

PATOTIPOS DE *Colletotrichum lindemuthianum* EN OAXACA Y SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO, Y RESISTENCIA EN GENOTIPOS DE FRIJOL*

***Colletotrichum lindemuthianum* PATHOTYPES IN OAXACA AND SAN LUIS POTOSI, MEXICO, AND RESISTANCE IN COMMON BEAN**

Bertha María Sánchez-García¹, Alberto Flores-Olivas¹, Abiel Sánchez-Arizpe¹, Susana Pineda-Rodríguez², Gabriela López-Jiménez², Saúl Fraire-Velásquez³, Eduardo Raymundo Garrido-Ramírez⁴, Jorge Alberto Acosta-Gallegos², June Simpson Williamson⁵ y Raúl Rodríguez-Guerra^{6§}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología Agrícola, A. P. 342, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25315. Tel. 01 844 4110226, (bmsgsma@yahoo.com.mx), (aflooli@narro.uaan.mx), (abielsanchez@hotmail.com). ²Campo Experimental Bajío, INIFAP, km 6.5 carretera Celaya-San Miguel de Allende, A. P. 112, Celaya, Guanajuato, México. C.P. 38000. Tel. 01 461 6115323, (pinendasusy@hotmail.com), (gabylj82@yahoo.com.mx), (jamk@prodigy.net.mx). ³Unidad Académica de Biología Experimental, Universidad Autónoma de Zacatecas, Av. Revolución Mexicana S/N, Col. Tierra y Libertad, Guadalupe, Zacatecas, México C. P. 98600. Tel. 01 492 8993420, (sfraire@prodigy.net.mx). ⁴Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP, km 3.0 carretera Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla, Chiapas, México, C. P. 29140. Tel. 01 968 6882915, (egarrido-ramirez@hotmail.com). ⁵Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional-Unidad Irapuato, A. P. 629, Irapuato, Guanajuato, México C. P. 36500. Tel. 01 462 6239667, (jsimpson@ira.cinvestav.mx). ⁶Campo Experimental General Terán, INIFAP, km. 31 carretera Montemorelos-China, A. P. Núm. 3, General Terán, Nuevo León, México, C. P. 67400. Tel. 01 826 2670539.

§Autor para correspondencia: rodriguez.raul@inifap.gob.mx.

RESUMEN

La antracnosis del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), causada por *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. et Magn.) Scrib., es una enfermedad ampliamente distribuida en las regiones productoras del mundo. Este hongo muestra una gran diversidad de patotipos identificados alrededor del mundo, cuyo conocimiento es importante para el desarrollo de variedades resistentes. En México se conocen 54 patotipos; sin embargo, en algunos estados se desconocen los patotipos existentes y la frecuencia con que ocurren. En esta investigación, se caracterizaron patogénicamente 23 cepas de *C. lindemuthianum* de Oaxaca (15) y San Luis Potosí (8) con base en la reacción de 12 variedades diferenciales de 2005-2007. Asimismo, el nivel de resistencia de 24 materiales nativos de San Luis Potosí, 115 de Guanajuato y 55 variedades mejoradas, fue registrado por su reacción a los patotipos 64 y 320 (presentes en ambos estados) que

infectan a variedades diferenciales de origen mesoamericano. En Oaxaca y San Luis Potosí se identificaron 12 y 5 patotipos, respectivamente, siete de los cuales (69, 100, 260, 324, 325, 356 y 485) son reportados por primera vez en México. Lo anterior indica que la variabilidad de este patógeno es mayor que la reportada anteriormente y que nuevas combinaciones de genes de avirulencia están presentes o desarrollándose en México. De los materiales de San Luis Potosí, Guanajuato y variedades mejoradas de frijol 12, 76 y 28 respectivamente, fueron resistentes a los patotipos 64 y 320; estos genotipos podrían utilizarse como fuentes de resistencia a *C. lindemuthianum*.

Palabras clave: *Glomerella lindemuthiana* (Sacc. et Magn.) Scrib., frecuencia y distribución de patotipos, fuentes de resistencia.

* Recibido: Enero, 2008
Aceptado: Marzo, 2009

ABSTRACT

Anthracnose, a disease of common bean caused by *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. et Magn.) Scrib., is worldwide distributed. *C. lindemuthianum* displays a significant pathogenic diversity which is important to know for the development of resistant cultivars. In Mexico 54 pathotypes are known; however, some of the important bean producing states have not been thoroughly sampled. In this research 23 strains of *C. lindemuthianum* from Oaxaca (15) and San Luis Potosí (8) were pathotypically characterized using twelve differential cultivars, during 2005-2007. In addition, 24 bean landraces from San Luis Potosí, 115 from Guanajuato, as well as 55 bread cultivars, were challenged with the pathotypes 64 and 320 (which occur in both states) that infect differential cultivars from Mesoamerican origin, in the search for sources of resistance. Twelve and five pathotypes were identified in Oaxaca and San Luis Potosí, respectively, with seven of them (69, 100, 260, 324, 325, 356 and 485) reported for the first time in Mexico. Results indicate higher pathogenic diversity than previously reported and that newly form or undetected combinations of avirulence genes are present in Mexico. From the 24 bean landraces from San Luis Potosí, 115 from Guanajuato, and the 55 bred cultivars challenged, 12, 76 and 28, respectively, were resistant to both races; these genotypes could be used as sources of resistance against *C. lindemuthianum*.

Key words: *Glomerella lindemuthiana* (Sacc. et Magn.) Scrib., frequency and distribution of pathotypes, sources of resistance.

