

Aspectos Fundamentales del Tizón Común Bacteriano (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* Smith): Características, Patogenicidad y Control

Fundamental aspects of Common Bacterial Blight (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* Smith): Characteristic, Pathogenicity and Control

Nazario Francisco Francisco, Gabriel Gallegos Morales, Yisa María Ochoa Fuentes, Francisco D. Hernández Castillo, Departamento de Parasitología; Adalberto Benavides Mendoza, Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. CP 25084, México; Francisco Castillo Reyes, Campo Experimental Saltillo, INIFAP, carretera Saltillo-Zacatecas, km 342+119. Num. 9515, Colonia Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila. 25315, México. Autor correspondencia: ggalmor@uaaan.mx

(Recibido: Diciembre 13, 2013 Aceptado: Febrero 12, 2014)

Francisco Francisco N, Gallegos Morales G, Ochoa Fuentes YM, Hernández Castillo FD, Benavides Mendoza A y Castillo Reyes F. 2013. Aspectos fundamentales del tizón común bacteriano (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* Smith): Características, patogenicidad y control. Revista Mexicana de Fitopatología 31 (2): 147-160.

Resumen. *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (Xap) (Smith) es la bacteria que ocasiona el tizón común bacteriano del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) síntoma que se caracteriza por la aparición de manchas con aspecto de tizón con un halo amarillo en hojas, tallos, y frutos reduciendo así el rendimiento del cultivo. La taxonomía de este patógeno ha sido muy cambiante debido a su variabilidad genética. La semilla infectada es la forma más eficiente de dispersión de la enfermedad entre las áreas cultivadas, el éxito de la infección y la multiplicación bacteriana en el tejido hospedero frecuentemente depende de factores de virulencia y del sistema de secreción. Los métodos de manejo que se emplean para contrarrestar la enfermedad en campo no han sido efectivos, no obstante, la constante búsqueda de nuevos enfoques como el empleo de agentes de biocontrol e inductores de resistencia, abren nuevas expectativas para su control.

Palabras clave adicionales: Diagnóstico bacteriano, factores de virulencia, control biológico.

El género *Xanthomonas* comprende un grupo de bacterias fitopatógenas Gram negativas dentro de la clase III Gammaproteobacteria (Saddler y Bradbury, 2005). Sus especies son típicamente de forma de bacilo con un solo flagelo polar, son aerobios obligados y requieren una temperatura óptima para su crecimiento de 28 °C (Torres et

Abstract. *Xanthomonas axonopodis* pv. *Phaseoli* (Xap) (Smith) is the bacterium that causes common bacterial blight in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) characterized by irregular necrotic staining with yellow halo on leaves, stems, and fruits with crop yield reduction. The taxonomy of this pathogen has been changing due their genetic variability. Infected seeds are one of the most efficient forms of disease dispersal between cultivated areas, the infection and bacterial multiplication in the host tissue often depend on the virulence factors and their secretion system. Management methods that are used to counter the disease in the field have not been effective, however, the constant search for new approaches as the use of biocontrol agents and resistance inducers, open new prospects for control.

Additional keywords: Diagnosis of bacterial, virulence factors, biological control.

Xanthomonas genus comprises a group of Gram-negative pathogenic bacteria within the Gammaproteobacteria class III (Saddler and Bradbury, 2005). Its species are typically rod-shaped with a single polar flagellum, they are obligate aerobes and they require 28 °C which is their optimal temperature for growth (Torres et al., 2009). Bacterial colonies grown on artificial medium are usually yellow due to the presence of pigment on the membranes known as xanthomonadin, which protects them against oxidative damage (He et al., 2011). Among this genus, the *X. axonopodis* species affects a wide range of hosts, including some economically important crop species (Hayward, 1993) such as beans (*Phaseolus vulgaris*), where it develops the common bacterial blight disease caused by the pathovar *phaseoli*.

This disease, even with all the damages caused in the

al., 2009). Las colonias bacterianas crecidas en medio artificial son usualmente amarillas debido a la presencia de pigmento en las membranas conocido como xanthomonadina, el cual las protege del daño oxidativo (He *et al.*, 2011). Dentro de este género, la especie *X. axonopodis* afecta a un amplio rango de hospedantes, encontrándose especies cultivadas de importancia económica (Hayward, 1993), entre ellos el frijol (*Phaseolus vulgaris*) ocasionando la enfermedad del tizón común bacteriano causado por el patovar *phaseoli*.

Esta enfermedad, aún con el daño que provoca en los campos de cultivo, como la reducción en el rendimiento de hasta un 47 %, no se encuentra en status regulado. En México se ubica dentro de los primeros cuatro problemas fitosanitarios que afectan al cultivo, principalmente en las áreas productoras del Altiplano (López, 1991).

Los síntomas del tizón común bacteriano son manchas foliares necróticas irregulares rodeadas por un delgado halo amarillo. Estas manchas pueden desarrollarse en el borde o en diferentes áreas de las hojas. Esta bacteria (Xap y Xff) se encuentran presente en un 83 % de las áreas de producción de semilla y hasta un 79 % en campos comerciales del cultivo, reduciendo los rendimientos hasta en un 55 %, siendo mayores a temperaturas de 27 °C y alta humedad relativa (Fourie, 2002). En las vainas y semillas ocasiona manchas rojizas irregulares con presencia de exudados amarillos cuando la humedad relativa es superior al 80 %. También pueden afectar las semillas, las cuales se tornan arrugadas, o pueden permanecer asintomáticas y manifestarse en las plantas desarrolladas (Saettler, 1989).

Actualmente, la enfermedad es controlada por la aplicación de algunos métodos como los tratamientos químicos, el manejo cultural del cultivo, el control biológico, y el uso de variedades resistentes, principalmente.

Diversos estudios sobre el patovar *phaseoli* como: la sobrevivencia epifítica, diversidad genética, genes de virulencia y patogenicidad, entre otros (Mahuku *et al.*, 2006; Prudencio-Sains *et al.*, 2008; Jacques *et al.*, 2005), resultaron en la propuesta de diferentes alternativas de control del patógeno, tal como el empleo de variedades resistentes (Liu *et al.*, 2009), y más recientemente la inducción de resistencia sistémica mediante microorganismos benéficos (Osdaghi *et al.*, 2011).

El propósito del presente escrito es revisar aspectos fundamentales del patógeno, los mecanismos de dispersión del inóculo, sus efectos fisiológicos sobre las plantas, y el manejo de la enfermedad que se emplea actualmente. Todo esto con la finalidad de contribuir al entendimiento del comportamiento del agente causal del tizón común bacteriano.

Características generales. Hasta 1984 el género *Xanthomonas* comprendía seis especies entre las cuales la especie *X. axonopodis* no figuraba como tal. El agente causal del tizón común bacteriano era conocido como *X. campestris* pv. *phaseoli* (Bradbury *et al.*, 1984). No fue hasta 1995 cuando se propone la reclasificación del género por Vauterin *et al.*, (1995). El manual de bacteriología sistemática de Bergey's (Saddler y Bradbury,

fields, such as yield reduction up to 47 %, is still not in quarantined status. In Mexico, it is located within the first four phytosanitary problems that affect the crop, especially in growing areas of the Altiplano (Lopez, 1991).

Symptoms of common bacterial blight are irregular necrotic leaf spots surrounded by a thin yellow halo. These spots may develop on the edge or in different area of the leaves. This bacteria (Xap and Xff) is present in 83 % of the seed production areas and up to 79 % in commercial fields, reducing the yields by up to 55 % and higher when temperature is around 27 °C and high relative humidity (Fourie, 2002). In the pods and seeds it causes irregular reddish stains with presence of yellow exudates when the relative humidity is above 80 %. It can also affect the seeds, which become wrinkled seeds, or may remain asymptomatic and manifest later in the developed plants (Saettler, 1989).

Nowadays, the disease is controlled by applying some methods such as chemical treatments, cultural crop management, biological control and use of resistant varieties. Diverse studies on pathovar *phaseoli* such as: the epiphytic survival, genetic diversity, pathogenicity and virulence genes among others (Mahuku *et al.*, 2006; Prudencio-Sains *et al.*, 2008; Jacques *et al.*, 2005), resulted in a proposal of different alternatives for the pathogen control, such as the use of resistant varieties (Liu *et al.*, 2009), and more recently the induction of systemic resistance by beneficial microorganisms (Osdaghi *et al.*, 2011).

The purpose of this paper is to review key aspects of the pathogen, the inoculum dispersal mechanisms, its physiological effects on plants, and disease management that is currently used. All this with the aim of contributing to the understanding of the behavior of the causal agent of common bacterial blight.

General characteristics. Until 1984, *Xanthomonas* genus comprised six species and *X. axonopodis* was not part of it. The causal agent of common bacterial blight was known as *X. campestris* pv. *phaseoli* (Bradbury *et al.*, 1984). It was until 1995 when the reclassification of the genus is proposed by Vauterin *et al.*, (1995). Currently, Bergey's manual of systematic bacteriology (Saddler and Bradbury, 2005) classifies this agent as follows:

Division: Bacteria.

Phylum XIV: Proteobacteria

Class III: Gammaproteobacteria

Order III: Xanthomonadales

Family I: Xanthomonadaceae

However, due to various taxonomic reclassifications, the current nomenclature of the 19 species and 140 pathovars that conform the *Xanthomonas* genus, is still subject to debate according to Rademaker *et al.* (2005).

