la extensión radial que ocupó, es decir, la aparición inicial de la enfermedad en un punto de muestreo o planta llevó a la infección de otros puntos vecinas (Alves et al., 2006) de la roya. Lo anterior, supone la existencia de condiciones ambientales favorables (Sanchez-Pale et al., 2011) o características de susceptibilidad en la variedad roja borrega que permiten una mayor expresión o continuidad espacial de la roya. Por otro lado, con el modelo Bessel se observó que los niveles altos de severidad, por cada fecha analizada, se ubican en agregaciones que abarcan una mayor espacio, pero en puntos específicos dentro de la parcela. Este modelo ajustado al comportamiento espacial de la roya no se ha reportado previamente (Quiñones et al., 2015). El ajuste al modelo exponencial indica, en términos bio-

lógicos, que la severidad de la roya presenta infestaciones de tipo agregado pero de forma irregular dentro de la superficie de la parcela, efecto similar se observó con el modelo lineal. Por otro lado, en el mapa de predicción obtenido con el modelo pentaesférico se observan una gran cantidad de agregaciones de forma puntual dentro de la parcela, que se explican por el tipo de dispersión y cantidad de inóculo que produce este patógeno policíclico (Wise *et al.*, 2018).

El hecho de que el efecto pepita tenga valores cercanos a cero, significa que entre el 99 y 100 % de la variación en la distribución de roya transversal fue explicada por la estructura espacial establecida en los semivariogramas respectivos, por lo que los modelos ajustados y validados tienen un 98 % de certeza (Liebhold y Sharov 1998), además puede ser interpretado como nivel alto de agregación de la enfermedad (Twizeyimana *et al.*, 2008) así como indicativo tanto de un error mínimo como de una adecuada escala de muestreo.

Los resultados indican que la roya del gladiolo presentó una estructura espacial a nivel de parcela, a pesar de tener una producción de inóculo de tipo policíclico y una dispersión a grandes distancias que caracterizan a este tipo de hongos patógenos, por lo que es factible implementar las diferentes tácticas de control considerando dicha estructura espacial.

Con el krigeado universal se obtuvieron los mapas que permiten visualizar la distribución espacial de la severidad de la roya transversal en focos de agregación, así como los gradientes que presentó. Tal comportamiento de agregación permite el manejo desde la perspectiva de sitio o punto específico (Carvalho *et al.*, 2009) en la que se apliquen las diversas acciones de control y las actividades de muestreo sobre las áreas o sitios específicos donde se presente la roya (Navas-Cortés *et al.*, 2008), así como a fuentes de inóculo que originan la posterior propagación de la enfermedad. Lo anterior, representa las bases iniciales de protección vegetal en "sitios específicos", que permitirán lograr ahorros económicos y un menor impacto al ambiental al reducir el uso de fungicidas en su manejo. Las acciones de empleo de fungicidas de contacto hasta la etapa de espata, la eliminación de plantas u hojas con daños de la roya en los puntos específicos de infestación durante las fases iniciales de la enfermedad y el direccionamiento de las actividades de muestreo, permiten justificar el uso de las técnicas de agricultura de precisión para mantener

bajo control los daños causados por la roya en la región norte del Estado de México.

AGRADECIMIENTOS

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

LITERATURA CITADA

- Agrios, N.G., 2004. Fitopatología. 2a Edición. Limusa. México, D.F.
- Alves, M.C., E.A. Pozza, J.C. Machado, D.V. Araújo, V. Talamini, M.S. Oliveira, 2006. Geoestatística como metodología para estudiar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a spp. transmitidos por sementes. *Fitopatologia Brasileira* 31: 557-563.
- Avelino, J., M. Cristancho, S. Georgiou, P. Imbach, L. Aguilar, G. Bornemann, P. Läderach, F. Anzueto, A.J. Hruska, C. Morales, 2015. The coffee rusts in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security* 7: 303-321.
- Anderson, P.K., A.A. Cunningham, N.G. Patel, F.J. Morales, P. R. Epstein, P. Daszak, 2004. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 535-544.
- Bivand, R., E. Pebesma, V. Gómez-Rubio, 2008. Applied spatial data analysis with R. Spring, New York.
- Carvalho, A.M., P.E. Ampélio, 2010. Indicator kriging modeling epidemiology of common bean anthracnose. *Applied Geomatics* 2: 65-72.
- Carvalho, A.M., S.F. Moreira, P.E. Ampélio, O.M. Silva, 2009. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. *Journal of Pest Science* 82: 137-148.
- CESAVEM (Comité de Sanidad Vegetal del Estado de México), 2013. Manejo Fitosanitario de Ornamentales. <http://www.cesavem.org/?accion=ornamentales>; última consulta: 3.XI. 2013.
- Cressie, N., 1985. Fitting variogram models by weighted least squares. *Journal of the International Association for Mathematical Geology* 17: 563-586.
- Cruz-Cardenas, G., J.L. Villaseñor, L. López-Mata, E. Ortiz. 2013. Distribución espacial de la riqueza de especies de plantas vasculares en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84:1189-1199.
- Daughtrey, M.L., D.M. Benson, 2005. Principles of plant health management for ornamental plants. *Annual Review of Phytopathology* 43: 141-69.
- Gini, R., E. Hamada, W. Bettiol, 2008. Climate change and plant diseases. *Scientia Agricola* 65: 98-107.
- Hernández, J.R. 2004. Systematic Mycology and Microbiology Laboratory, ARS, USDA. Invasive Fungi. *Gladiolus Rust*. <http://nt.ars-grin.gov/taxadescriptions/factsheets/index.cfm?thisapp=Uromycestersversalis>; última consulta: 11.IX.2018.
- Isaaks, E.H., R.M. Srivastava, 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
- Johnson, R.M., M.P. Grisham, E.P.JR. Richard, 2007. Relationship between sugarcane rust severity and soil properties in Louisiana. *Phytopathology* 97: 748-755.
- Liebhold, A.M., A. Sharov, 1998. Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data. In: Baumgart-

