

FICHA TÉCNICA

PUDRICIÓN BLANDA DEL COGOLLO DEL AGAVE



***Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (Jones)
Waldee, 1975**

Créditos: Consejo Regulador del Tequila.

Oficina Ejecutiva

Órgano Interno de Control en el SENASICA

(52) 551 5412 1000 ext. 51648
+52(55) 5471 4300 ext. 3033

Dirección

Campañas Fitosanitarias:

01 800 957 9879

www.mexico.gob.mx

www.senasica.gob.mx

SAGARPA

SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



SENASICA

SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD,
INOCUIDAD Y CALIDAD
AGROALIMENTARIA

CONTENIDO

IDENTIDAD	1
Nombre científico	1
Clasificación taxonómica	1
Sinonimias.....	1
Nombre común.....	1
IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PLAGA	1
SITUACIÓN FITOSANITARIA EN MÉXICO	1
HOSPEDANTES	3
DISTRIBUCIÓN MUNDIAL	3
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA	4
ASPECTOS BIOLÓGICOS	4
Ciclo de vida.....	4
SÍNTOMAS	4
ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS	4
Epidemiología de la plaga.....	4
Dispersión	7
Insecto transmisor.....	7
MÉTODOS DE DETECCIÓN.....	8
MUESTREO.....	8
MEDIDAS FITOSANITARIAS	9
Control legal	9
Control cultural	9
Control biológico	10
Control químico	10
Resistencia genética	10
Control del insecto vector	11
Control de focos de infestación.....	11
LITERATURA CITADA.....	11

IDENTIDAD

Nombre científico

Pectobacterium carotovorum (Jones) Waldee, 1945
(Brenner y Farmer III; 2005; EPPO, 2017).

Clasificación taxonómica

Dominio: Bacteria

Phylum: Proteobacteria

Clase: Gammaproteobacteria

Orden: Enterobacteriales

Familia: Enterobacteriaceae

Género: *Pectobacterium*

Especie: *P. carotovorum*

(Brenner y Farmer III; 2005; ITIS Report, 2017)

Sinonimias

Bacterium carotovorum (Jones) Lehmann & Neumann, *Erwinia aroideae* (Townsend) Holland, *Erwinia betivora* (Takimoto) Magrou, *Erwinia carotovora* (Jones) Bergey, *Erwinia carotovora* subsp. *aroideae*, *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, *Erwinia dahliae* (Hori & Bokura) Magrou, *Erwinia melonis* (Giddings) Bergey, *Pectobacterium aroideae*, *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee, *Pectobacterium phytophthorum* (Appel) Burgwitz (ITIS Report, 2017).

Nombre común

Pudrición blanda del cogollo del agave, secazón o mancha bacteria (Aquino-Bolaños, 2009).

IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PLAGA

En la zona productora de agave azul del sur de Jalisco, se reportó en 2002, en el periodo de junio a diciembre, una incidencia promedio del 64.2% de pudrición del cogollo: Cocula 80%, San Gabriel 79%, Tonaya 63%, Jocotepec 60%, Zacoalco de Torres

58%, Villa Corona 56%, Autlán de Navarro 54% (Castro-Valera, 2003).

Mientras que en la región de los Altos, en el estado de Jalisco que comprende los municipios de Acatic, Arandas, Atotonilco el Alto, Ayotlán, Jesús María, Tepatitlán de Morelos y Zapotlanejo, la pudrición del cogollo es la enfermedad más importante. El municipio de Tepatitlán fue el que presentó 93.25% de incidencia y el municipio menos afectado fue Atotonilco con 25% de incidencia (Ibarra-Nava, 2001).

SITUACIÓN FITOSANITARIA EN MÉXICO

De acuerdo a lo dispuesto en la NIMF 8, Determinación de la situación de una plaga en un área (CIPF, 2016), *Pectobacterium carotovorum* se encuentra presente en nuestro país.

Se han reportado diversas especies de bacterias asociadas a la pudrición del cogollo del agave; incluso se ha sugerido que la enfermedad es un síndrome.

Vélez *et al.* (1996) aislaron a *Pectobacterium* (*Erwinia*) sp. del grupo *carotovora* en *Agave tequilana*. Posteriormente, Monroy (1999) y Sanchez (2000) determinaron que *Pectobacterium carotovorum* (*Erwinia carotovora*) es el agente causal de la pudrición blanda del cogollo del agave tequilero var. azul

Por su parte, Jiménez-Hidalgo *et al.* (2004) reportaron que *Pectobacterium* (*Erwinia*) *cacticida*, *Pantoea agglomerans* y *Pseudomonas* sp. están asociadas a la pudrición del cogollo del agave azul (*Agave tequilana* var. azul) en Tequila, Jalisco; de las cuales, en estudios de patogenicidad *P. cacticida* fue

la bacteria más patogénica en *Agave tequilana*, *Solanum tuberosum* cv Alpha, *Cucumis sativus*, *Solanum lycopersici* cv. Rio Fuego, *Ferocactus latispinus* y *Mammillaria san-angelensis*.