There are two variants of this agent in the Vauterin *et al.* (1995) reclassification, *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (Xap) and *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *fuscans* (Xapf). The latter agent has been reclassified as a new species by using restriction enzymes (El-Sharkawy and Huisingsh, 1971), plasmid profile (Lazo and Gabriel, 1987) and DNA hybridization, being allocated as *X. fuscans* subs. *fuscans* (Xff) (Schaad *et al.*, 2005).

2005) ubica a este agente de la siguiente manera:

División: Bacteria

Phylum XIV: Proteobacteria

Clase III: Gammaproteobacteria

Orden III: Xanthomonadales

Familia I: Xanthomonadaceae

Sin embargo, debido a varias reclasificaciones taxonómicas, la nomenclatura actual de las 19 especies y 140 patovares que conforman el género *Xanthomonas* está aún sujeta a debate según Rademaker *et al.* (2005).

Existen dos variantes de este agente reconocido en la reclasificación por Vauterin *et al.*, (1995), *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (Xap) y *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *Fuscans* (Xapf). Este último agente se ha reclasificado como una nueva especie, mediante el uso de enzimas de restricción (El-sharkawy y Huisingh, 1971), perfil de plasmidos (Lazo y Gabriel, 1987) e hibridación de DNA, asignándose como *X. fuscans* subs. *fuscans* (Xff) (Schaad *et al.*, 2005).

El tamaño promedio del genoma de Xap es de 3850.6 ± 48.9 y 3584.3 ± 68.1 kb para Xff, la confirmación de la diferencia genética de los dos agentes fue corroborada mediante la electroforesis en gel de campos pulsantes (PFGE, del inglés pulse-field gel electrophoresis) y por los polimorfismos en la longitud de los fragmentos de restricción (RFLP, del inglés restriction fragment length polymorphism) con la enzima de restricción *Xba1* (Chan y Goodwin, 1999b). Un mapa físico del cromosoma BXP65 de Xff se ha construido por PFGE e hibridación Southern (Chan y Goodwin, 1999a) lo cual ha permitido una mejor comprensión de la taxonomía y virulencia de este fitopatógeno.

Estudios previos demostraron que las cepas de Xap y Xff eran genéticamente diferentes y que podrían ser agrupados dentro de cuatro linajes distintos, tres correspondientes a Xap y el restante a Xff. Las cepas de Xap mostraron ser más heterogéneas que los de Xff (Alavi *et al.*, 2008).

X. axonopodis pv. *phaseoli* crece en medios de cultivo artificiales como TB y KB con morfología colonial de color amarillo mucoso no fluorescente (Abd-Alla y Bashandy, 2010). Xff en medio YDCA produce un pigmento café difusible. No producen endosporas, son motiles con flagelación polar y son considerados aerobios obligados presentando metabolismo oxidativo (Saddler y Bradbury, 2005).

Ambas bacterias presentan diferencias en los requerimientos nutricionales. Así por ejemplo, pueden utilizar manitol, maltosa y trealosa como fuente de carbono (Cuadro 1) (Abd-Alla y Bashandy, 2010). Inducen una reacción de hipersensibilidad en hojas de tabaco, son negativas en la pudrición de papa, no se desarrollan en presencia de cloruro de sodio al 2.5 %, e hidrolizan gelatina (Osdaghi 2010). Una característica particular del agente Xff es la hidrólisis de almidón, lo cual se manifiesta por un área translúcida que rodean a las colonias en un medio conteniendo dicho compuesto y es visible aún sin la revelación con lugol (Jacques *et al.*, 2005).

Técnicas de diagnóstico. Estas van desde el uso de

The average size of Xap genome is 3850.6 ± 48.9 and 3584.3 ± 68.1 kb for Xff, confirmation of the genetic difference of these two agents was assessed by Pulsed-field gel electrophoresis (PFGE) and polymorphisms by restriction fragment length polymorphism (RFLP) with *Xba1* as restriction enzyme (Chan and Goodwin, 1999b). A physical map of chromosome BXP65 of Xff was built by PFGE and Southern hybridization (Chan and Goodwin, 1999a) which has allowed a better understanding of the taxonomy and virulence of this plant pathogen.

Previous studies showed that Xap and Xff strains were genetically different and that they could be grouped into four different lineages, three corresponding to Xap and the remaining to Xff. Xap strains were more heterogeneous than those of Xff (Alavi *et al.*, 2008).

X. axonopodis pv. *phaseoli* grows in artificial media such as TB and KB with colonial morphology of non-fluorescent yellow mucoid (Abd-Alla and Bashandy, 2010). Xff in YDCA media produces a diffuse brown pigment. They do not produce endospores, they are motile with polar flagellation and they are considered aerobic obligated showing oxidative metabolism (Saddler and Bradbury, 2005).

Both agents have differences in nutritional requirements. For example, they can use mannitol, maltose and trehalose as a carbon source (Table 1) (Abd-Alla and Bashandy, 2010). They induce a hypersensitive reaction in tobacco leaves, they are negative in the potato rot, they do not develop in the presence of 2.5 % sodium chloride and they hydrolyze gelatin (Osdaghi 2010). A particular Xff characteristic is the starch hydrolysis, which is manifested by a translucent area surrounding the colonies on a medium containing such compound and is visible even without lugol detection (Jacques *et al.*, 2005).

Diagnostic techniques. These range from the use of screening tests in seeds with or without symptoms (Karavina *et al.*, 2008), use of bacteriophages (Kahveci and Maden, 1994), selective media (Sheppard *et al.*, 2007), serological tests such as immunofluorescence and enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) (Wong, 1991), PCR (Audy *et al.*, 1994) and hybridizations with PCR and RFLP (Zamani *et al.*, 2011).

There are also several semi-selective culture media such as MT (Goszczyńska and Serfontein, 1998), XCP1 (Popović *et al.*, 2009) and more recently the PTSA (Denardin and Agostini, 2013), which provides better development and counting of bacterial colonies. However, the semi-selective culture medium more used is MXP which contains potato starch, because several antibiotics and other chemicals can be used on this medium such as crystal violet, which limits the growth of Gram-positive bacteria, Cephalixin, that inhibit enterobacteria growth, and antibiotic kasugamycin which limits *Pseudomonas* growth (Jacques *et al.*, 2005).

Routine techniques to test batches of bacteria-free seed use serological testing such as immunofluorescence cell staining and ELISA. The drawback of serological tests is that they do not distinguish between viable and non-viable cells and the specificity of the reactions is highly dependent

Cuadro 1. Comportamiento bioquímico de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (Xap).
 Table 1. Biochemical behavior of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (Xap).

Pruebas bioquímicas		Pruebas bioquímicas	
Tinción Gram	-	Crecimiento en NaCl 0, 2, 4, 6 y 8 %	+
Pigmentos fluorescentes	-		
Metabolismo oxidativo/fermentativo	+	Producción ácida de: Glucosa	+
Solubilidad KOH	+	Sacarosa	+
Producción de levana	-	Maltosa	+
Hidrólisis de gelatina	-	Lactosa	-
Hidrólisis de esculina	+	Galactosa	+
Hidrólisis de Tween 80	+	Trehalosa	+
Hidrólisis de caseína	+	Celobiosa	+
Hidrólisis de almidón	+	Manitol	+
Prueba oxidasa de Kovac	-	Glicerol	+
Reducción de nitratos	-	Glucitol	-
Deshidrolosa de arginina	-	Arabinosa	+
Producción de ureasa	-	D-alanina	-
Producción de Indol	-	D-prolina	-
Producción de H ₂ O desde cisteína	-	Patogenicidad	+

pruebas para detección en semillas con o sin síntomas (Karavina *et al.*, 2008), uso de bacteriófagos (Kahveci y Maden, 1994), medios de cultivo selectivos (Sheppard *et al.*, 2007), pruebas serológicas como la inmunofluorescencia y el ensayo por inmuno-absorción ligado a enzimas (ELISA, del inglés enzyme-linked immunosorbent assay) (Wong, 1991), PCR (Audy *et al.*, 1994), e hibridaciones con PCR y RFLP (Zamani *et al.*, 2011).

También se han desarrollado varios medios de cultivo semiselectivos como el MT (Goszczyńska y Serfontein, 1998), XCP1 (Popović *et al.*, 2009) y más recientemente el PTSA (Denardin y Agostini, 2013), el cual provee mejor desarrollo y conteo de las colonias bacterianas. No obstante, el medio de cultivo semiselectivo más empleado es el MXP el cual contiene almidón de papa, dado que sobre este mismo medio pueden utilizarse varios antibióticos y otros químicos, tales como cristal violeta, el cual limita el crecimiento de bacterias Gram-positivas, Cefalexina, que inhiben el crecimiento de enterobacterias, y

on the quality of the antibodies.

Some PCR amplification techniques have been used for detection and identification of these bacteria. In general, PCR assays are fast and very specific, but quantification is difficult and amplification is prone to inhibition by contaminants in seed samples. Flow cytometry (FCM) is a useful technique for fast multiparameter analysis and quantification of particles, such as bacterial cells. The analysis is based on the size and granulometry, and it uses fluorescent light emission after staining with a fluorescent dye (Tebaldi *et al.*, 2010).

Global distribution. *X. axonopodis* pv. *phaseoli* is present in most of the world. Its distribution is partially associated with its ability to infect the seeds of both resistant and susceptible genotypes. For example, in Serbia 20 out of 23 commercially seeded bean cultivars are susceptible (Popovic *et al.*, 2009). In Iran, the disease was first observed in the summer of 1998, studies in the following years showed that the disease increased in growing regions of the

kasugamicina antibiótico que limita el crecimiento de las *Pseudomonas* (Jacques *et al.*, 2005).