INTRODUCCIÓN

La antracnosis del frijol, ocasionada por el hongo *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. et Magn.) Scrib. (teleomorfo *Glomerella lindemuthiana*), es de amplia distribución en el mundo y puede ser devastadora si se siembran variedades susceptibles y las condiciones climáticas son favorables (temperaturas entre 13 y 26 °C y humedad superior a 92%) para el desarrollo de la enfermedad (Pastor-Corrales y Tu, 1989). En México, la enfermedad está presente en todas las regiones productoras de frijol, con excepción de regiones donde se cultiva bajo condiciones de riego durante la época seca en el invierno (González-Chavira et al., 2004; Rodríguez-Guerra et al., 2006). Entre las diversas estrategias para combatirla está la utilización de cultivares resistentes. Sin embargo, para el

desarrollo de cultivares con resistencia a la antracnosis, es importante conocer los patotipos presentes en las regiones para las cuales se desarrollarán los nuevos cultivares; esto es considerando que la interacción entre *C. lindemuthianum* y *Phaseolus vulgaris* es del tipo gen por gen, que considera que por cada gen de resistencia en el hospedero existe un gen de avirulencia en el patógeno (Flor, 1942; Flor, 1956), aunque se ha reportado evidencia de resistencia parcial conferida por varios genes (Geffroy et al., 2000). También, se ha demostrado una estrecha relación coevolutiva entre patotipos y el germoplasma originado en los centros de origen del frijol (andino y mesoamericano; Gepts y Debouck, 1991), lo que significa que patotipos de un origen son capaces de infectar preferentemente genotipos de frijol del mismo origen (Pastor-Corrales, 1996; Araya, 2003).

El hongo de la antracnosis muestra una gran diversidad de patotipos, a fines del siglo pasado se habían reportado 93 patotipos en el mundo (Hernández-G. et al., 1998); actualmente son más de 100 y de éstos, 54 están presentes en México (Rodríguez-Guerra et al., 2003; González-Chavira et al., 2004; Rodríguez-Guerra et al., 2006). Los aislados de *C. lindemuthianum* provenientes de trece estados de México, incluyendo los principales estados que dedican mayor superficie al cultivo del frijol (Chihuahua, Durango, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Hidalgo, Morelos, México, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Chiapas) han sido caracterizados patogénicamente (Rodríguez-Guerra et al., 2006). Pero otros estados han sido escasamente estudiados o en estos ningún estudio de este tipo se ha realizado. El estado con mayor número de patotipos es Jalisco (Rodríguez-Guerra et al., 2006), siendo los patotipos 448, 256 y 0 los más frecuentes en México (González-Chavira et al., 2004; Rodríguez-Guerra et al., 2006); y junto con el 320, son los más ampliamente distribuidos, y ocurren en la mayoría de los estados donde se han realizado estudios sobre la identificación de patotipos de *C. lindemuthianum* (Rodríguez-Guerra et al., 2006).

El conocimiento de la diversidad patogénica de *C. lindemuthianum* en México, ha permitido identificar fuentes de resistencia a patotipos virulentos, ampliamente distribuidos y capaces de infectar incluso a genotipos de origen andino usados como variedades diferenciales para la identificación de patotipos (González-Chavira et al., 2004). La búsqueda de fuentes de resistencia se ha extendido a frijoles criollos, silvestres y a especies afines al frijol común (Mahuku et al., 2002; Ferreira et al., 2003; Sartorato y Arraes, 2003). Recientemente se ha sugerido que el uso

mediante inoculaciones artificiales de un reducido número de patotipos, que en conjunto sean capaces de vencer la resistencia de la mayoría de las variedades diferenciales, puede permitir la identificación y selección de fuentes de resistencia a la mayoría de los patotipos presentes en México (López-Jiménez *et al.*, 2006).

Los objetivos de esta investigación fueron determinar los patotipos de *C. lindemuthianum* a partir de aislados provenientes de los estados de Oaxaca y San Luis Potosí, en donde se desconoce la variabilidad patogénica del hongo, e identificar fuentes de resistencia a dos patotipos que ocurren en común en ambos estados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo y aislamiento de cepas

Durante el ciclo primavera-verano 2005 y 2006 se hicieron recorridos en campos de producción de frijol de los estados de San Luis Potosí y Oaxaca, ocho y catorce, respectivamente. Se colectaron vainas de frijol con síntomas evidentes de antracnosis. El aislamiento del hongo se realizó como fue descrito previamente (González *et al.*, 1998). Se obtuvo una suspensión de conidios a partir de lesiones esporuladas y fue transferida y dispersada en caja de Petri conteniendo

el medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) acidificado (200 µL de ácido láctico al 85% incorporado después de la esterilización). Para desarrollar cepas monoconidiales de cada campo muestreado se extrajo un conidio germinado entre las 24-48 h y se transfirió a una nueva caja Petri con medio de cultivo. Se obtuvieron 23 cultivos monoconidiales, uno por cada campo muestreado, sólo en un campo de Oaxaca se obtuvieron dos. Las cepas fueron duplicadas en PDA para mantenerlas en activo a 4 °C y ser usadas en la determinación de patotipos e identificación de fuentes de resistencia. Los cultivos monoconidiales se conservaron a 4 °C por períodos prolongados en tubos de transporte conteniendo PDA y cubiertas con glicerol al 50%.

Determinación de patotipos

Los patotipos de los aislados fueron determinados utilizando un grupo de 12 variedades diferenciales de frijol y la nomenclatura binaria descrita por Pastor-Corrales (1991). En este sistema de denominación de patotipos cada diferencial (nueve de origen mesoamericano y tres de origen andino) posee un valor asignado (Cuadro 1), y el nombre o número del patotipo corresponde a la suma de los valores de cada variedad que reacciona como susceptible a algún aislado en cuestión. En caso de que ninguna variedad diferencial reaccione como susceptible a algún aislado, éste será designado como patotipo cero.

Cuadro 1. Características de las variedades de frijol utilizadas actualmente como diferenciales para la identificación de patotipos de *Colletotrichum lindemuthianum* (Pastor-Corrales, 1991).