Posteriormente la Universidad de Guadalajara, en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, la Universidad Nacional Autónoma de México y Colegio de Postgraduados realizaron diversos proyectos de investigación, en los cuales, se determinó que *Pectobacterium (Erwinia)* sp. es el agente causal de la pudrición del agave azul tequilero (Martínez-Ramírez (2011).

Por su parte, Rincón-Enríquez *et al.* (2014) realizaron muestreos de suelo y material vegetal enfermo con síntomas de pudrición del cogollo, en las áreas de producción de agave de Jalisco, Nayarit y Guanajuato que corresponden a la zona de Denominación de Origen del Tequila y posteriormente realizaron pruebas de patogenicidad. Encontraron que las bacterias *Pectobacterium* sp., *Pantoea* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Arthrobacter* sp., *Streptomyces* sp. son causales de la pudrición del cogollo de *Agave tequilana* y *Agave cupreata*.

Vega-Ramos (2017) aisló 18 cepas de *Erwinia* sp., de síntomas de pudrición del cogollo del agave, de las cuales, se determinó mediante pruebas bioquímicas que 8 cepas pertenecen a *Pectobacterium carotovorum* subs. *atroseptica*.

Respecto a la controversia en el nombre científico correcto entre *Erwinia carotovora* y *Pectobacterium carotovorum*, Sneath (2004), se considera que los dos nombres son correctos y al mismo tiempo son

sinónimos, debido a que para la descripción de ambas especies se basó en el mismo aislamiento, 15713 de American Type Culture Collection. Sin embargo, Brenner y Farmer III (2005) proponen como nombre actual *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. En el caso específico de *Pectobacterium carotovorum* subsp. *atroseptica*, otra bacteria asociada a la pudrición del cogollo del agave, Gardan (2003) propone su cambio a nueva especie: *Pectobacterium atroseptica*

Respecto a otros patógenos asociados a la pudrición del agave, Cen-Caamal (2012) realizó muestreos en agave azul con síntomas de pudrición del cogollo en Arandas, Tequila, Acatic y Nopal en Jalisco, donde aisló a la bacteria *Bacillus pumilis*, posteriormente en pruebas de patogenicidad en invernadero reprodujo los síntomas típicos de dicha enfermedad; por lo que, concluyó que este patógeno es el agente causal.

En el caso del maguey mezcalero en Etna, Oaxaca, Espinoza-Paz *et al.* (2005) reportaron que la pudrición del cogollo está asociada al hongo *Fusarium oxysporum*, la bacteria *Erwinia* sp. y altas poblaciones del picudo *Scyphophorus interstitialis* en Etna, Oaxaca.

En el presente documento, se presenta la información de *P. carotovorum* subsp *carotovorum*, como uno de los agentes causales de la pudrición del cogollo del agave azul, ya que es la bacteria que se ha aislado con mayor frecuencia de dicha enfermedad. Sin embargo, es conveniente aclarar que es muy posible, que otros patógenos estén involucrados en el desarrollo de la pudrición de cogollo del agave; por ejemplo *P. carotovorum* subsp *atroseptica*, *P. cacticida*, *Bacillus pumillis*. Las

cuales, podrían tener un efecto sinérgico y la pudrición del cogollo del agave azul sea un síndrome causado por el efecto de dichos patógenos.

HOSPEDANTES

En el cuadro 1 y 2, se enlistan las especies hospedantes de *P. carotovorum* subsp *carotovorum*; sin embargo, se desconoce, el rango de

hospedantes para *P. carotovorum* subsp *atroseptica* y *P. cacticida*.

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL

Pectobacterium carotovorum subsp. *carotovorum* presenta una distribución cosmopolita (Cuadro 3) (CABI, 2017). Sin embargo, para *P. carotovorum* subsp. *atroseptica* y *P. cacticida* se desconoce su distribución.

Cuadro 1. Lista de hospedantes principales de *Pectobacterium carotovorum* subsp *carotovorum* (CABI, 2017).