Las técnicas de rutina para probar lotes de semilla libres de la bacteria emplean pruebas serológicas como la inmunofluorescencia por tinción de células y también la técnica ELISA. El inconveniente de las pruebas serológicas es que ninguna discrimina entre células viables y no viables y la especificidad de las reacciones es muy dependiente de la calidad de los anticuerpos.

Para la detección e identificación de esta bacteria, también se han descrito algunas técnicas de amplificación por PCR. En general, los ensayos de PCR son rápidos y muy específicos, pero la cuantificación es difícil y la amplificación es propensa a la inhibición por contaminantes presentes en las muestras de semillas. La citometría de flujo (FCM) es una técnica que permite de manera rápida el análisis multiparamétrico y la cuantificación de partículas, tales como las células bacterianas. El análisis se basa en el tamaño y granulometría, y puede emplear la emisión de luz fluorescente, después de teñir con un tinte fluorescente (Tebaldi *et al.*, 2010).

Distribución Mundial. *X. axonopodis* pv. *phaseoli* se encuentra presente en gran parte del mundo. Su distribución esta parcialmente asociada con su habilidad para infectar las semillas de ambos genotipos resistentes y susceptibles. Así por ejemplo, en Serbia 20 de 23 cultivares de frijol comercialmente sembrados son susceptibles (Popović *et al.*, 2009). En Irán la enfermedad se observó por primera vez en el verano de 1998, los estudios realizados en los siguientes años mostraron que la enfermedad aumentó en las regiones del cultivo en la provincia de Markazi donde se detectó que las pérdidas en campos equipados con sistema de riego por aspersión se incrementaron la enfermedad (Lak *et al.*, 2002).

En el continente Africano se registró su presencia principalmente en Sudáfrica, donde se detectó en 682 campos de producción de semilla (Fourie, 2002), en Uganda se registró hasta un 40 % en la pérdida de rendimiento en los cultivos de frijol (Saettler, 1989), Egipto reportó que en granos almacenados por largos períodos de tiempo 5 muestras de cada 7 resultaron contaminadas con la bacteria (Abd-Alla y Bashandy, 2010). Las semillas provenientes de Zimbabwe analizadas mediante dos métodos de detección arrojaron que, ambas, semillas guardadas por largo tiempo así como las semillas certificadas estaban contaminadas con este agente, siendo las semillas con mayor tiempo de almacenamiento las que presentaron mayor nivel de población bacteriana (Karavina *et al.*, 2008).

En el continente Americano también se tienen registros. En Ontario, Canadá, Wallen y Jackson (1975) reportaron una pérdida en rendimiento del 38 %. En los Estados Unidos, los problemas con esta bacteria se registran en regiones productoras de frijol como lo son Colorado, Nebraska, y Wyoming en donde la enfermedad volvió a surgir después de una ausencia de más de 30 años (Harveson y Schwartz, 2007). En Brasil se encuentra diseminada en todas las regiones productoras de frijol, no obstante los mayores daños se reportaron en los estados de Paraná, Rio de Janeiro, Sao Paulo y en la región central de Brasil

Markazi province where it was found that the losses in fields equipped with sprinkler irrigation systems, increased the disease (Lak *et al.*, 2002).

In the African continent, its presence was recorded mainly in South Africa, where it was detected in 682 fields of seed production (Fourie, 2002), in Uganda it was reported up to 40 % yield loss in bean crops (Saettler, 1989), Egypt reported that in grains stored during long periods of time, 5 out of 7 samples were found to be contaminated with the bacteria (Abd-Alla and Bashandy, 2010). The seeds analyzed from Zimbabwe using two detection methods, showed that both seeds, the ones stored during long periods of time as well as the certified ones, were contaminated with this agent, being the seeds stored during long periods of time the ones higher level of bacterial population (Karavina *et al.*, 2008).

There are also records in the American continent. In Ontario, Canada, Wallen and Jackson (1975) reported a 38 % loss yield. In the United States, the problems with this bacteria are in the bean producing regions such as Colorado, Nebraska and Wyoming, where the disease re-emerged after an absence of more than 30 years (Harveson and Schwartz, 2007). In Brazil it is scattered in all bean growing regions, however, the major damage was reported in the states of Paraná, Rio de Janeiro, Sao Paulo and in the central region of Brazil (Pereira-Torres *et al.*, 2009). In Mexico the common bacterial blight disease is recorded since 1991, and it represents one of the most common diseases in bean fields (Campos, 1991).

Economic importance. *X. axonopodis* pv. *phaseoli* (Xap) is a bacteria that attacks worldwide bean cultivars (*P. vulgaris*), however, it also attacks crops such as *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* Gray., *Vigna aconitifolia* L., *V. unguiculata* L., *V. radiata* L., *Lablab purpureus* L., *Mucuna deeringiana* (Bort.), *Lupinus polyphyllus* (Lindl.), *Chenopodium album* L., *Amaranthus retroflexus* L., y *Echinochloa crus galli* L., (de O. Carvalho *et al.*, 2011; Gent *et al.*, 2005). In the bean crops the *fuscans* subspecies can survive as endophytic or epiphytic form in crop residues as well as in the seeds, and it can be transmitted by the vascular channels until affecting plant shoots (Jacques *et al.*, 2005).

The entry of bacteria to plants is via stomata and hydathodes. In foliar surfaces, it survives in spaces protected from the environment such as the stomata, the basal part of the trichomes and in the unevenness of the rib forming a protective biofilm (Jacques *et al.*, 2005). It is a bacteria that shares similar characteristics with other species of the same genus, as the type III secretion system, which is a transport system that allows the bacteria to enter the host cell proteins (Hajri *et al.*, 2009).

The pathovar *phaseoli* is an agent of economic importance for several reasons. The most prominent is because it attacks one of the most widely consumed crops in the world, beans (*P. vulgaris*). This legume is part of the human food diet and is a rich source of carbohydrates (fiber, starch and oligosaccharides), vegetable protein, vitamins and minerals such as folic acid and iron, as well as antioxidants and almost no fat (Mederos, 2013).

In 2006, the bean industry was valued at 180 and

(Pereira-Torres *et al.*, 2009). En México la enfermedad del tizón común bacteriano se registra desde 1991, y representa una de las enfermedades más frecuentes en los campos de cultivo del frijol (Campos, 1991).

Importancia económica. *X. axonopodis* pv. *phaseoli* (Xap) es una bacteria que ataca al cultivo de frijol (*P. vulgaris*) en todo el mundo, no obstante también ataca a cultivos como *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* Gray., *Vigna aconitifolia* L., *V. unguiculata* L., *V. radiata* L., *Lablab purpureus* L., *Mucuna deeringiana* (Bort.), *Lupinus polyphyllus* (Lindl.), *Chenopodium album* L., *Amaranthus retroflexus* L., y *Echinochloa crus galli* L., (de O. Carvalho *et al.*, 2011; Gent *et al.*, 2005). En el cultivo del frijol la subespecie *fuscans* puede sobrevivir en forma endófito y epífita en los residuos de la cosecha así como en las semillas, puede transmitirse por los conductos vasculares hasta afectar los brotes de las plantas (Jacques *et al.*, 2005).

La entrada de la bacteria a las plantas es a través de estomas e hidátodos. En las superficies foliares, sobrevive en espacios protegidos del ambiente como en los estomas, la parte basal de los tricomas y en los desniveles de las nervaduras formando una biopelícula de protección (Jacques *et al.*, 2005). Es una bacteria que comparte características similares con otras especies del mismo género, como el Sistema de Secreción Tipo III, el cual es un sistema de transporte que permite a la bacteria introducir proteínas a la célula hospedero (Hajri *et al.*, 2009).

El patovar *phaseoli* es un agente de importancia económica por diversas razones. La más sobresaliente es debido a que ataca a uno de los cultivos de mayor consumo en el mundo, el frijol (*P. vulgaris*). Esta leguminosa forma parte de la dieta alimentaria humana y es una fuente rica en carbohidratos (fibra, almidón, y oligosacáridos), proteína vegetal, vitaminas y minerales como ácido fólico y hierro, así como antioxidantes y muy poca cantidad de grasa (Mederos, 2013).

En el mundo, en 2006, la industria del frijol fue valuada en 180 y 1,200 millones de dólares en Canadá y los Estados Unidos respectivamente (<http://www.pulsecanada.com/>, consultada el 18 de Septiembre de 2013). En países como Brasil y México donde la actividad agrícola es una importante fuente de trabajo y de divisas por la exportación del producto se ve severamente perjudicada por la afectación de amplias extensiones de cultivo por esta bacteria. Tan solo en 2012, en México se sembró 1, 700, 513 ha (Fuente: SAGARPA, 2012).

La bacteria Xap no solo ataca al frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de campo, sino también especies emparentadas como: *P. lunatus* L., *Vigna aconitifolia* L. y *V. radiata* L., *Lablab purpureus* L. y *Mucuna deeringiana* (Bort.), considerados como posibles hospederos naturales. *Phaseolus coccineus* L., *P. acutifolius* Gray. y *Lupinus polyphyllus* (Lindl.) son hospederos por inoculación artificial (Bradbury, 1986). También ataca en invernadero a especies como *Vigna unguiculata* L. (de O. Carvalho *et al.*, 2011), *Chenopodium album* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Echinochloa crus galli* L., entre otras especies (Gent *et al.*, 2005).