Núm.	Variedad diferencial	Valor asignado	Origen ¹	Gen de resistencia conocido
1	Michelite	(2 ⁰)= 1	Mesoamericano	
2	Michigan Dark Red Kidney	(2 ¹)= 2	Andino	<i>Co-1</i>
3	Perry Marrow	(2 ²)= 4	Andino	<i>Co-1³</i>
4	Cornell 49242	(2 ³)= 8	Mesoamericano	<i>Co-2</i>
5	Widusa	(2 ⁴)= 16	Mesoamericano	<i>Co-1⁵, Co-9³</i>
6	Kaboon	(2 ⁵)= 32	Andino	<i>Co-1²</i>
7	Mexico 222	(2 ⁶)= 64	Mesoamericano	<i>Co-3</i>
8	PI 207262	(2 ⁷)= 128	Mesoamericano	<i>Co-4³, Co-9</i>
9	To	(2 ⁸)= 256	Mesoamericano	<i>Co-4</i>
10	Tu	(2 ⁹)= 512	Mesoamericano	<i>Co-5</i>
11	AB 136	(2 ¹⁰)= 1024	Mesoamericano	<i>Co-6, Co-8</i>
12	G 2333	(2 ¹¹)= 2048	Mesoamericano	<i>Co-4², Co-5, Co-7</i>

¹Se refiere al acervo genético del cual proviene cada diferencial; el andino se originó en los Andes sudamericanos, mientras que el mesoamericano comprende principalmente América Central y México (Gepts y Debouck, 1991).

La semilla de las variedades diferenciales fue tratada con hipoclorito de sodio al 1% por un min y lavada en dos pasos de agua estéril. Posteriormente se sembró en macetas de plástico con capacidad de 0.5 L conteniendo vermiculita, y permanecieron en invernadero durante 10 a 15 días hasta que las hojas primarias estuvieron completamente expandidas para ser inoculadas.

Las cepas monoconidiales mantenidas en PDA acidificado se transfirieron a cajas de Petri conteniendo el medio de cultivo harina de maíz-agar (infusión de 20 g de harina de maíz en un L de agua por una h a 60 °C, 2 g de glucosa, 1 g de extracto de levadura y 18 g de agar por litro de medio) para inducir abundante esporulación. Las cajas inoculadas se mantuvieron a 25-27 °C por 10 días y los conidios fueron obtenidos al agregar agua estéril a las cajas, mediante el raspado de la superficie con una varilla de vidrio. Finalmente se obtuvo una suspensión con una concentración de 1.5×10^6 conidios mL⁻¹, a la cual se le agregaron 2 gotas de Tween 20 por cada 100 mL de la suspensión.

Diez días después de la emergencia, cinco plantas de cada uno de los 12 cultivares diferenciales fueron inoculadas asperjando la suspensión conidial en el envés de las hojas primarias. Las plantas inoculadas fueron cubiertas con plástico transparente para mantener una humedad aproximada al 95%, a una temperatura de 22 °C, por tres días. Diez días después de la inoculación los síntomas fueron evaluados usando una escala de cinco valores (Garrido-Ramírez y Romero-Cova, 1989). La reacción de las plantas fue clasificada como: 0=síntomas no visibles, 1=pequeñas lesiones en las nervaduras principales visibles sólo en el envés de las hojas, 2=lesiones en haz y envés de las hojas, 3=defoliación de la planta y esporulación del hongo, 4=planta muerta. Las plantas con reacción de 0 a 2 se consideraron como resistentes y las plantas con reacción de 3 y 4 se consideraron susceptibles. Cuando plantas distintas de una misma variedad diferencial mostraron reacciones distintas de resistencia o susceptibilidad a algún aislado, nuevas plantas de la variedad fueron inoculadas con el aislado en cuestión hasta obtener una reacción consistente de las plantas.

Considerando la reacción que causaron los patotipos sobre las 12 variedades diferenciales, se obtuvo el índice de resistencia (IR) el cual se estima mediante la siguiente relación= númer. de patotipos que no causan susceptibilidad a la variedad en cuestión/númer. de patotipos inoculados sobre la variedad x 100) de cada una, y el (IV) el cual

se representa por: índice de virulencia (IV= númer. de variedades susceptibles al patotipo en cuestión/númer. total de variedades inoculadas X 100) de los patotipos (Antunes *et al.*, 2003). Ambos índices pueden tomar valores de 0 a 100, valores elevados del IR implica que las diferenciales son resistentes a un mayor número de patotipos y valores elevados del IV indican que los patotipos son capaces de causar enfermedad a un mayor número de variedades diferenciales. Para ambos estados se determinó el índice de diversidad de patotipos utilizando la fórmula: $H = -\sum p_i \ln p_i$;

donde, p_i = representa la frecuencia de cada patotipo (Shannon y Weaver, 1963).

Este índice permite obtener valores de cero (ausencia de variabilidad) o superiores (mientras el valor sea más elevado la diversidad de patotipos es mayor), y también fue aplicado a los datos de patotipos de los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Jalisco, Michoacán (González *et al.*, 1998), Hidalgo, Tlaxcala, México, Puebla (González-Chavira *et al.*, 2004) para fines de análisis y comparación.

Fuentes de resistencia en cultivares nativos y mejorados

Se evaluaron 24 materiales nativos de San Luis Potosí y 115 de Guanajuato pertenecientes al banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y 55 variedades mejoradas liberadas por el INIFAP, por su reacción a los patotipos 64 (aislado CoSLP-8) y 320 (aislado CoOax-9B) de *C. lindemuthianum*. Los patotipos fueron seleccionados por ocurrir en los dos estados considerados en el estudio, infectar variedades diferenciales de origen mesoamericano y para determinar si la estrategia presentada por López-Jiménez *et al.* (2006) permite demostrar que los genotipos resistentes al patotipo 320, también lo son al 64. La semilla fue tratada como se mencionó anteriormente, al igual que la elaboración del inóculo de los patotipos. Al menos cinco plantas de cada material fueron inoculadas con cada uno de los patotipos; el procedimiento de inoculación utilizado fue el mismo que en la caracterización de patotipos y la reacción de los materiales se determinó con la escala de cinco valores antes mencionada. Cuando plantas individuales mostraron reacciones de resistencia o susceptibilidad dentro de los materiales nativos o mejorados de frijol, nuevas inoculaciones fueron realizadas para confirmar la reacción de los materiales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Patotipos