Familia	Nombre científico	Nombre común	Familia	Nombre científico	Nombre común
Agavaceae	<i>Dracaena</i> sp.	Dracaena	Fabaceae	<i>Glycine max</i>	Soya
	<i>Dracaena deremensis</i>			<i>Onobrychis viciifolia</i>	esparceta
	<i>Dracaena sanderiana</i>			<i>Phaseolus</i>	frijoles
Aloaceae	<i>Aloe arborescens</i>	Candelabro	Iridaceae	<i>Iris</i> sp.	Iris
Apiaceae	<i>Apium graveolens</i>	Apio	Liliaceae	<i>Allium</i> sp.	Cebollas y ajos
	<i>Daucus carota</i>	Zanahoria		<i>Allium cepa</i>	Cebolla
	<i>Foeniculum vulgare</i>	Hinojo		<i>Allium chinense</i>	Cebolla china
<i>Allium tuberosum</i>	Ajo oriental				
Araceae	<i>Epipremnum (Pothos)</i> sp.	Potus	Musaceae	<i>Musa</i> sp.	Plátano
	<i>Xanthosoma sagittifolium</i>	Oreja de elefante	<i>Musa x paradisiaca</i>	Plátano	
	<i>Zantedeschia</i> sp.	Alcatraz	Orchidaceae	<i>Cymbidium</i> sp.	Orquídea barco
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Alcatraz	<i>Oncidium</i> sp.		Damas danzantes	
Asteraceae	<i>Carthamus tinctorius</i>	Cártamo	<i>Phalaenopsis amabilis</i>	Orquídea luna	
	<i>Cichorium</i> sp.	Lechuguillas	Pandanaceae	<i>Pandanus</i> sp.	Pandano
	<i>Helianthus annuus</i>	Girasol	Papaveraceae	<i>Papaver somniferum</i>	Amapola real
Basellaceae	<i>Lactuca sativa</i>	Lechuga	Poaceae	<i>Oryza sativa</i>	Arroz
	<i>Ullucus tuberosus</i>	Ulluco		<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgo
	Brassicaceae	<i>Brassica juncea</i> var. <i>napiformis</i>		Mostaza china	<i>Sorghum x drummondii</i>
<i>Brassica napus</i>		Canola	<i>Triticum aestivum</i>	Trigo	
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>		Coliflor	Primulaceae	<i>Cyclamen</i> sp.	Ciclamén
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>		col		<i>Primula</i> sp.	Primaveras
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>gongylodes</i>		Colinabo		<i>Primula malacoides</i>	Primavera de hadas
<i>Brassica rapa</i> cultivar group Mizuna				<i>Primula obconica</i>	Primavera superior
<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleifera</i>		Nabo	<i>Primula x polyantha</i>	Primavera	
<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>pekinensis</i>	Col china	Rosaceae	<i>Pyrus communis</i>	Pera europea	
<i>Raphanus sativus</i>	Rábano	Solanaceae	<i>Capsicum</i> sp.	chiles	
Cactaceae	<i>Opuntia ficus-indica</i>		Nopal	<i>Capsicum annuum</i>	Pimiento
Chenopodiaceae	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>saccharifera</i>		Remolacha	<i>Nicotiana tabacum</i>	Tabaco
Convolvulaceae	<i>Ipomoea batatas</i>	Patata o camote	<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate rojo	
Crassulaceae	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>	Cenicienta purpura	<i>Solanum tuberosum</i>	Papa	
Cucurbitaceae	<i>Cucumis melo</i>	Melón	Strelitziaceae	<i>Strelitzia reginae</i>	Ave de paraíso
	<i>Cucurbita</i> sp.	Calabacita	Zingiberaceae	<i>Zingiber officinale</i>	Jengibre
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea</i> sp.	Discorea			
Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i>	Yuca			

Cuadro 2. Lista de hospedantes secundarios de *Pectobacterium carotovorum* subsp *carotovorum* (CABI, 2017).

Familia	Nombre científico	Nombre común	Familia	Nombre científico	Nombre común
Asteraceae	<i>Artemisia vulgaris</i>	Artemisa	Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	Brocoli
	<i>Cynara scolymus</i>	Alcachofa	Cucurbitaceae	<i>Cucumis sativus</i>	Pepino
	<i>Silybum marianum</i>	Cardo mariano			

Además, *P. carotovorum* subsp *carotovorum* se ha reportado afectando a otros cultivos como *Abelmoschus esculentus* (Malvaceae) en Malasia (Nazerian *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Distribución de *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (CABI, 2017).

Continentes	Países
Asia	Arabia Saudita, Bangladesh, China, Corea del Sur, Filipinas, India, Indonesia, Irán, Iraq, Israel, Japón, Jordania, , Malasia, Singapur, Siria, Tailandia, Taiwán, Turquía.
África	Argelia, Congo, Egipto, Etiopía, Isla Mauricio, Libia, Malauí, Marruecos, República Centroafricana, Sudáfrica, Sudán, Zimbabue.
América	Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Estados Unidos de América, Honduras, Martinica, México, Panamá, Perú, Puerto Rico, San Cristóbal y Nieves, Venezuela.
Europa	Alemania, Bulgaria, Eslovenia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Inglaterra, Italia, Lituania, Montenegro, Países Bajos, Polonia, República Checa, Rumania, Rusia, San Marino, Serbia, Suecia, Suiza, Ucrania, Yugoslavia.
Oceanía	Australia, Nueva Zelanda, Papúa Nueva Guinea, Samoa Americana.

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

Las células bacterianas de *Pectobacterium* son varillas rectas de 0.5-1.0 x 1.0-3.0 µm, con los extremos redondeados, solos o en pares, es Gram negativa y móvil por flagelos peritricos (Hauben *et al.*, 2005).