1,200 million dollars in Canada and United States respectively (<http://www.pulsecanada.com/>, accessed September 18th, 2013). In countries such as Brazil and Mexico where agriculture is an important source of employment and foreign exchange by exporting this product, it is severely damaged by the infection of large crops areas by this bacteria. Only in 2012, there were 1,700,513 ha seeded in Mexico (Source: SAGARPA, 2012).

Under field conditions, the Xap bacteria not only attacks bean crops (*Phaseolus vulgaris* L.), but also related species such as: *P. lunatus* L., *Vigna aconitifolia* L. and *V. radiata* L., *Lablab purpureus* L. and *Mucuna deeringiana* (Bort.) considered as potential natural hosts. *Phaseolus coccineus* L., *P. acutifolius* Gray and *Lupinus polyphyllus* (Lindl.) are hosts by artificial inoculation (Bradbury, 1986). It also attacks greenhouse species such as: *Vigna unguiculata* L. (de O. Carvalho *et al.*, 2011), *Chenopodium album* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Echinochloa crus galli* L., among other species (Gent *et al.*, 2005).

Adverse effects of the disease are observed in both tropical and subtropical regions. The internally contaminated seeds or even externally contaminated, are the primary source of inoculum. It is estimated that a 1×10^3 cfu/ml inoculum concentration is sufficient to cause the disease (Darrasse *et al.*, 2007). The common bacterial blight has been one of the diseases that have led to big losses in bean cultivation on an industrial scale and on seeds production in various parts of the world, such as in Iran (Lak *et al.*, 2002) and South Africa (Fourie, 2002) which represents the main limiting factor for exportation.

Ethiopia reports that for every percentage increase in the severity of common bacterial blight, there is a loss of approximately 3.9- 14.5 kg/ha of seed (Tadele, 2006). Seeds exportation is affected because of the decline in quality due to the brownish color, mainly in white beans for the food industry (Yu *et al.*, 2000), but there is also a high risk of bacteria propagation in seeds that do not show visible symptoms due to the low density of bacterial population in the seed or that are below the levels of detection (Osdaghi *et al.*, 2010). Lastly, the attempt to control the disease favors the production costs.

Dispersion mechanisms and physiological effects.

X. axonopodis pv. *phaseoli* is mainly spread through the seeds. The minimum concentration required to have a successful contamination must be higher than 1×10^3 cfu/mL, once inside this is a vehicle that keeps it asymptomatic for long periods of time until the growth of the new plant (Darrasse *et al.*, 2007). The bacteria inside the seed can survive by forming a film or biofilm that protects it from adverse environmental conditions. It can also survive in plant debris and soil, and during the pounding of raindrops they can be taken to the aerial parts of the plants and enter through natural openings or wounds (Jacques *et al.*, 2005).

A peculiarity of this species is that it can colonize other plant species such as sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) or amaranth (*Amaranthus* sp. L.) under conditions of high humidity and temperature. When temperature is cool and rainfall is low, the pathogen survives from 65 to 180 d in the seedlings of the soil surface,

Los efectos adversos de la enfermedad son observados tanto en regiones tropicales como en subtropicales. Las semillas contaminadas internamente o incluso externamente constituye la fuente primaria del inoculo. Se calcula que una concentración del inoculo de 1×10^3 ufc/mL es suficiente para causar la enfermedad (Darrasse *et al.*, 2007). El tizón común bacteriano ha sido una de las enfermedades que han conducido a grandes pérdidas en el cultivo de frijol a escala industrial en la producción de semillas en varias partes del mundo, como en Irán (Lak *et al.*, 2002), y Sudáfrica (Fourie, 2002) donde representa la principal limitante para su exportación.

En Etiopia se reporta que por cada porcentaje de aumento de la severidad del tizón común bacteriano hay una pérdida de aproximadamente 3.9 a 14.5 kg/ha de semilla (Tadele, 2006). La exportación de semillas se ve afectada debido a la disminución de la calidad por la coloración café, principalmente en el frijol blanco, para la industria alimenticia (Yu *et al.*, 2000), pero también existe un alto riesgo de propagación de la bacteria en semillas que no manifiestan síntomas visibles debido a una baja densidad de población bacteriana en la semilla o que son inferiores a los niveles de detección técnica (Osdaghi *et al.*, 2010). Finalmente, el intento de control de la enfermedad propicia el aumento en los costos de producción.

Mecanismos de dispersión y efectos fisiológicos.

X. axonopodis pv. *phaseoli* se disemina principalmente a través de la semilla. La concentración mínima requerida para que la contaminación sea exitosa debe ser superior a 1×10^3 ufc/ml, una vez dentro de esta constituye un vehículo que la mantiene por largos periodos de manera asintomática hasta el crecimiento de la nueva planta (Darrasse *et al.*, 2007). Dentro de la semilla la bacteria puede sobrevivir mediante la formación de una película o biofilm que la protege de las condiciones ambientales desfavorables. También puede sobrevivir en restos vegetales y en el suelo, durante el golpeteo de las gotas de lluvia puede ser llevado a las partes aéreas de las plantas y entrar a través de aberturas naturales o heridas (Jacques *et al.*, 2005).

Una peculiaridad de esta especie es que puede colonizar otras especies vegetales como la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) o el amaranto (*Amaranthus* sp. L.) bajo condiciones de alta humedad y temperatura. Con temperaturas frescas y lluvias escasas el patógeno sobrevive de 65 a 180 d en las plántulas sobre la superficie del suelo, y de 30 a 120 d una vez incorporadas al suelo (Torres *et al.*, 2009). En estas especies vegetales sin embargo, se ha observado que las poblaciones son menores comparativamente a las encontradas en las plantas de frijol y la sobrevivencia epifítica de este agente es menor (Gent *et al.*, 2005).

El tizón común bacteriano ocurre frecuentemente en climas templados y tropicales. Una característica importante para el desarrollo de la enfermedad son los factores de virulencia y en las especies de *Xanthomonas* se han reconocido varios, entre ellos las estructuras de la superficie bacteriana, principalmente los polisacáridos extracelulares como el xantano. Este polisacárido causa el marchitamiento en las plantas por la obstrucción del flujo

and from 30 to 120 d once incorporated into the soil (Torres *et al.*, 2009). In these plants, however, it has been observed that populations are comparatively lower than those found in the bean plants and the epiphytic survival of this agent is lower too (Gent *et al.*, 2005).

The common bacterial blight occurs frequently in temperate and tropical climates. An important characteristic for the development of the disease include the virulence factors and in the *Xanthomonas* species several of them have recognized, including bacterial surface structures, mainly the extracellular polysaccharides like xanthan. This polysaccharide causes wilting in plants because of the obstruction of water flow in the xylem vessels. Experimental evidence also suggests that xanthan suppresses plant defense responses such as callus deposition in the plant cell wall, presumably by chelation of divalent calcium ions that are present in the extracellular spaces of the plant cell (Mhedbi-Hajri *et al.*, 2011). Another virulence factor are lipopolysaccharides, which are the major components of the bacterial external membrane that protects them against environmental conditions (Boher *et al.*, 1997).

The pathogenicity mechanisms of *Xanthomonas* species show certain similarity (Buttner and Bonas, 2010). Generally, the bacteria causes decreased photosynthesis by xanthan interference in the triose phosphate / phosphate exchange in the chloroplast membrane (Jiao *et al.*, 1999). Physiologically, this bacteria induces changes in the power source or causes a decoupling of proton pump in the plasmalemma, this causes a decrease in photosynthesis (Novacky, 1982). However, there are differences in aggressiveness between Xap and Xff agents, the latter turns out to be more aggressive (Mutlu, 2008).

These agents subsist within protoxilema gaps in a matrix of amorphous substance, a combination of dissolved cell wall materials with exopolysaccharides of the bacteria; possibly due to the reduction in the synthesis of sucrose that causes the presence of xanthan (Jiao *et al.*, 1996). The amorphous matrix is the compound that fills the intercellular spaces of the mesophyll during colonization of leaf tissue (Boher *et al.*, 1997). In cowpea plants (*Vigna unguiculata* L.), *X. axonopodis* pv. *phaseoli* causes that mesophyll chloroplasts have morphological changes, making them more spherical. In some cases, disruption of the membrane and the accumulation of starch grains and chloroplasts is observed (de O. Carvalho *et al.*, 2011).

Disease progression causes the amorphous matrix to spread into parenchymal cells adjacent to the xylem, after dissolving the walls of the parenchymal cells and thus entering the xylem. If the entry of the bacteria is through the vascular tissue, it passes the xylem towards the neighboring cells or vascular bands through penetration of the intercellular spaces developed by dissolution of the cell walls between cells of the foliar mesophyll (de O. Carvalho *et al.*, 2011). However, the bacteria can also enter through the seeds.

Control methods. Some control methods currently used for the management of common bacterial blight give little or moderately effective results due to the nature of the infection or lack of use of the methods. Among the most

hídrico en los vasos del xilema. La evidencia experimental sugiere que el xantano también suprime las respuestas de defensa vegetal tal como la deposición de callosa en la pared celular vegetal, presumiblemente por la quelación de iones de calcio divalente que están presentes en los espacios extracelulares de la célula vegetal (Mhedbi-Hajri *et al.*, 2011). Otro factor de virulencia son los lipopolisacáridos, los cuales son los mayores componentes de la membrana externa bacteriana que las protege de las condiciones ambientales (Boher *et al.*, 1997).