A partir de las ocho cepas monoconidiales provenientes del estado de San Luis Potosí se identificaron cinco patotipos, y de las 15 cepas del estado de Oaxaca fueron identificados 12 (Cuadro 2). Los patotipos 64 y 320 se aislaron en ambos estados, mientras que los patotipos 256, 265 y 328 fueron exclusivos de San Luis Potosí y los patotipos 69, 100, 192, 260, 324, 325, 356, 449, 457 y 485 sólo ocurrieron en Oaxaca. Los patotipos encontrados con mayor frecuencia en San Luis Potosí fueron el 256 (en tres campos) y 320 (en dos campos); mientras que en Oaxaca fueron el 69, 320 y

325 (en dos campos). En México se han realizados diversos trabajos de investigación dirigidos a la identificación de patotipos de *C. lindemuthianum*, entre los que se pueden citar a Balardin *et al.* (1997), Sicard *et al.* (1997), González *et al.* (1998) y González-Chavira *et al.* (2004); sin embargo, ninguno se había realizado con este propósito en los estados de San Luis Potosí y Oaxaca. De los 15 patotipos identificados en esta investigación, siete no habían sido identificados previamente en México, éstos son el 69, 100, 260, 324, 325, 356 y 485, y todos fueron aislados en el estado de Oaxaca. De los 50 patotipos previamente reportados en el país (Rodríguez-Guerra *et al.*, 2006), ahora debe mencionarse que en México han sido identificados 56 patotipos.

Cuadro 2. Patotipos de *Colletotrichum lindemuthianum* identificados en los estados de San Luis Potosí y Oaxaca.

Clave	Variedad diferencial										Patotipo	
	Michelite	Michigan Dark Red Kidney	Perry Marrow	Cornell 49242	Widusa	Kaboon	México 222	PI 207262	To	Tu	AB 136	G 2333
San Luis Potosí												
CoSLP-2	R ¹	R	R	R	R	R	R	R	S ²	R	R	R
CoSLP-3	R	R	R	S	R	R	S	R	S	R	R	R
CoSLP-4	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R
CoSLP-7	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R
CoSLP-8	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R	S	R
CoSLP-9	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	R	R
CoSLP-10	S	R	R	S	R	R	R	R	S	R	R	R
CoSLP-11	R	R	R	S	R	R	S	R	S	R	R	R
Oaxaca												
CoOax-2	R	R	S	R	R	R	S	R	S	R	R	R
CoOax-3	S	R	S	R	R	R	S	R	R	R	R	R
CoOax-4	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	R	R
CoOax-5	R	R	S	R	R	S	S	R	S	R	R	R
CoOax-6	S	R	S	R	R	R	S	R	R	R	R	R
CoOax-7	S	R	S	R	R	S	S	S	S	R	R	R
CoOax-8	S	R	R	S	R	R	S	S	S	R	R	R
CoOax-9A	R	R	S	R	R	S	S	R	R	R	R	R
CoOax-9B	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	R	R
CoOax-10	S	R	S	R	R	R	S	R	S	R	R	R
CoOax-11	S	R	S	R	R	R	S	R	S	R	R	R
CoOax-12	R	R	S	R	R	R	R	R	S	R	R	R
CoOax-13	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R	R	R
CoOax-15	S	R	R	R	R	R	S	S	S	R	R	R
CoOax-16	R	R	R	R	R	R	S	S	R	R	R	192

CoSLP= aislado de *Colletotrichum lindemuthianum* proveniente de San Luis Potosí; CoOax= aislado de *Colletotrichum lindemuthianum* proveniente de Oaxaca; ¹R= resistente; ²S= susceptible.

Los patotipos presentes en San Luis Potosí ya habían sido reportados previamente en estados aledaños (González *et al.*, 1998), y nuevos patotipos fueron identificados en Oaxaca. Aunque ambos estados están separados, los patotipos 64 y 320 (ampliamente distribuido en México) ocurrieron en los dos, mientras que el resto de los patotipos de cada estado fue exclusivo de cada uno. Tanto la ocurrencia de patotipos comunes en diferentes estados como la ocurrencia exclusiva de patotipos en algunos estados o regiones de México, ha sido reportado previamente (Rodríguez-Guerra *et al.*, 2006). Aun no es posible establecer las causas precisas de la distribución de estos patotipos, pero es posible que se deba a la base genética del hospedero, prácticas de cultivo y factores climáticos (González *et al.*, 1998), entre otros.

El índice de diversidad de patotipos fue de 1.49 en San Luis Potosí y de 2.43 en Oaxaca, lo que indica que la mayor diversidad en patotipos ocurre en este último estado. Sin embargo, los índices de diversidad son altos en ambos estados con relación a otros estados del país (Cuadro 3). La ocurrencia de cinco patotipos en San Luis Potosí y 12 en Oaxaca a partir de ocho y 15 aislados respectivamente, muestra que *C. lindemuthianum* muestra gran variabilidad patogénica en ambos estados respecto a otros estados del país donde previamente se han caracterizado patogénicamente aislados del hongo (González *et al.*, 1998; González-Chavira *et al.*, 2004). Esto es apoyado por los altos índices de diversidad que muestran San Luis Potosí y Oaxaca (Cuadro 3). Sin embargo, es posible que nuevos patotipos puedan ser identificados al determinar el patotipo de más aislados en el futuro.

Cuadro 3. Número de patotipos de *Colletotrichum lindemuthianum* reportados por varios autores e índices de diversidad de patotipos en varios estados de México.

Estado	Fuente ¹	Núm. de aislados	Núm. de patotipos	H ²
Chihuahua	1	22	1	0.00
Durango	1	9	3	0.85
Zacatecas	1	7	4	1.28
San Luis Potosí	Esta investigación	8	5	1.49
Jalisco	1	15	3	1.08
Michoacán	1	6	5	1.56
México	2	6	3	1.01
Hidalgo	2	2	2	0.69
Tlaxcala	2	2	2	0.69
Puebla	2	7	4	1.15
Oaxaca	Esta investigación	15	12	2.43

¹= González *et al.*, 1998; ²= González-Chavira *et al.*, 2004; H²= índice de diversidad de patotipos (Shannon y Weaver, 1963).