ASPECTOS BIOLÓGICOS

Ciclo de vida

El ciclo de vida de *P. carotovorum* en *Agave*, ha sido poco estudiada; sin embargo, en otros hospedantes se ha observado que la bacteria tiene la habilidad de sobrevivir y dispersarse en material vegetal infectado (incluyendo semillas), suelo, rizosfera, herramientas contaminadas, agua e insectos; además, de su dispersión por medio de salpique de agua de lluvia, lluvia con vientos y su capacidad de aerolizarse; su amplio rango de hospedantes y su capacidad de permanecer latente en tejido infectado dificulta su manejo.

SÍNTOMAS

Los primeros síntomas aparecen como lesiones necróticas acuosas en las puntas de las pencas, en la mayoría de los casos inician en la espina apical o en las espinas laterales; sin embargo, posteriormente, estas lesiones avanzan hacia el

centro y base del cogollo; causando una pudrición descendente de consistencia blanda que llega hasta la piña, provocando que se desintegre el tejido, dejando hueca la piña y quedando únicamente las fibras, pudiendo ocasionar la muerte de la planta (Figuras 1-4) (Rubio-Cortes, 2007; Martínez-Ramírez, 2011).

ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS

Epidemiología de la plaga

Se ha observado que el avance de la enfermedad, depende del nivel de humedad que se acumule en las hojas internas del cogollo, es decir, a la película de agua que se forma sobre la superficie de las hojas, lo cual desplaza los niveles de oxígeno y favorece el desarrollo de la bacteria (Ruíz *et al.*, 1999; Castro-Valera, 2003).

La severidad de la enfermedad se incrementa en los predios infestados con malezas (Castro-Valera, 2003), las cuales, podrían favorecer la humedad y/o servir como fuente de inóculo de la bacteria, ya que el patógeno puede sobrevivir en la rizosfera de cultivos y malezas (Pérombelon y Kelman, 1980); la enfermedad puede avanzar 2 cm por día en forma descendente (Martínez *et al.*, 1998; Castro-Valera, 2003).



Figura 1. Síntomas iniciales de la pudrición del cogollo. A) y B) los primeros síntomas pueden iniciar por una pudrición en los ápices de las hojas, de una coloración grisácea a café oscuro. Créditos: Consejo Regulador del Tequila



Figura 2. A) y B) Pudrición descendente y enrollamiento las hojas. Créditos: Consejo Regulador del Tequila



Figura 3. A) y B) Síntomas avanzados de la pudrición del cogollo del agave. Créditos: Consejo Regulador del Tequila



Figura 4. Plantas muertas por la pudrición del cogollo del agave. Créditos: Consejo Regulador del Tequila

Dispersión

Aquino-Bolaños *et al.* (2009), mencionan que la bacteria se puede diseminar por pencas de maguey recién cortadas y por medio de insectos. Sin embargo, la bacteria no se ha detectado en suelo y pencas de maguey secas.

P. carotovorum subsp *carotovorum* puede sobrevivir por más de 35 días en suelo no estéril y 64 días en suelo estéril + nitrato de sodio a dosis de 70 mg/L (Armon *et al.*, 1995). Por su parte, Anilkumar y Chakravarti (1970) reportaron que en condiciones de laboratorio *P. carotovorum* sobrevivió 140 días en suelo estéril con 40% de humedad y 29 días en suelo no estéril. En el mismo sentido, Rangarajan y Chakravarti (1970) reportaron que *P. carotovorum* sobrevivió 150 días en suelo estéril y 90 días en suelo no estéril. Se conoce que la temperatura del suelo tiene un mayor efecto en la sobrevivencia del patógeno comparado con la humedad del mismo; es decir, la bacteria sobrevivió 38, 22 y 12 días a 8, 22 y 12 °C, respectivamente.

La bacteria puede sobrevivir hasta 16 horas sobre la superficie de frutos de pepino y manzana (Ukuku *et al.*, 2005); lo cual, es importante debido a que el salpique de agua puede dispersar las células bacterianas de planta a planta dentro de la huerta (Norman *et al.*, 2003).

También se ha reportado que la bacteria se puede dispersar por medio de herramientas contaminadas (Norman *et al.*, 2003); sin embargo, se desconoce el periodo de sobrevivencia. Además, la bacteria tiene la capacidad de sobrevivir en residuos del cultivo (Gašić *et al.*, 2014). En tejido enfermo puede sobrevivir 2, 8 y 7 meses a 0-5 °C (refrigerador), 22-

28 °C (cuarto aislado) y 20-37 °C (campo), respectivamente.

Por otra parte, se ha reportado a la bacteria *P. carotovorum* subsp *carotovorum* como un habitante natural de la rizosfera de varias especies de crucíferas, tabaco y malezas (Pérombelon y Kelman, 1980).

Respecto al agua como fuente de inóculo y dispersión; *P. carotovorum* se detectó en Norte América en 99.8% de muestras de agua provenientes de ríos, manantiales, arroyos, represas y estanques de 16 estados; además, de muestras de agua las costas de Escocia; Oregón y California en el Océano Pacífico; Texas, Louisiana y Florida en el Golfo de México. También se ha encontrado en agua de lluvia y pozos profundos (McCarter-Zorner *et al.*, 1984; Franc *et al.*, 1986; Harrison *et al.*, 1987; Cappaert *et al.*, 1988).