Los mecanismos de patogenicidad que las especies de *Xanthomonas* emplean presentan cierta similitud (Buttner y Bonas, 2010). De manera general, la bacteria ocasiona disminución de la fotosíntesis, por la interferencia de xantano en el intercambio de las triosas fosfato/fosfato en la membrana de los cloroplastos (Jiao *et al.*, 1999). Fisiológicamente, esta bacteria induce cambios en la fuente de energía o produce un desacoplamiento en la bomba de protones en el plasmalema, esto ocasiona la disminución en la fotosíntesis (Novacky, 1982). No obstante, existen diferencias en la agresividad entre los agentes Xap y Xff, esta última resulta ser más agresiva (Mutlu, 2008).

Estos agentes subsisten dentro de las lagunas de protoxilema en una matriz de sustancia amorfa, una combinación de los materiales de la pared celular disueltos y los exopolisacáridos de la bacteria; posiblemente por la reducción en la síntesis de sacarosa que ocasiona la presencia del xantano (Jiao *et al.*, 1996). La matriz amorfa es el compuesto que va llenando los espacios intercelulares del mesófilo durante la colonización del tejido foliar (Boher *et al.*, 1997). En plantas de caupi (*Vigna unguiculata* L.), *X. axonopodis* pv. *phaseoli* provoca que los cloroplastos del mesófilo presenten cambios morfológicos, volviéndolos más esféricos. En algunos casos se observa una desorganización de la membrana y la acumulación de granos de almidón y de cloroplastos (de O. Carvalho *et al.*, 2011).

La progresión de enfermedad ocasiona que la matriz amorfa se propague hacia el interior de las células parenquimatosas adyacentes al xilema, después de haber disuelto las paredes de las células del parénquima, y así pasan al interior del xilema. Si la entrada de la bacteria es a través del tejido vascular, ésta pasa del xilema hacia las células vecinas o bandas vasculares a través de la penetración de los espacios intercelulares desarrollados por la disolución de las paredes celulares entre las células del mesófilo foliar (de O. Carvalho *et al.*, 2011). No obstante, la bacteria también puede entrar a través de las semillas.

Métodos de control. Algunos métodos de control que se usan actualmente para el manejo del tizón común bacteriano dan resultados escasos o medianamente efectivos debido a la naturaleza de la infección o al desconocimiento de su uso. Entre estos resaltan el control químico, cultural, biológico, y mejoramiento genético principalmente.

Control químico. No existen reportes de control químico eficaces para esta enfermedad. No obstante, se han empleado diversos fungicidas como mezclas de Bordeaux, el oxiclورو de cobre, el sulfato de cobre, los cuales son aplicados antes de la aparición de los síntomas, así como también antibióticos como la Estreptomycin (Saettler,

common are: chemical control, cultural, biological and genetic improvement.

Chemical control. There are no reports of effective chemical control for this disease. However, various fungicides have been used such as Bordeaux mixture, copper oxychloride, copper sulfate, which are applied before the emergence of symptoms, as well as antibiotics such as streptomycin (Saettler, 1989). The high costs, potential chemical residues and resistance among Xap strains are the side effects of using these chemical applications. Foliar fertilizer applications have been successful, for example, the application of manganese reduced the severity of the disease by up to 49 % in bean plants under greenhouse conditions (Viecelli and Moerschbacher, 2013).

Because the seed is the primary vehicle for bacteria propagation, tolylfluaniid (1,1-dichloro-N-[(dimethylamino)-sulfonyl]-1-fluoro-N-(4-methylphenyl) methanesulfonamide) has been used as it has shown to reduce efficiently the transmission of bacteria from the seed to the plant compared to untreated seeds in laboratory and greenhouse experiments (Lopes *et al.*, 2008). The use of antibiotics for seeds treatment by soaking them in 25 % polyethylene glycol or 60 % glycerol has been very successful as germination does not decrease, although there is a slightly reduction in plant vigor (Liang *et al.*, 1992).

Antibiotics such as Tetracycline and Chlortetracycline in polyethylene glycol solutions, reduce more effectively the Xap population but usually they are phytotoxic. In contrast, solutions of polyethylene glycol with Streptomycin reduce, but do not eradicate, internal populations of the bacteria in seeds naturally contaminated and cause few phytotoxic effects (Liang *et al.*, 1992). Treatment with the antibiotic Streptomycin at 100 µg/ml plus 0.2 % Captan fungicide, or simply warm water (52 °C for 10 min) followed by addition of streptomycin (100 µg/mL) eradicate bacteria of naturally infected seeds and they reduce the number of infected seedlings from 80 % to 5 % in batches of inoculated seeds (Jindal 1991).

Cultural control. It is often mentioned that the use of disease-free seed is the adequate control for the disease. However, even with the use of non-contaminated seed it is possible the appearance of symptoms, mainly because the presence of one contaminated seed per 20,000 seeds is sufficient for transmission of the inoculum to the field (Darrasse *et al.*, 2007). Rotation of cultivars may be key in controlling the disease, however, it has been observed that resistant plants in temperate areas are as susceptible under other conditions as in the tropical zones (Gent *et al.*, 2005).

On the other hand, it is recommended that in the rotation of cultivars, the bean-onion scheme should be avoided as much as possible, since onions can provide a source of inoculum by asymptomatic epiphytic colonization (Gent *et al.*, 2005). Also, it should bear in mind that the use of sprinkler irrigation system favors the dispersion of bacteria compared with other irrigation systems (Akhavan *et al.*, 2013). A recommended practice is to remove weeds and other susceptible host plants around the crop (Ovies and

1989). Los altos costos, residuos químicos potenciales y la resistencia entre las cepas de Xap son los efectos adversos del uso de estas aplicaciones químicas. Las aplicaciones de fertilizantes foliares ha dado buenos resultados, por ejemplo, la aplicación de manganeso redujo la severidad de la enfermedad hasta en un 49 % en plantas de frijol bajo invernadero (Viecelli y Moerschbacher, 2013).

Debido a que la semilla es el principal vehículo de propagación de la bacteria, se han utilizado químicos como tolifluanida (1,1-dicloro-N-[(dimetilamino)-sulfonil]-1-fluoro-N-(4-metilfenil) metanosulfonamida) el cual ha mostrado reducir la transmisión de la bacteria de la semilla a la planta comparado a semillas no tratadas en experimentos de laboratorio e invernadero (Lopes *et al.*, 2008). El uso de antibióticos para el tratamiento de semillas por inmersión en polietilenglicol al 25 % o glicerol 60 % da buenos resultados, no disminuye la germinación, aunque sí reduce ligeramente el vigor de las plantas (Liang *et al.*, 1992).

Antibióticos como la Tetraciclina y Clorotetraciclina en soluciones de polietilenglicol, reducen con mayor efectividad la población de Xap, pero suelen ser fitotóxicos. En cambio, las soluciones de polietilenglicol con Estreptomina reducen pero no erradican las poblaciones internas de la bacteria en semillas contaminadas naturalmente y causan pocos efectos fitotóxicos (Liang *et al.*, 1992). El tratamiento con el antibiótico Estreptomina a razón de 100 µg/mL más el fungicida Captan al 0.2 %, o simplemente en agua caliente (52 °C por 10 minutos) seguido por la adición de Estreptomina (100 µg/mL) erradican la bacteria de semillas infectadas naturalmente y reducen el número de plántulas infectadas desde un 80 % al 5 % en lotes de semilla inoculados (Jindal 1991).

Control cultural. Con frecuencia se alude que el empleo de semillas libres de enfermedades es la adecuada para el control de esta enfermedad. No obstante, aún con el empleo de semilla no contaminada es posible la aparición de síntomas, debido principalmente a que con la presencia de una semilla contaminada por cada 20,000 es suficiente para la transmisión del inoculo al campo de cultivo (Darrasse *et al.*, 2007). La rotación de cultivos puede ser clave en el control de la enfermedad, no obstante, se ha observado que plantas resistentes en zonas templadas son susceptibles bajo otras condiciones como en las zonas tropicales (Gent *et al.*, 2005).

Por otra parte, se recomienda que en la rotación de cultivos se evite en lo posible el esquema frijol-cebolla, dado que la cebolla puede proveer una fuente de inóculo por la colonización epífita asintomática (Gent *et al.*, 2005). Asimismo, se debe tener en cuenta que el uso del sistema de riego por aspersión favorece la dispersión de la bacteria en comparación con otros sistemas de riego (Akhavan *et al.*, 2013). Una práctica recomendada es la eliminación de malezas susceptibles y de otras plantas hospederas de los alrededores del cultivo (Ovies y Larrinaga, 1988). El manejo de las fechas de siembra que eviten las condiciones óptimas de desarrollo de la enfermedad también son recomendados.

Control biológico. Dentro de este apartado destaca el empleo de microorganismos benéficos principalmente bacterianos, ya sea para la antibiosis o por la inducción de

Larrinaga, 1988), as well as a proper management of planting dates to avoid the optimal conditions for disease development.

Biological control. This section highlights the use of beneficial microorganisms mainly bacteria, either for antibiosis or by inducing systemic resistance. For example, it has been observed that some bacterial isolates from *Pseudomonas* sp., *Bacillus cereus* and *Rhodococcus fascians* that are compatible with *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, show protective activity against Common Bacterial Blight; the effect is attributed to a systemic protection as it has been shown that plants from microbiolized seeds were able to generate callus (Zanatta *et al.*, 2007).