Los estados de San Luis Potosí y Oaxaca son contrastantes geográficamente, y también en cuanto al tipo de frijol que se cultivan en cada uno. San Luis Potosí se ubica en el centro del país y ahí se cultivan principalmente variedades de hábito de crecimiento indeterminado arbustivo, mientras que Oaxaca se localiza al sur y ahí principalmente se cultiva frijol criollo de hábito indeterminado postrado y trepador y variedades nativas de otras especies de frijol como son *P. coccineus* y *P. dumosus*. Esto puede explicar las diferencias en patotipos, índice de diversidad de patotipos y origen de las variedades diferenciales que reaccionan como susceptibles a los patotipos identificados en estos estados. Por otra parte, el hecho de que se hayan aislado los patotipos 64 y 320 en ambos estados, quizás tiene que ver con la costumbre de

los productores de usar semilla producida en localidades distintas que pudieran portar patotipos ausentes en algunas áreas de producción, lo que promovería su dispersión, como ha sido referido por Kelly *et al.* (1994).

Es posible que la base genética de los cultivares de frijol y las condiciones climáticas influyan en la diversidad de patotipos presentes en estados particulares de México, como ha sido sugerido en estudios similares (González *et al.*, 1998; González-Chavira *et al.*, 2004; Rodríguez-Guerra *et al.*, 2006). El elevado índice de diversidad de patotipos observado en esta investigación en el estado de Oaxaca (2.43), muestra que las poblaciones del patógeno presentes en estados más al sur del país, con valles intermontanos y mayor

diversidad climática, son más variables patogénicamente que las poblaciones que ocurren del centro hacia al norte de México, como ha sido comparada la diversidad de patotipos en estados del centro y norte de México (González-Chavira *et al.*, 2004). Esto también puede ser debido al cultivo de una gran diversidad de materiales nativos de frijol con una amplia variabilidad genética en estados del sur, que no es común en estados del centro-norte de México donde cultivares mejorados uniformes son comúnmente utilizados.

Los resultados anteriores sugieren que existe cierto grado de aislamiento entre las poblaciones del patógeno que ocurren en ambos estados. Esto también es apoyado por la ocurrencia en Oaxaca de un gran número de patotipos capaces de infectar variedades diferenciales de origen andino que no ocurren en San Luis Potosí y otros estados del norte de México, pero si en estados vecinos de Oaxaca como Puebla, Tlaxcala y México (González *et al.*, 1998; González-Chavira *et al.*, 2004). Aunque Balardin *et al.*

(1997) también reportaron patotipos presentes en el país capaces de infectar diferenciales de origen mesoamericano y andino, se desconoce el origen geográfico de ellos. Aunque se ha considerado que la ocurrencia de estos patotipos que infectan variedades diferenciales de ambos acervos no es raro en México (González-Chavira *et al.*, 2004), no se ha planteado una posible explicación de esto. Considerando que existe coevolución entre las poblaciones andinas y mesoamericanas del patógeno y los acervos genéticos andinos y mesoamericanos del frijol, respectivamente (Pastor-Corrales, 1996; Araya, 2003), es posible la existencia de cultivares de origen andino (tipos canarios y cacahuates) en los estados del centro y sur de México cuya interacción con el patógeno ha permitido el desarrollo de patotipos que afectan genotipos de ambos acervos genéticos; sin embargo, también la introducción a México de patotipos que infectan genotipos andinos de frijol pudiera explicar su ocurrencia en el país, entre otras posibles causas.

Cuadro 4. Índice de resistencia (IR) de las variedades diferenciales e índice de virulencia (IV) de los patotipos de *Colletotrichum lindemuthianum* identificados en San Luis Potosí y Oaxaca.

Patotipo	Variedad diferencial												IV
	Michelite	Michigan Dark Red Kidney	Perry Marrow	Cornell 49242	Widusa	Kaboon	México 222	PI207262	To	Tu	AB 136	G 2333	
64	R ¹	R	R	R	R	R	S ²	R	R	R	R	R	8.3
69	S	R	S	R	R	R	S	R	R	R	R	R	25
100	R	R	S	R	R	S	S	R	R	R	R	R	25
192	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R	R	R	16.7
256	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R	8.3
260	R	R	S	R	R	R	R	R	S	R	R	R	16.7
265	S	R	R	S	R	R	R	R	S	R	R	R	25
320	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	R	R	16.7
324	R	R	S	R	R	R	S	R	S	R	R	R	25
325	S	R	S	R	R	R	S	R	S	R	R	R	33.3
328	R	R	R	S	R	R	S	R	S	R	R	R	25
356	R	R	S	R	R	S	S	R	S	R	R	R	33.3
449	S	R	R	R	R	R	S	S	S	R	R	R	33.3
457	S	R	R	S	R	R	S	S	S	R	R	R	41.7
485	S	R	S	R	R	S	S	S	S	R	R	R	50
IR	60	100	53.3	80	100	80	20	73.3	26.7	100	100	100	

¹R= resistente; ²S= susceptible.

Sólo siete de las variedades diferenciales fueron susceptibles a alguno de los patotipos de *C. lindemuthianum* (Cuadro 4). México 222 y To fueron susceptibles a la mayoría de los patotipos, mostrando IR bajos de 20.0 y 26.7, respectivamente. Rodríguez-Guerra *et al.* (2006) también reportó que ambas variedades diferenciales muestran bajos IR a 50 patotipos previamente reportados en México. Las variedades diferenciales Michigan Dark Red Kidney, Widusa, Tu, AB 136 y G 2333 fueron resistentes a los patotipos identificados en los estados bajo estudio, pero pueden reaccionar como susceptibles a otros patotipos presentes en México (Rodríguez-Guerra *et al.*, 2006).