En la superficie de semillas, Hadas *et al.* (2001) la detectaron en *Capsicum annum*, También observaron una correlación alta entre el nivel de inóculo y el porcentaje de germinación de las semillas; además, de la incidencia de la enfermedad en las plántulas, lo cual demuestra la capacidad de la bacteria de transmitirse por semilla y que puede actuar como una fuente de inóculo primario en el desarrollo de la enfermedad en campo, mientras que, Zutra *et al.* (1997) detectaron la bacteria en semillas de col y coliflor.

Insecto transmisor

Se ha asociado la presencia y diseminación de la enfermedad con el picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* como insecto transmisor. Es decir, se han detectado células bacterianas en la superficie externa del insecto, las cuales utilizan como vías de

entrada a la planta las heridas que causa el mismo insecto al alimentarse (Rubio-Cortes, 2007).

La dispersión de la bacteria también se ha asociado a la presencia de otros insectos, como: *Hylema* sp. (Martínez-Ramírez, 2011), moscas de la fruta *Drosophila melanogaster* (Brewer *et al.*, 1980). En el caso de larvas de *Drosophila*, se ha reportado que la bacteria al infectar las larvas activa el sistema de respuesta inmune del insecto (Basset *et al.*, 2000), por lo que, se desconoce su papel en la diseminación de la bacteria.

Kloepper *et al.* (1979) reportaron que insectos del orden Díptera se han asociado a la transmisión de la enfermedad; el rango de insectos que se detectaron contaminados con la bacteria fue de 1.0% para *Bradysia* sp. y 6.1% para *Phormia* sp.

MÉTODOS DE DETECCIÓN

La caracterización y diferenciación de las especies y subespecies de *Pectobacterium* se basa en aislamiento en medio de cultivo, pruebas bioquímicas y fisiológicas (Hauben *et al.*, 2005). Por su parte, Jiménez-Hidalgo (2004) identificó y caracterizó a *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* por medio de aislamiento en medio de cultivo, pruebas de patogenicidad, propiedades fisiológicas y metabólicas, perfil de ácidos, amplificación de regiones conservadas del gen 16S-23S rRNA (ITS) por medio de PCR y la utilización de enzimas de restricción.

MUESTREO

En campo, el muestreo para la detección de síntomas sospechosos a *Pectobacterium carotovorum* se realizará de acuerdo a lo marcado

en el Manual Operativo de la Campaña Contra Plagas Reglamentadas del Agave.

En zonas Bajo Control Fitosanitario y Zonas Libres, el muestreo deberá realizarse de acuerdo a la siguiente metodología:

1. Obtener un plano cartográfico fraccionado o plano perimetral de los predios a muestrear.
2. Dibujar en el plano cartográfico fraccionado o el plano perimetral 5 cuadrantes (muestreo en cinco de oros) con el objetivo de definir el lugar donde se realizará el muestreo.
3. Estos 5 cuadrantes se podrán incrementar de acuerdo al inventario total del predio para que el tamaño de muestra sea acorde a la superficie.

Número de plantas.	Cantidad de cuadrantes por predio
Menor o igual a 50,000	5=1 cinco de oros
50,001-100,000	10=2 cinco de oros
100,001-200,000	15=3 cinco de oros
Mayor a 200,000	20=4 cinco de oros

4. Realizar un recorrido de reconocimiento perimetral previo al muestreo, con la finalidad de ubicar físicamente los cuadrantes marcados en el plano cartográfico.
5. Una vez ubicados físicamente los cuadrantes se continuara con lo siguiente a fin de realizar el muestreo: a) Omitir en el muestreo el surco de la orilla y no incluir las primeras 5 plantas de inicio de surco del cuadrante seleccionado; b) Seleccionar físicamente dos hileras contiguas dentro de cada cuadrante donde se contarán 30 plantas; c) Se tomara primero la hilera del lado izquierdo, en la que se excluirán las primeras plantas con la finalidad de eliminar el efecto "orilla", posteriormente, se iniciara la revisión de 15 plantas en la hilera del lado izquierdo. Una vez terminada la cuenta de la primera fila, se continúa con las otras 15 plantas en la hilera del lado derecho (Figura 5).