In comparison studies it was observed that some *Paenibacillus polymixa* strains produce peptidic metabolites that inhibit *X. campestris* pv. *phaseoli* growth in vitro after 12 hours of incubation, they also reduce the incidence of the disease in vivo of up to 28 (Mageshwaran *et al.*, 2011; Mageshwaran *et al.*, 2012). Also, some *Pseudomonas* sp. and *Rahnella aquatilis* strains have shown up to 39 % of efficient control of this disease when applied from the seeds, mainly by the formation of phenolic compounds and high peroxidase activity (da Silva *et al.*, 2008; Sallam, 2011).

The mechanism by which the seed microbiolization produces this result is not fully understood, however, evidences suggests that these compounds cause metabolic changes in the plants, especially by increasing the content of total soluble protein and the activity polyphenol oxidase (Silva *et al.*, 2009). Other microorganisms such as *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* have been evaluated for their ability to change the resistance of common bean cultivars obtaining seeds of higher weight in the field (Osdaghi *et al.*, 2011).

Additionally, compounds with inducing activity such as Bion and BioZell-2000® have also been used as they have not shown inhibitory effect on the pathogen when applied directly, but when applied to the plants they suppress the onset of the common bacterial blight disease by 68 % and 50 % and thus a decrease in bacterial population of up to 50 % and 45 %, respectively (Abo-Elyousr, 2006). Substances like acibenzolar-S-methyl were tested as inducers of resistance to this bacteria in the fields, although under greenhouse conditions the product is not efficient (Soares *et al.*, 2004).

Breeding control. Bean plants improvement to this pathogen has been done by identifying and using quantitative trait locus distributed throughout the genome, which are expressed under the influence of the environment, pressure of pathogen selection, maturity and plant tissue (seed, leaf or sheath) (Santos *et al.*, 2003). From this, two promising lines with high yield and resistance to water stress have been developed, which manifest characteristics of common bacterial blight resistance such as the TRAS-MST1 line that comes from the intersection of two bean cultivars developed in Mexico (Porch *et al.*, 2012).

In the search of genetic resistance, special emphasis has been given to genes determining the pathogenesis of

resistencia sistémica. Se ha observado por ejemplo, que algunos aislados bacterianos de *Pseudomonas* sp., *Bacillus cereus*, y *Rhodococcus fascians* que son compatibles con *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, presentan actividad protectora contra la enfermedad del Tizón Común Bacteriano; el efecto es atribuido a una protección sistémica al ser comprobado que las plantas provenientes de semillas microbiolizadas eran capaces de generar callosidad (Zanatta *et al.*, 2007).

En estudios de confrontación se ha observado que algunas cepas de *Paenibacillus polymixa* producen metabolitos de naturaleza peptídica que inhiben el crecimiento de *X. campestris* pv. *phaseoli* in vitro después de 12 h de incubación, también reducen la incidencia de la enfermedad in vivo de hasta un 28 (Mageshwaran *et al.*, 2011; Mageshwaran *et al.*, 2012). De igual manera, algunas cepas de *Pseudomonas* sp. y *Rahnella aquatilis* han mostrado controlar eficientemente hasta en un 39 % esta enfermedad al ser aplicados desde las semillas, principalmente por la formación de compuestos fenólicos y la alta actividad peroxidasa (da Silva *et al.*, 2008; Sallam, 2011).

El mecanismo por el cual la microbiolización de las semillas produce este resultado no se encuentra totalmente entendido, no obstante, las evidencias apuntan a que estos compuestos provocan alteraciones metabólicas en las plantas, principalmente por el aumento en el contenido de proteínas solubles totales y la actividad polifenol oxidasa (Silva *et al.*, 2009). Otros microorganismos como *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* se han evaluado por su capacidad para activar la resistencia de cultivares de frijol común lográndose obtener semillas de mayor peso en el campo (Osdaghi *et al.*, 2011).

También se han utilizado compuestos con actividad inductora como el Bion y BioZell-2000[®], los cuales no muestran tener efecto inhibitorio sobre el patógeno cuando son aplicados directamente pero aplicados a las plantas suprimen la aparición de la enfermedad del tizón común bacteriano hasta en un 68 % y 50 % y con ello una disminución de la población bacteriana del 50 % y 45 % respectivamente (Abo-Elyousr, 2006). Sustancias como el acibenzolar-S-methyl se han probado como inductores de resistencia ante esta bacteria en los campos de cultivo, aunque en invernadero el producto no resulta ser eficiente (Soares *et al.*, 2004).

Control por mejoramiento genético. El mejoramiento de las plantas de frijol ante este patógeno ha sido realizado mediante la identificación y aprovechamiento de Locus de Caracteres Cuantitativos distribuidos a través de todo el genoma, los cuales se expresan bajo la influencia del ambiente, presión de selección del patógeno, madurez y tejido de la planta (semilla, hoja o vaina) (Santos *et al.*, 2003). A partir de esto, se han desarrollado dos líneas promisorias con alto rendimiento y resistencia al estrés hídrico que manifiestan características de resistencia al tizón común bacteriano como la línea TRAS-MST1, la cual proviene del cruce de 2 cultivares de frijol desarrollados en México (Porch *et al.*, 2012).

En la búsqueda de resistencia genética se ha hecho

this bacteria (Darsonval *et al.*, 2008). For example, some effectors have been recognized in this genre with an alleged role in the suppression of plant defenses (Kay and Bonas, 2009). Hajri *et al.* (2009) identified two classes of genes within the T3E repertoires (type III effectors) (*avrBs2*, *xopN*, *xopF1*, *xopX*, *phA1*, *xopE2*, *avrXacE3* and *xopQ*). The products of these genes may play different roles in the pathogenesis of the strains. According to the pathogenicity, the core T3E genes could provide virulence functions of broad utility and then label components widely conserved among a wide host range. The loss of these ubiquitous T3E repertoires may lead to competitiveness loss for the pathogen (Hajri *et al.*, 2009).

The way in which the bean plants recognize these potential inducers has not been fully elucidated. However, the presence of small RNA sequences known as miRNA, which mediate gene expression and participate in the signaling events in host-parasite interaction *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*-*Manihot esculenta* (yuca), has been recognized. In this interaction it has been found differential expression of 56 miRNA families in the yuca plant (*Manihot esculenta* C.) in response to *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*, some of the most important are: miR160, miR167, miR390 and miR393, which affect auxin receptors and thus regulate the auxin signaling (Perez-Quintero *et al.*, 2012).

Sources of genetic resistance to this pathogen have been identified in both bean and related species, *P. aculifolius* y *P. coccineus*, however, many of them are also inherited as a quantitative trait locus (QTL) and vary in their levels of genetic effects and their expressions are influenced by environmental conditions (Kelly *et al.*, 2003; Miklas *et al.*, 2006). Lastly, the audacity of the causal agent of the common bacterial blight has surpassed all these control barriers.

CONCLUSIONS

Common Bacterial Blight has been extensively studied and is a frequent problem in bean crops. However, the pathogen variability and the diversity of identification and diagnostic techniques, suggest the importance of selecting carefully the most appropriate ones for this pathogen studies. On the other hand, the disease management is directed towards implementing the use of resistance genes through varietal improvement and induction of plant resistance by biotic or abiotic inducers. However, the best management would be given by the knowledge of the pathogen and its prevention through incorporation of suitable management and control methods.

LITERATURA CITADA

- Abd-Alla, M.H., and Bashandy, S.R. 2010. Bacterial wilt and spot of tomato caused by *Xanthomonas vesicatoria* and *Ralstonia solanacearum* in Egypt. World Journal of Microbiology and Biotechnology 24:291-292.
- Abo-Elyousr, K.A. 2006. Induction of systemic acquired resistance against common blight of bean (*Phaseolus vulgaris*) caused by *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*. Egyptian Journal of Phytopathology 34:41-50.

especial énfasis en los genes determinantes de la patogénesis de esta bacteria (Darsonval *et al.*, 2008). Por ejemplo, se han reconocido algunos efectores de este género con presunto papel en la supresión de defensas vegetales (Kay y Bonas, 2009). Hajri *et al.* (2009) identificaron dos clases de genes dentro los repertorios T3E (efectores tipo III) (*avrBs2*, *xopN*, *xopF1*, *xopX*, *phA1*, *xopE2*, *avrXacE3* y *xopQ*). Los productos de estos genes pueden jugar distintos papeles en la patogenia de las cepas. Acorde a la patogenicidad, los genes del núcleo T3E podrían proveer funciones de virulencia de amplia utilidad y entonces etiquetar componentes ampliamente conservados entre un amplio rango de hospederos. La pérdida de estos repertorios T3E ubicuos podría conducir a la pérdida de competitividad para el patógeno (Hajri *et al.*, 2009).

La forma en que las plantas de frijol reconocen a estos posibles inductores no se ha definido completamente. Sin embargo, se reconoce la presencia de pequeñas secuencias de ARN conocidas como miRNA que median la expresión genética y participan en los eventos de señalización en la interacción parásito hospedero *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*-*Manihot esculenta* (yuca). En esta interacción se ha encontrado la expresión diferencial de 56 familias miRNA en la planta de yuca (*Manihot esculenta* C.) en respuesta a *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*, algunas de las más importantes son la miR160, miR167, miR390, y miR393, los cuales afectan a los receptores de auxina y por lo tanto regulan la señalización de auxinas (Pérez-Quintero *et al.*, 2012).