- ner, J., P. Brandmayr, B.F.J. Manly (eds.), Population and community ecology for insect management and conservation. CRC Press. Rotterdam, Netherlands. Pp. 111-117.
- López-Granados, F., M. Jurado-Expósito, S. Atenciano, A. García-Ferrer, M. Sánchez, L. García-Torres, 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil* 246: 97-105.
- Moreno-López, J.L., 2009. Introducción a la geoestadística y su aplicación. México, D.F.
- Navas-Cortés, J.A., B.B. Landa, J. Mercado-Blanco, J.L. Trapero-Casas, D. Rodríguez-Jurado, R.M. Jiménez-Díaz, 2008. Spatio-temporal analysis of spread of infections by *Verticillium dahliae* pathotypes within a high tree density olive orchard in southern Spain. *Phytopathology* 98: 167-180.
- Park, Y.L., R.K. Krell, M. Carroll, 2007. Theory, technology and practice of site-specific insect pest management. *Journal Asia-Pacific Entomology* 10: 89-101.
- Pebesma, E.J., 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences* 30: 683-691.
- Peterson, G.L., D. K. Berner, 2009. Effects of temperature and humidity on the survival of urediniospores of gladiolus rust (*Uromyces transversalis*). *European Journal of Plant Pathology* 125: 509-513.
- Quiñones-Valdez, R., J.R. Sánchez-Pale, A. Castañeda-Vildozola, M. Cristóbal de la Cruz, 2015. Comportamiento espacial de la roya transversal del gladiolo en Jiquipilco, Estado de México, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33: 247-255.
- R Core Team, 2012. A language for modeling and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna Austria. <http://www.R-project.org/>; última consulta: 11.IX.2018.
- Sanchez-Pale, J.R., J.F. Ramírez-Dávila, A. González-Huerta, C. De León, 2011. Modelization of the spatial distribution of corn head smut (*Sporisorium reilianum* Langdon and Fullerton) in Mexico. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9: 882-893.
- SENASICA, 2014. Cartilla de Campo Roya del gladiolo. www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?iddocumento=1242; última consulta: 7.I.2015.
- Shubert, T., R. Leahy, A. Silagyi, 2006. Gladiolus rust (*Uromyces transversalis*) arrives in the US: Florida and California. Pest Alert Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry. https://www.freshfromflorida.com/content/download/67872/1610627/Pest_Alert_-_Uromyces_transversalis,_Gladiolus_rust.pdf; última consulta 11.IX.2018.
- SIAP, 2018. Cierre de la producción agrícola por Estado. http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/; última consulta: 8.II.2018.
- Twizeyimana, M., P.S. Ojiambo, K. Sonder, T. Ikotun, G.L. Hartman, R. Bandyopadhyay, 2008. Pathogenic Variation of *Phakopsora pachyrhizi* Infecting Soybean in Nigeria. *Phytopathology* 99: 353-361.
- USDA (Departamento de agricultura de los Estados Unidos), 2009. Roya de gladiolo: Una nueva amenaza, alerta de plaga. APHIS 81-35-011S. 2 p.
- Valencia-Botín, A.J., S.N. Jeffers, C.L. Palmer, J.W. Buck, 2013. Fungicides used alone, in combinations, and in rotations for managing gladiolus rust in Mexico. *Plant Disease* 97: 1491-14.
- Vieira, S.R., J.R. Porto de Carvalho, A.P. González, 2010. Jack knifing for semivariogram validation. *Bragantia* 69: 97-105.
- Wise, K.A., D.S. Mueller, J.W. Buck, 2004. Quarantines and ornamental rusts. APSnet Features. <https://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/OrnamentalRusts.aspx>; última consulta: 12.III.2018.