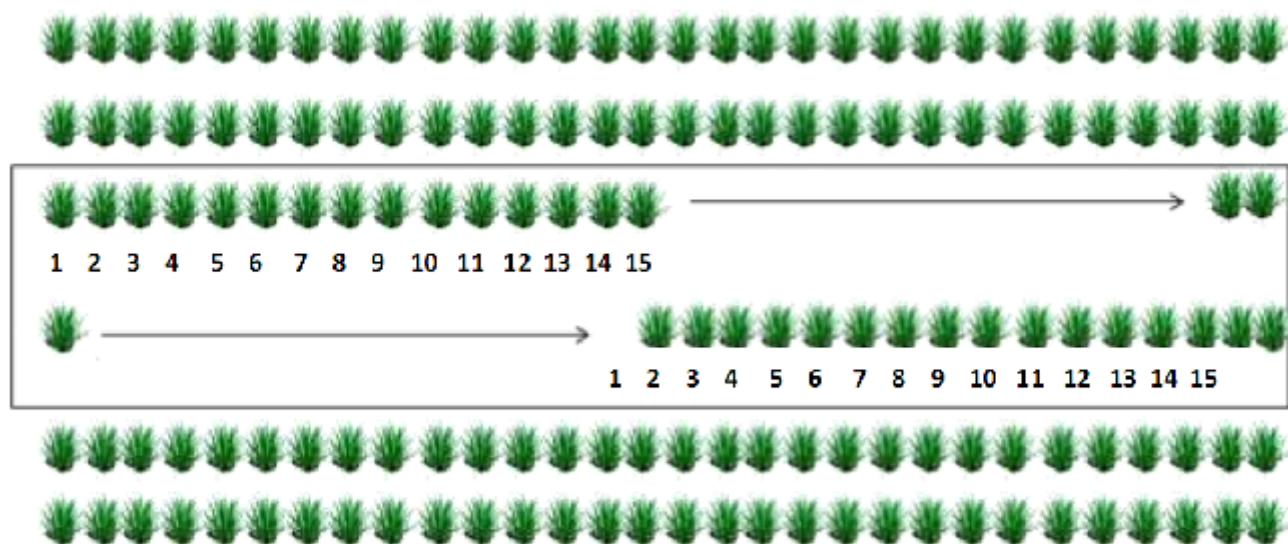


Figura 5. Sistema de muestreo para la detección de síntomas causados por *Pectobacterium carotovorum* en agave.

Durante el recorrido se dirigirá la atención a la presencia de plantas con síntomas característicos provocados por *Pectobacterium carotovorum*.

En caso de encontrar plantas con síntomas sospechosos se procederá a tomar la muestra que incluya tanto tejido sintomático como asintomático. Cada muestra deberá envolverse en papel absorbente y colocarse en bolsas de plástico con cierre hermético, cada una deberá ser etiquetada, es importante que la muestra se encuentre en buen estado. El conjunto de muestras se depositará en una hielera con geles refrigerantes. Las muestras deberán ser enviadas el mismo día para su diagnóstico. De manera adicional se recomienda reportar los síntomas y su incidencia en el cultivo, plagas observadas, tratamientos fitosanitarios aplicados, fenómenos meteorológicos ocurridos.

Las muestras se etiquetaran con los siguientes datos: fecha de muestreo, coordenadas geográficas,

nombre del(los) propietario(s), estado, municipio, nombre del colector, cultivo, edad de la plantación.

MEDIDAS FITOSANITARIAS

Control legal

Debido a la importancia del cultivo del agave tequilero, a partir de 2013, el SENASICA implementó la campaña contra plagas reglamentadas del agave con la finalidad de disminuir los niveles de infestación del picudo de la agave y reducir la incidencia de las enfermedades, entre las cuales, está la pudrición del cogollo, para mayor información véase: <http://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/plagas-reglamentadas-del-agave>.

Control cultural

Se recomienda realizar una poda sanitaria a 15 cm por abajo del borde del avance de la lesión y aplicar inmediatamente sulfato de cobre pentahidratado sistémico y realizar la apertura de cogollo (Martínez-Ramírez, 2011).

La bacteria tiene la capacidad de sobrevivir en el suelo de 1 semana a 7 meses; sin embargo, este periodo se puede prolongar si hay presencia de residuos vegetales del cultivo, así como, plantas voluntarias y malezas. Por lo tanto, es preferible realizar la rotación de cultivos, con plantas resistentes; por ejemplo, legumbres (Gašić *et al.*, 2014). Se debe de considerar un periodo de rotación de 3 a 8 años (Czajkowski *et al.*, 2011).

Howard *et al.* (2007) mencionaron que *P. carotovorum* es una bacteria difícil de eliminar de las superficies contaminadas. En ese sentido, se ha reportado que el hipoclorito de sodio 1% y 10%, Verkon 1%, sales cuaternarias 0.2%, Menno-Ter-Forte 1% no eliminaron a *P. carotovorum* subsp. *atroseptica* en superficies contaminadas; sin embargo, si se puede eliminar en madera, metal y plástico con sales cuaternarias al 2%/20 min, Iodine 1.8 (Iobac P) 3%/20 min, glutaraldehído 3%/20 min (Mebalds *et al.*, 1997).