Las fuentes de resistencia genética a este patógeno han sido identificados tanto en frijol como en especies relacionadas, *P. aculifolius* y *P. coccineus*, no obstante muchos de ellos también son heredados como locus de caracteres cuantitativos (QTL) y varían en sus niveles de efectos genéticos y sus expresiones están influenciados por las condiciones ambientales (Kelly *et al.*, 2003; Miklas *et al.*, 2006). Finalmente, la audacia del agente causal del tizón común bacteriano ha superado todas estas barreras de control.

CONCLUSIONES

El Tizón Común Bacteriano se ha estudiado ampliamente y representa un problema frecuente en los campos de cultivo de frijol. No obstante, la variabilidad del patógeno y la diversidad de técnicas de identificación y diagnóstico sugieren seleccionar con cautela las más apropiadas para propósitos de estudio del patógeno. Por otro lado, el manejo de la enfermedad es dirigido hacia la implementación del uso de los genes de resistencia a través del mejoramiento varietal y la inducción de la resistencia vegetal mediante inductores bióticos o abióticos. Sin embargo, el mejor manejo estaría dado por el conocimiento del patógeno y la prevención del mismo mediante la integración de los diferentes métodos apropiados para su manejo y control.

Alavi, S.M., Sanjari, S., Durand, F., Brin, C., Manceau, C., and Poussier, S. 2008. Assessment of the genetic

diversity of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and *Xanthomonas fuscans* subsp. *fuscans* as a basis to identify putative pathogenicity genes and a type III secretion system of the SPI-1 family by multiple suppression subtractive hybridizations. Applied and Environmental Microbiology 74:3295-3301.

Akhavan, A., Bahar, M., Askarian, H., Lak, M.R., Nazemi, A., and Zamani, Z. 2013. Bean common bacterial blight: pathogen epiphytic life and effect of irrigation practices. Springer Plus 2:41.

Audy, P., Laroche, A., Saindon, G., Huang, H.C., and Gilbertson, R.L. 1994. Detection of the bean common blight bacteria, *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* and *x-c phaseoli* var. *fuscans*, using the polymerase chain-reaction. Phytopathology 84:1185-1192.

Bradbury, J.F. 1984. Genus II. *Xanthomonas* Dowson 1939. p. 187. In: Krieg NR and Holt JG. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Williams and Wilkins. London, England 199-210.

Bradbury, J.F. 1986. Guide to plant pathogenic bacteria. CAB International Mycological Institute. London, England 332p.

Boher, B., Nicole, M., Potin, M., and Geiger, J.P. 1997. Extracellular polysaccharides from *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* interact with cassava cell walls during pathogenesis. Molecular Plant-Microbe Interaction 10: 803-811.

Buttner, D., and Bonas, U. 2010. Regulation and secretion of *Xanthomonas* virulence factors. FEMS Microbiology Review 34:107-133.

Campos, A.J. 1991. Enfermedades del frijol. Editorial Trillas. Primera edición. México 70 - 73.

Chan, J., and Goodwin, P.H. 1999a. A physical map of the chromosome of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* var. *fuscans* BXP65. Fems Microbiology Letters 180: 85-90.

Chan, J., and Goodwin, P.H. 1999b. Differentiation of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* from *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* var. *fuscans* by PFGE and RFLP. European Journal of Plant Pathology 105:867-878.

Darrasse, A., Bureau, C., Samson, R., Morris, C.E., and Jacques, M.A. 2007. Contamination of bean seeds by *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* associated with low bacterial densities in the phyllosphere under field and greenhouse conditions. European Journal of Plant Pathology 119:203-215.

Darsonval, A., Darrasse, A., Meyer, D., Demarty, M., Durand, K., Bureau, C., Manceau, C. and Jacques, M. 2008. The type III secretion system of *Xanthomonas fuscans* subsp. *fuscans* is involved in the phyllosphere colonization process and in transmission to seeds of susceptible beans. Applied and Environmental Microbiology 74: 2669-2678.

da Silva, E.G., Moura, A.B., Deuner, C.C. y Farias, D.R. 2008. Estudo de mecanismos de biocontrole do crestamento bacteriano do feijoeiro por bactérias. Revista Ceres 55:377-383.

Denardin, N.D.Á., and Agostini, V.A. 2013. Detection and

- quantification of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and its variant *fuscans* in common bean seeds. *Journal of Seed Science* 35:428-434.
- de O. Carvalho, A., Cunha, M.D., Rodríguez, R., Sudré, C.P., Santos, I.S., Fernández, K.V.S., Rabelo, G.R., and Gomes, V.M. 2011. Ultrastructural changes during early infection of *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* leaves by *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and an unexpected association between chloroplast and mitochondrion. *Acta Physiologia Plantarum* 33:2025-2033.
- El-Sharkawy, T.A., and Huisinogh, D. 1971. Differentiation among *Xanthomonas* species by polyacrylamide gel electrophoresis of soluble proteins. *Journal of General Microbiology* 68:155-2033.
- Fourie, D. 2002. Distribution and severity of bacterial diseases on dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in South Africa. *Journal of Phytopathology Phytopathologische Zeitschrift* 150:220-226.
- Gent, D.H., Lang, J.M., and Schwartz, H.F. 2005. Epiphytic survival of *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* and *X. axonopodis* pv. *phaseoli* on leguminous hosts and onion. *Plant Disease* 89:558-564.
- Goszczyńska, T., and Serfontein, J.J. 1998. Milk-Tween agar, a semiselective medium for isolation and differentiation of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* and *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. *Journal of Microbiological Methods* 32:65-72.
- Hajri, A., Brin, C., Hunault, G., Lardeux, F., and Lemaire, C. 2009. A “repertoire for repertoire” hypothesis: repertoires of type three effectors are candidate determinants of host specificity in *Xanthomonas*. *PLoS ONE* 4: e6632.
- Harveson, R.M., and Schwartz, H.F. 2007. Bacterial diseases of dry edible beans in the central high plains. Online. *Plant Health Progress*. doi:10.1094/PHP-2007-0125-01-DG.
- Hayward, A.C. 1993. The hosts of *Xanthomonas*. p. 1-95. In: Swings J and Civerolo EL. *Xanthomonas*. Chapman and Hall, Ltd. London, England 1-119.
- Heitz, T., Segond, S., Kauffmann, S., Geoffroy, P., Prasad, V., and Brunner, F. 1994. Molecular characterization of a novel tobacco pathogenesis related (PR) protein a new plant chitinase/lysozyme. *Mol. Gen. Genet* 245:246-254.
- He, Y.W., Wu, J.E., Zhou, L., Yang, F., He, Y.Q., Jiang, B.L., and Zhang, L.H. 2011. *Xanthomonas campestris* diffusible factor is 3-hydroxybenzoic acid and is associated with xanthomonadin biosynthesis, cell viability, antioxidant activity, and systemic invasion. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 24: 948-957.
- Hildebrand, D.C., Palleroni, N.j., and Schroth, M.N. 1990. Deoxyribonucleic- acid relatedness of 24 *Xanthomonas* strains representing 23 *Xanthomonas campestris* pathovars and *Xanthomonas fragariae*. *Journal of Applied Bacteriology* 68: 263-269.
- <http://www.pulsecanada.com>. (Consultada el 18 de Septiembre de 2013).
- Jacques, M.A., Josi, K., Darrasse, A., and Samson, R. 2005. *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *fuscans* is aggregated in stable biofilm population sizes in the phyllosphere of field-grown beans. *Applied Environmental Microbiology* 71:2008-2015.
- Jiao, J., Grodzinski, B., and Goodwin, P. 1996. Photosynthesis and export during steady-state photosynthesis in bean leaves infected with the bacterium *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*. *Canadian Journal of Botany* 74:1-9.
- Jiao, J., Goodwin, P., and Grodzinski, B. 1999. Inhibition of photosynthesis and export in geranium grown at two CO₂ levels and infected with *Xanthomonas campestris* pv. *pelargonii*. *Plant Cell and Environmental* 22:15-25.
- Jindal, K.K. 1991. Physical and chemical agents for the eradication of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* from bean seeds. *Plant Disease Research* 6:68-71.
- Kahveci, E., and Maden, S. 1994. Detection of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* and *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* by bacteriophages. *Journal of Turkish Phytopathology* 23:79-85.
- Karavina, C., Chihiya, J., and Tigere, T.A. 2008. Detection and characterization of *Xanthomonas phaseoli* (E. F. SM) in common bean (*Phaseolus vulgaris* L) seed collected in Zimbabwe. *Journal of Sustainable Development in Africa* 10:105-119.
- Kay, S., and Bonas, U. 2009. How *Xanthomonas* type III effectors manipulate the host plant. *Curr. Opin. Microbiol* 12:37-43.
- Kelly, J.D., Gepts, P., Miklas, P.N. and Coyne, D.P. 2003. Tagging and mapping of genes and QTL and molecular marker-assisted selection for traits of economic importance in bean and cowpea. *Field Crops Res* 82:135-154.
- Lak, M.R., Shams-bakhsh, M., and Bahar, M. 2002. Identification of the bacterial agent of bean leaf and pod blight in Markazi province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource* 6:231-243.
- Lazo, G.R., and Gabriel, D.W. 1987. Conservation of plasmids DNA- sequences and pathovar identifications of strains of *Xanthomonas campestris*. *Phytopathology* 77:448-453.
- Liang, L.Z., Halloin, J.M., and Saettler, A.W. 1992. Use of polyethylene-glycol and glycerol as carriers of antibiotics for reduction of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* in navy bean-seeds. *Plant Disease* 76:875-879.
- Liu, S., Yu, K., and Park, S.J. 2009. Marker-assisted breeding for resistance to common bacterial blight in common bean. In: *Plant Breeding*, Huttunen, N., and Sinisalo, T. (eds), pp. 211-226. Nova Scientific Publisher, New York, U.S.A.
- López, F. L. C. 1991. Definición de prioridades de investigación fitopatológica para la zona templada del Altiplano Central de México. *Agricultura Técnica Mexicana* 17:17-54.
- Lopes, L.P., Alves, P.F.R., Zandoná, C., Nunes, M.P., and Mehta, Y.R. 2008. A semi-selective medium to detect *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* in bean seeds and its eradication through seed treatment with tolylfluanid.