Ningún patotipo identificado en San Luis Potosí fue capaz de producir una reacción de susceptibilidad sobre variedades diferenciales de origen andino, mientras que seis (50%) de los patotipos identificados en Oaxaca (69, 100, 260, 324, 325, 356) causaron una reacción de susceptibilidad a alguna diferencial de ese acervo genético (Cuadro 2 y 4). Los patotipos más virulentos fueron el 457 (causa susceptibilidad a cinco variedades diferenciales) y 485 (causa susceptibilidad a seis variedades diferenciales) del estado de Oaxaca, con IV de 41.7 y 50.0 respectivamente (Cuadro 4), ubicándolos entre los más virulentos en el país. Sin embargo, patotipos más virulentos (1 869, 3 785, 3 993, 3 995, 4 027, 4 077) han sido identificados en el estado de Chiapas, México, capaces de infectar de siete a diez variedades diferenciales (Rodríguez-Guerra *et al.*, 2006).

Cinco variedades diferenciales (Michigan Dark Red Kidney, Widusa, Tu, AB 136, G 2333) mostraron resistencia a los patotipos identificados en San Luis Potosí y Oaxaca, y pueden ser utilizadas como fuentes de resistencia contra los patotipos presentes en ambos estados. Entre éstas, la variedad diferencial Tu (porta el gen de resistencia Co-5) continua siendo una importante fuente de resistencia a la mayoría de los patotipos presentes en México (González-Chavira *et al.*, 2004).

Fuentes de resistencia

Entre los materiales nativos de San Luis Potosí y Guanajuato ocurrieron cuatro grupos de reacción: I) resistencia a ambos patotipos, II) resistencia al

patotipo 64 y susceptibilidad al 320, III) resistencia al patotipo 320 y susceptibilidad al 64, y IV) susceptibilidad a ambos patotipos. Mientras que en los cultivares mejorados ninguno mostró reacción de resistencia al patotipo 320 con susceptibilidad al 64 (grupo de reacción III). La mayoría de los materiales nativos de San Luis Potosí (12) y de Guanajuato (76) fueron resistentes a ambos patotipos (grupo de reacción I), mientras que cinco y 15 materiales fueron resistentes a uno u otro patotipo (grupos de reacción II y III) (Cuadro 5). Los restantes materiales nativos fueron susceptibles a los patotipos 320 y 64. De los 55 cultivares mejorados, 21 fueron susceptibles a los patotipos 320 y 64, seis susceptibles al primero pero resistentes al 64, y 28 resistentes a ambos patotipos (Cuadro 6). Con anterioridad se identificaron fuentes de resistencia a patotipos de *C. lindemuthianum* presentes en México en un reducido grupo elite de cultivares de frijol del INIFAP (González-Chavira *et al.*, 2004); sin embargo, ningún esfuerzo se había realizado con el propósito de identificar fuentes de resistencia en materiales nativos de frijol en México. La búsqueda de fuentes de resistencia en materiales nativos de frijol ha permitido identificar fuentes de resistencia contra patotipos altamente virulentos presentes en Colombia (Santana y Mahuku, 2002).

En esta investigación, la mayoría de los materiales evaluados por su reacción a los patotipos 320 y 64 fueron resistentes a ambos (grupo de reacción I). Es posible que la resistencia de los materiales nativos y mejorados que reaccionaron como resistentes al patotipo 64 pero fueron susceptibles al 320, se deba al menos a un gen de resistencia similar al presente en la variedad diferencial To, la cual es susceptible a este último patotipo, o se deba a otro gen de resistencia que está ausente en México 222 (susceptible al patotipo 64).

López-Jiménez *et al.* (2006) sugieren que el uso sistemático de un reducido y selecto grupo de patotipos de *C. lindemuthianum* puede ser útil para identificar fuentes de resistencia contra el patógeno. Esta estrategia considera que los patotipos seleccionados deben causar una reacción de susceptibilidad a la mayoría de las variedades diferenciales, y que los materiales resistentes a ellos también deben ser resistentes a patotipos que infectan a cualquiera de las diferenciales que son infectadas en conjunto por los patotipos utilizados.

Cuadro 5. Grupos de reacción de materiales nativos de frijol común (*P. vulgaris*) del estado de San Luis Potosí y Guanajuato a dos patotipos de *Colletotrichum lindemuthianum*.

Grupo de reacción	Estado/Accesión	Tipo de semilla representado
I (resistencia a los patotipos 320 y 64)	San Luis Potosí 852, 853, 854, 855, 857, 859, 860, 861, 862, 3905, 3983, 4002	Negro, Flor de Mayo, Ojo de Cabra, Tejano
II (resistencia al patotipo 64 y susceptibilidad al 320)	858, 2564, 3942, 4031	Canario, Tejano, Bayo
III (resistente al patotipo 320 y susceptible al 64)	4011	Canario
IV (susceptible a los patotipos 320 y 64)	2563, 2566, 2568, 3924, 3930, 3935, 3990	Bayo, Café, Cacahuate, Negro, Flor de Mayo
Guanajuato		
I (resistencia a los patotipos 320 y 64)	149, 153, 176, 179, 189, 196, 203, 207, 208, 233, 234, 239, 1513, 2921, 2922, 2925, 2931, 2932, 2938, 2939, 2942, 2943, 2944, 2947, 2948, 2949, 2953, 2954, 2955, 2950, 2957, 2958, 2959, 2960, 2961, 2962, 2963, 2965, 2967, 2968, 2969, 2970, 2971, 2972, 2973, 2974, 2975, 2977, 2979, 2981, 2982, 2984, 2985, 2986, 2987, 2988, 2989, 2990, 2993, 2994, 2995, 2996, 2997, 2998, 2999, 3000, 3002, 3003, 3005, 3006, 4804, 4807, 1514, 2976, 2978, 2917	Canario, Bayo, Pardo, Café, Negro, Pinto, Ojo de Cabra
II (resistencia al patotipo 64 y susceptibilidad al 320)	150, 180, 190, 204, 219, 222, 236,	Negro, Ojo de Liebre
III (resistente al patotipo 320 y susceptible al 64)	173, 182, 186, 221, 238, 245, 1518, 2920	Flor de Mayo, Café, Canario y Bayo
IV (susceptible a los patotipos 320 y 64)	151, 152, 157, 174, 175, 192, 197, 211, 213, 215, 217, 218, 219, 223, 227, 228, 230, 231, 232, 2929, 2934, 2935, 2941, 2945	Bayo, Negro, Ojo de Liebre, Flor de Mayo, Canario, Ojo de Cabra, Pinto