Control biológico

Se ha reportado que el uso de bacteriófagos representan una ventaja sobre el uso de plaguicidas, debido a que son fáciles de preparar y utilizar, son de bajo costo, alta especificidad, son inocuos, nula contaminación al suelo y al agua. En ese sentido, se han reportado cuatro bacteriófagos de la familia Siphoviridae y uno de la familia Podoviridae, los cuales son líticos para las bacterias asociadas a la pudrición blanda de cogollo del agave (Solís-Sánchez *et al.*, 2013); esto podría ser en un futuro una herramienta más en el control del patógeno.

En este sentido, se ha observado que aplicaciones semanales de la bacteria *B. subtilis* durante cuatro meses redujo la incidencia de *Pectobacterium*

carotovorum a un 10% comparado con el testigo de 50%; por lo que, podría ser una alternativa de manejo (Garzón-Gutiérrez *et al.*, 2015).

En condiciones de laboratorio, cuatro aislamientos de *Streptomyces* sp. redujeron de 65 a 94% la severidad de los síntomas causados por *Pectobacterium carotovorum* y *P. atrosepticum* (Baz *et al.*, 2012).

Control químico

En pruebas *in vitro*, Agrimicin y azufre inhibieron el germinación (desarrollo) de la bacteria en 100% y 90%, respectivamente. Por otro lado, estos agroquímicos son útiles para controlar la bacteria al causar 82% y 100% de mortalidad (Aquino-Bolaños *et al.*, 2009)

Por su parte, Martínez-Ramírez (2011) mencionó que para el control químico de la pudrición del cogollo se recomienda alternar los siguientes productos: 1) sulfato de cobre pentahidratado, 2) lodo (yodo), kurafitos (yodo libre) + vidafitos (coadyuvante), 3) Benzotiazol (Martínez-Ramírez, 2011).

Resistencia genética

Monroy-Sánchez (1999) reportó un método de obtención de embriones de agave azul resistentes a *P. carotovorum*, mediante organogénesis. Sin embargo, no se han generado variedades resistentes. Por su parte, Rodríguez-Garay *et al.* (2015) reportaron que por medio de embriogénesis somática indirecta se puede generar resistencia genética a *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*. Sin embargo, a la fecha no existen variedades tolerantes o resistentes a la bacteria.

Control del insecto vector

Se ha reportado que los insecticidas malatión, endosulfan, metomilo y fipronil poseen una alta efectividad biológica contra el picudo del agave (Terán-Vargas y Azuara-Domínguez, 2013).

Para el control de *Hylema* sp., otro posible vector de la bacteria, se recomienda realizar aplicaciones de dimetoato, cuando se presente una temperatura inferior a los 10 °C (Martínez-Ramírez, 2011).

Control de focos de infestación

Considerando la biología de la bacteria se propone el siguiente esquema de manejo.

1. Uso de material propagativo sano y/o certificado que provenga de cultivo *in vitro*.
2. Las herramientas de poda, cosecha y otros implementos que se utilicen durante las labores del cultivo, se deben de desinfectar cada determinado número de plantas, por ejemplo 50, con sales cuaternarias a una concentración mínima del 2%.
3. Realizar actividades de muestreo (actividades de vigilancia epidemiológica), la cual se debe de intensificar en los periodos de lluvia y debe de ser complementado con el muestreo del principal insecto transmisor, *S. acupunctatus*.
4. Las pencas que presenten los primeros síntomas se deben de cortar 50 cm por debajo de la zona de avance de la enfermedad, el material vegetal podado, se debe de sacar de predio y quemar en un lugar apartado.
5. Las plantas que fueron podadas se deben de tratar con sulfato de cobre pentahidratado y realizar la apertura de cogollo (Martínez-Ramírez (2011).

6. Las plantas que presente síntomas y daños avanzados, se deberán de extraer junto con sus raíces y quemar.
7. El área de donde fue extraída la planta se deberá de aplicar algún fumigante; por ejemplo, Vapam, con la finalidad de eliminar los propágulos de la bacteria, plantas y microorganismos donde pudiera sobrevivir la bacteria. Además, se deberá de delimitar el área para evitar el paso de personas, animales y evitar el escurrimiento de agua de lluvia mediante zanjas de 30-40 cm de profundidad.
8. Durante las actividades de erradicación de plantas enfermas, es necesario se utilicen tapetes sanitarios con sales cuaternarias al 2%, para evitar la diseminación por medio de suelo.
9. No se deberá de establecer plantas nuevas de agave, en áreas donde fue erradicadas plantas enfermas por un periodo de 2 a 3 años. De ser posible establecer un sistema de rotación de cultivos con especies no hospedantes de la bacteria.
10. Establecer un programa de control (químico o mecánico) de las malezas presentes en las plantaciones de agave.