- Summa Phytopathologica 34:287-288.
- Mageshwaran, V., Mondal, K.K., Kumar, U., and Annapurna, K. 2012. Role of antibiosis on suppression of bacterial common blight disease in French bean by *Paenibacillus polymyxa* strain HKA-15. African Journal of Biotechnology 11:12389-12395.
- Mageshwaran, V., Walia, S., Govindasamy, V., and Annapurna, K. 2011. Antibacterial activity of metabolite produced by *Paenibacillus polymyxa* strain HKA-15 against *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*. Indian Journal of Experimental Biology 49:229-233.
- Mahuku, G.S., Jara, C., Henriquez, M.A., Castellanos, G., and Cuasquer, J. 2006. Genotypic characterization of the common bean bacterial blight pathogens, *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *fuscans* by rep-PCR and PCR-RFLP of the ribosomal genes. Journal of Phytopathology 154:35-44.
- Mederos, Y. 2013. Revisión bibliográfica: indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas 27:55-62.
- Mhedbi-Hajri, N., Jacques, M.A., and Koebnik, R. 2011. Adhesion mechanisms of plant-pathogenic Xanthomonadaceae. Bacterial Adhesion 71-89.
- Miklas, P.N., Kelly, J.D., Beebe, S.E., and Blair, M.W. 2006. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: from classical to MAS breeding. Euphytica 147:105-131.
- Mutlu, N. 2008. Differential pathogenicity of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* and *X. fuscans* subs. *fuscans* strains on bean genotypes with common blight resistance. Plant Disease 92:546-554.
- Novacky, A. 1982. Relationship between membrane potential and ATP level in *Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum* infected cotton cotyledons. Physiological Plant Pathology 21:237-249.
- Osdaghi, E., Shams-Bakhsh, M., Alizadeh, A., and Lak, M.R. 2010. Study on common bean seed lots for contamination with *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* by BIO-PCR technique. Journal of Agricultural Technology 6:503-513.
- Osdaghi, E., Shams-Bakhsh, M., Alizadeh, A., Reza-Lak, M., and Yhatami-Maleki, H. 2011. Induction of resistance in common bean by *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* and decrease of common bacterial blight. Phytopathology Mediterranean 50:45-54.
- Ovies, J., and Larrinaga, L. 1988. Transmission of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* by a wild host. Ciencia y Técnica en la Agricultura, Protección de Plantas 11:23-30.
- Pereira-Torres, J., Fernández-da, Silva-Junior, T.A., y Maringoni, A.C. 2009. Detecção de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em sementes de feijoeiro provenientes do Estado do Paraná, Brasil. Summa Phytopathol 35: 136-139.
- Pérez-Quintero, A.L., Quintero, A., Urrego, O., Vanegas, P., and López, C. 2012. Bioinformatic identification of cassava miRNAs differentially expressed in response to infection by *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*. BMC Plant Biology 12:29.
- Popović, T., Balaž, J., Gavrilović, V., and Aleksić, G. 2009. Distribution and characterization of phytopathogenic bacteria on commercial bean crop in Vojvodina [Serbia]. Plant Protection 60:101-125.
- Porch, T.G., Urrea, C.A., Beaver, J.S., Valentin, S., Peña, P.A., and Smith, J.R. 2012. Registration of TARS-MST1 and SB-DT1 multiple-stress-tolerant black bean germplasm. Journal of Plant Registrations 6:75-80.
- Prudencio-Sains, J.M., Navarrete-Maya, R., Navarrete-Maya, J., y Acosta-Gallegos, J.A. 2008. Dinámica de los tizones común y de halo del frijol en el valle de México. Agricultura Técnica en México 34:201-212.
- Rademaker, J.L., Louws, F.J., Schultz, M.H., Rossbach, U., Vauterin, L., Swings, J., and Bruijn, F.J. 2005. A comprehensive species to strain taxonomic framework for *Xanthomonas*. Phytopathology 95:1098-1111.
- Saddler, G.S., and Bradbury, J.F. 2005. Xanthomonadales ord. nov. Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology 63-122.
- SAGARPA. 2012. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=202 (Consultada el 1 de Octubre de 2012).
- Sallam, N.M. 2011. Biological control of common blight of bean (*Phaseolus vulgaris*) caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* by using the bacterium *Rahnella aquatilis*. Archives of Phytopathology And Plant Protection 44:20, 1966-1975.
- Santos, A.S., Bressan-Smith, R.E., Pereira, M.G., Rodrigues, R., and Ferreira, C.F. 2003. Genetic linkage map of *Phaseolus vulgaris* and identification of QTLs responsible for resistance to *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. Fitopatologia Brasileira 28: 5-10.
- Saettler, A.W. 1989. Assessment of yield loss caused by common blight of beans in Uganda. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 35: 113-114.
- Schaad, N.W., Postnikova, E., Lacy, G.H., Sechler, A., Agarkova, I., Stromberg, P.E., and Vidaver, A.K. 2005. Reclassification of *Xanthomonas campestris* pv. *citri* (ex Hasse 1915) Dye 1978 forms A, B/C/D, and E as *X. smithii* subsp. *Citri* (ex Hasse) sp. nov. nom. rev. comb. nov., *X. fuscans* subsp. *aurantifolii* (ex Gabriel 1989) sp. nov. nom. rev. comb. nov., and *X. alfalfae* subsp. *citrumelo* (ex Riker and Jones) Gabriel et al., 1989 sp. nov. nom. rev. comb. nov.; *X. campestris* pv. *malvacearum* (ex Smith 1901) Dye 1978 as *X. smithii* subsp. *smithii* nov. comb. nov. nom. nov.; *X. campestris* pv. *alfalfae* (ex Riker and Jones, 1935) Dye 1978 as *X. alfalfae* subsp. *alfalfae* (ex Riker et al., 1935) sp. nov. rem.; and "var. *fuscans*" of *X. campestris* pv. *phaseoli* (ex Smith, 1987) Dye 1978 as *X. fuscans* subsp. *fuscans* sp. nov. Systematic and applied microbiology 28:494-518.
- Sheppard, J., Kurowski, C., and Remeus, P.M. 2007. Detection of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *fuscans* on *Phaseolus vulgaris*. International Rules for Seed Testing 7-021.
- Silva, E.G.D., Moura, A.B., Bacarin, M.A., and Deuner,

- C.C. 2009. Metabolic alterations on bean plants originated from microbiolization of seeds with *Pseudomonas sp.* and inoculated with *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. Summa Phytopathologica 35: 98-104.
- Soares, R.M., Maringoni, A.C., and Lima, G.P. 2004. Inefficiency of acibenzolar-S-methyl in induction of resistance against bacterial wilt in common bean. Fitopatologia Brasileira 29: 373-377.
- Tadele, T. 2006. Effect of common bacterial blight severity on common bean yield. Tropical Science 46: 41-44.
- Tebaldi, N.D., Peters, J., Souza, R.M., Chitarra, L.G., Zouwen, P., Bergervoet, J., and Wolf, J. 2010. Detection of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* in bean seeds by flow cytometry, immunostaining and direct viable counting. Tropical Plant Pathology 35: 213-222.
- Torres, J.P., Maringoni, A.C., and Silva, T.A.F. 2009. Survival of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *fuscans* in Common Bean Leaflets on Soil. Journal of Plant Pathology 91: 195-198.
- Vauterin, L., Hoste, B., Kersters, K., and Swings, J. 1995. Reclassification of *Xanthomonas*. International Journal of Systematic Bacteriology 45: 472-489.
- Viecelli, C.A., and Moerschbacher, T. 2013. Control of the common bacterial blight in the bean crop by using foliar fertilizers. Scientia Agraria Paranaensis 12: 66-72.
- Wallen, V.R., and Jackson, H.R. 1975. Model for yield loss determination of bacterial blight of field beans utilizing aerial infrared photography combined with field plot studies. Phytopathology 65: 942-948.
- Wong, W.C. 1991. Methods for recovery and immunodetection of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* in navy bean seed. Journal of Applied Bacteriology 71: 124-129.
- Yu, K., Park, S.J. and Poysa, V. 2000. Marker-assisted selection of common beans for resistance to common bacterial blight: efficacy and economics. Plant Breed 119: 411-415.
- Zamani, Z., Bahar, M., Jacques, M.A., Lak, M.R., and Akhavan, A. 2011. Genetic diversity of the common bacterial blight pathogen of bean, *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, in Iran revealed by rep-PCR and PCR-RFLP analyses. World Journal of Microbiology and Biotechnology 27: 2371-2378.
- Zanatta, Z. G.C.N., Moura, A.B., Maia, L.C., y dos Santos, A.S. 2007. Bioassay for selection of biocontroller bacteria against bean common blight (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*). Brazilian Journal of Microbiology 38: 511-515.