Lo anterior ha ocurrido con siete cultivares elite inoculados con el patotipo 1 472 (infecta a las variedades diferenciales México 222, PI 207262, To y AB 136), los cuales fueron resistentes a ese patotipo y también al 448 (que al igual que el patotipo 1472, infecta en común variedades diferenciales México 222, PI 207262 y To) (González-Chavira *et al.*, 2004); así como con la variedad mejorada Bayo Mecentral, reportada por González-Chavira *et al.* (2004) como resistentes al patotipo 448 (causa reacción de susceptibilidad a las diferenciales México 222, PI 207262 y To), la cual en esta investigación fue resistente a los patotipos 320 (causa reacción de susceptibilidad a las diferenciales

México 222 y To) y 64 (causa reacción de susceptibilidad a la diferencial México 222), como debería esperarse según la estrategia de López-Jiménez *et al.* (2006).

En esta investigación se esperaba que los materiales nativos y cultivares mejorados que reaccionaron como resistentes al patotipo 320, también lo fueran al 64. Lo anterior ocurrió en 116 materiales nativos de los 125 que fueron resistentes al patotipo 320; los otros nueve materiales fueron susceptibles al patotipo 64. Sin embargo, resultados contradictorios a los esperados con la estrategia de López-Jiménez *et al.* (2006) y de manera similar a lo observado con esos nueve materiales, se han reportado en investigaciones realizadas previamente

(Del Río *et al.*, 2002; Santana y Mahuku, 2002) al utilizar dos patotipos que difieren en su capacidad de infectar a una sola variedad diferencial, tanto en materiales nativos como mejorados de frijol. La reacción de esos nueve materiales puede deberse a la presencia de por lo menos un gen de resistencia

distinto a los que ocurren en las variedades diferenciales México 222 (*Co-3*) y To (*Co-4*), las cuales en conjunto reaccionan como susceptibles a ambos patotipos, ya la presencia en el patotipo 320 de un gen de avirulencia (ausente en el patotipo 64) capaz de ser reconocido por ese gen de resistencia.

Cuadro 6. Reacción de variedades mejoradas de frijol a dos patotipos de *Colletotrichum lindemuthianum*.

Variedad	Patotipo			Variedad	Patotipo		
	320	64	Tipo de grano		320	64	Tipo de grano
Delicias 71	R ¹	R	Pinto	Pinto 162	S ²	R	Pinto Negro
Arriaga	R	R	Negro opaco	Bayo 161	S	R	Bayo
Flor de Abril	R	R	Flor de mayo	Bayo Rata	S	R	Bayo
Blanco 157	R	R	Alubia	Azufrado Higuera	S	R	Azufrado
Bayomex	R	R	Canario	Agrarista	S	R	Bayito
Bayo Zacatecas	R	R	Bayo	Antigua	S	R	Negro Opaco
Bayo Victoria	R	R	Bayo	Durango 222	S	S	Bayo
Bayo Mecentral	R	R	Garbancillo	Flor de Junio Criollo	S	S	Flor de Junio
Bayo Madero	R	R	Bayo	Negro Durango	S	S	Negro Opaco
Bayo los Llanos	R	R	Bayo	Negro Chiapas	S	S	Negro Opaco
Bayo INIFAP	R	R	Garbancillo	Negro 150	S	S	Negro Brillante
Bayo 159	R	R	Bayo	Negro 152	S	S	Negro Brillante
Bayo 160	R	R	Bayo	Negro 66	S	S	Negro Brillante
Bayo 164	R	R	Bayo	Flor de Mayo Sol	S	S	Flor de Mayo
Bayo Berrendo	R	R	Bayito	Flor de Mayo Bajío	S	S	Flor de Mayo
Bayo 107	R	R	Bayo	Flor de Junio Marcela	S	S	Flor de Junio
Azufrado Tapatio	R	R	Garbancillo	Bayo Durango	S	S	Bayo
Azufrado Regional 87	R	R	Azufrado	Bayo Calera	S	S	Bayo
Azufrado Pimono 78	R	R	Azufrado	Bayo 158	S	S	Bayo
Azufrado Peruano 87	R	R	Azufrado	Bayo 400	S	S	Bayo
Azufrado Noroeste	R	R	Azufrado	Bayo 66	S	S	Bayo
Azufrado Namiquipa	R	R	Garbancillo	Bayo Baranda	S	S	Bayo
Azufrado 100	R	R	Canario	Azufrado Amarillo 33	S	S	Amarillo
Negro Tropical	R	R	Negro opaco	Azufrado 200	S	S	Canario
Actopan	R	R	Negro opaco	Aguascalientes 466	S	S	
Alubia Chica	R	R	Alubia	Amarillo 155	S	S	Amarillo
Amarillo 153	R	R	Amarillo	Negro Vizcaya	S	S	Negro brillante
Amarillo 154	R	R	Amarillo				

¹R= resistente; ²S= susceptible.

CONCLUSIONES

Se reportan por primera vez en México siete nuevos patotipos de *C. lindemuthianum*, lo que constituye una prueba de la gran diversidad de patotipos hasta antes no identificada.

Se identificaron materiales nativos y cultivares mejorados resistentes a los patotipos 64 y 320. Estos genotipos comprenden diferentes tipos

y colores de grano que pueden ser utilizados como fuentes de resistencia en los programas de mejoramiento genético de frijol.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento otorgado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y

Alimentación (SAGARPA)-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (convenio 2004-C01-28) para la realización de esta investigación y al CONACYT por la beca otorgada a Bertha María Sánchez García, para realizar los estudios de la Maestría en Ciencias.

LITERATURA CITADA

- Antunes, I. J.; Santin, R. de C. M.; Mastrantonio, J. J. da S. and Bonemann, C. 2003. New sources of resistance, race identification and virulence and resistance indexes in anthracnose research. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 46:179-180.
- Araya, C. M. 2003. Coevolución de interacciones hospedante-patógeno en frijol común. Fitopatología Brasileira 28:221-228.
- Balardin, R. S.; Jarosz, A. M. and Kelly, J. D. 1997. Virulence and molecular diversity in *Colletotrichum lindemuthianum* from South, Central, and North America. Phytopathology 87:1184-1191.
- Del Río, L. E.; Lamppa, R. S. and Gross, P. L. 2002. Reaction of dry bean cultivars of the Northern Plains to anthracnose. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 45:72-73.
- Ferreira, J. J.; Rodríguez, C.; Pañeda, A. and Giradles, R. 2003. Evaluation of *Phaseolus vulgaris* germplasm for resistance to five anthracnose races isolated in Northern Spain. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 46:171-172.
- Flor, H. H. 1942. Inheritance of pathogenicity in *Melampsora lini*. Phytopathology 32:653-669.
- Flor, H. H. 1956. The complementary genetic system in flax and flax rust. Advances in Genetics 8:29-54.
- Garrido-Ramírez, E. R. y Romero-Cova, S. 1989. Identificación de razas de *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magn.) Scrib. En México y búsqueda de resistencia genética a este hongo. Agrociencia 77:139-156.
- Geffroy, V.; Sévignac, M.; De Oliveira, J. C. F.; Fouilloux, G.; Skroch, P.; Thoquet, P.; Gepts, P.; Langin, T. and Dron, M. 2000. Inheritance of parcial resistance against *Colletotrichum lindemuthianum* in *Phaseolus vulgaris* and co-localization of quantitative trait loci with genes involved in specific resistance. MPMI 13:287-296.
- Gepts, P. and Debouck, D. G. 1991. Origin, Domestication and Evolution of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) pp. 7-53. In: Schoonhoven, van A. and Voysest, O. (eds.). Common Beans: Research for Crop Improvement. CAB. Inter. Wallingford, UK and CIAT, Cali, Colombia.
- González, M.; Rodríguez, R.; Zavala, M. E.; Jacobo, J. L.; Hernández, F.; Acosta, J.; Martínez, O. y Simpson, J. 1998. Characterization of Mexican isolates of *Colletotrichum lindemuthianum* by using differential cultivar and molecular markers. Phytopathology. 88:292-299.
- González-Chavira, M.; Rodríguez-Guerra, R.; Hernández-Godínez, F.; Acosta-Gallegos, J. A.; Martínez-de la Vega, O. and Simpson, J. 2004. Analysis of pathotypes of *Colletotrichum lindemuthianum* found in the central region of Mexico and resistance in elite germplasm of *Phaseolus vulgaris*. Plant Disease. 88:152-156.
- Hernández-G., F.; González-Ch., M.; Rodríguez-G., R.; Acosta-G., J. y Simpson, J. 1998. La variación patogénica de *Colletotrichum lindemuthianum* y su importancia en los programas de mejoramiento genético del frijol. Rev. Mex. Fitopatol. 16(S1):63.
- Kelly, J. D.; Afanador, L. and Cameron, L. S. 1994. New races of *Colletotrichum lindemuthianum* in Michigan and implications in dry bean resistance breeding. Plant Disease 78:892-894.
- López-Jiménez, G.; Pineda-Rodríguez, S.; Sánchez-García, B. M.; Acosta-Gallegos, J. A.; Simpson, J. y Rodríguez-Guerra, R. 2006. Estrategia para identificar fuentes de resistencia en germoplasma de frijol común a razas de *Colletotrichum lindemuthianum* presentes en México. XXXIII Congreso Nacional de Fitopatología/VIII Congreso Internacional de Fitopatología. Resumen C100.
- Mahuku, G. S.; Jara, C. E.; Cajiao, C. and Beebe, S. 2002. Sources of resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in the secondary gene pool of *Phaseolus vulgaris* and crosses of primary and secondary gene pools. Plant Disease 86:1383-1387.
- Pastor-Corrales M. A. 1991. Estandarización de variedades diferenciales y de designación de razas de *Colletotrichum lindemuthianum*. (Abstract) Phytopathology 81:694.

- Pastor-Corrales, M. A. and Tu, J. C. 1989. Anthracnose. In: Schwartz, H. F. and Pastor-Corrales, M. A. (eds). Bean Production Problems in the Tropics. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia. p. 77-104.
- Pastor-Corrales, M. A. 1996. Tradicional and molecular confirmation of the coevolution of beans and pathogens in Latin America. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 39:46-47.
- Shannon, C. E. and Weaver, W. 1963. Mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, USA. 117p.
- Rodríguez-Guerra, R.; Ramírez-R., M.T.; Martínez de la Vega, O. and Simpson, J. 2003. Variation in genotype, pathotype and anastomosis groups of *Colletotrichum lindemuthianum* isolates from Mexico. Plant Pathology 52:228-235.
- Rodríguez-Guerra, R.; Acosta-Gallegos, J. A.; González-Chavira, M. M. y Simpson, J. 2006. Patotipos de *Colletotrichum lindemuthianum* y su implicación en la generación de cultivares resistentes de frijol. Agri. Téc. Méx. 32:99-112.
- Santana, G. E. and Mahuku, G. 2002. Diversidad de razas de *Colletotrichum lindemuthianum* en Antioquia y evaluación de germoplasma de frijol crema-rojo por resistencia a antracnosis. Agronomía Mesoamericana 13:95-103.
- Sartorato, A. and Arraes, P.A. 2003. Wild beans as source of resistance to *Colletotrichum lindemuthianum*. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 46:9-10.
- Sicard, D.; Michalakis, Y.; Dron, M. and Neema, C. 1997. Genetic diversity and pathogenic variation of *Colletotrichum lindemuthianum* in three centers of diversity of its host, *Phaseolus vulgaris*. Phytopathology 87:807-813.