LITERATURA CITADA

- Anilkumar TB, Chakravarti BP. 1970.** Factors affecting survival of *Erwinia carotovora*, causal organism of stalk rot of maize, in soil. Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae, 5: 333-40.
- Aquino-Bolaños T, Ruíz-Vega J, Iparraguirre-Cruz MA. 2009.** Métodos de control de *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* y de su portador *Scyphophorus*

- acupunctatus* Gyllenhal, en agave mezcalero en Oaxaca, México. Centro Agrícola, 36(4): 33-36.
- Armon R, Dosoretz C, Yoirish A, Shelef G, Neeman I. 1995.** Survival of the phytopathogen *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* in sterile and non-sterile soil, sand and their admixture. Journal of Applied Bacteriology, 79(5): 513-518.
- Basset A, Khush RS, Braun A, Gardan L, Bocard, F, Hoffmann JA, Lemaitre B. 2000.** The phytopathogenic bacteria *Erwinia carotovora* infects *Drosophila* and activates an immune response. Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America, 97(7): 3376-3381.
- Baz M, Lahbabi D, Samri S, Val F, Hamelin G, Madore I, Bouarab K, Beaulieu C, Ennaji MM, Barakate M. 2012.** Control of potato soft rot caused by *Pectobacterium carotovorum* and *Pectobacterium atrosepticum* by Moroccan actinobacteria isolates. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28: 303-311.
- Brenner DJ y Farmer III JJ. 2005.** Family I. Enterobacteriaceae. Pp. 587-607. In: Brenner DJ, Krieg NR, Staley JT (eds.). Bergey's manual of systematic bacteriology. Second edition. Volumen Two. The proteobacteria. Part B. The Gammaproteobacteria. Springer Michigan USA.
- Brewer J W, Harrison MD, Winston JA. 1980.** Differential attraction of *Drosophila melanogaster* Meig. to potato tissue infected with two varieties of *Erwinia carotovora*. American Potato Journal, 57(5): 219-224.
- CABI (Centre for Agriculture and Bioscience International). 2017.** *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (bacterial root rot of sweet potato). En línea: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/21913>. Fecha de consulta: 11 de enero de 2017.
- Cappaert MR, Powelson ML, Franc GD, Harrison MD. 1988.** Irrigation water as a source of inoculum of soft rot erwinias for aerial stem rot of potatoes. Phytopathology, 78:1668-1672.
- Castro-Valera RA. 2003.** Incidencia y distribución de marchitez y pudrición del cogollo del agave (*Agave tequilana* weber variedad azul) en la zona sur de Jalisco. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Postgrado en Manejo de Áreas de Temporal. 71 p.
- Cen-Caamal JC. 2012.** Determinación del agente causal de la pudrición del cogollo del *Agave tequilana* Weber var. azul en el Estado de Jalisco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 50 p.
- CIPF (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria). 2016.** Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 08. 1998. Determinación de la situación de una plaga en un área. Secretaría de la Convención Internacional de Protección fitosanitaria. FAO-IPPC. En línea: https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2016/01/ISPM_08_1998_Es_2016-01-14.pdf. Fecha de consulta: 11 de enero de 2017.
- Czajkowski R, Pérombelon MCM, Veen JAV, Wolf JMVD. 2011.** Control of blackleg and tuber soft rot of potato caused by *Pectobacterium* and *Dickeya* species: a review. Plant Pathology, 60: 999-1013.
- Espinosa-Paz H, Bravo-Mosqueda E, López-López P, Arredondo-Velásquez C. 2005.** El agave mezcalero de Oaxaca. Avances de investigación. Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación regional

- Pacifico Sur. Campo Experimental valles Centrales de Oaxaca. Libro técnico no.3. Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca. 180 p.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). 2017.** Data base: *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. En línea: <http://www.eppo.int/DATABASES/databases.htm>. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2017.
- Franc CD, Harrison MD, Powelson ML. 1986.** The presence of *Erwinia carotovora* in ocean water, rain water, and aerosols. pp. 48-49. In: D.C. Graham DC, Harrison MD (eds.). Report of the International Conference on Potato Blackleg. Edinburgh. 1984.
- Gašić K, Gavrilović V, Dolovac N, Trkulja N, Živković S, Ristić D, Obradović A. 2014.** *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* - the causal agent of broccoli soft rot in Serbia. Pesticides and Phytomedicine, 29(4): 249-255.
- Gardan L, Gouy C, Christen R, Samson R. 2003.** Elevation of three subspecies of *Pectobacterium carotovorum* to species level: *Pectobacterium atrosepticum* sp. nov., *Pectobacterium betavascularum* sp. nov. and *Pectobacterium wasabiae* sp. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 53: 381-391.
- Garzón-Gutiérrez LN, Herrera-Martínez JI, Clavijo-Gómez DA. 2015.** *Bacillus subtilis* como biocontrolador de la pudrición blanda (*Erwinia carotovora*) en el cultivo del cartucho (*Zantedeschia aethiopica* L). Revista de Protección Vegetal, 30:75.
- Hadas R, Kritzman G, Gefen T, Manulis S. 2001.** Detection, quantification and characterization of *Erwinia carotovora* ssp. *carotovora* contaminating pepper seeds. Plant Pathology, 50: 117-123.
- Harrison MD, Franc GD, Maddox DA, Michaud JE, McCarter-Zorner NJ. 1987.** Presence of *Erwinia carotovora* in surface water in North America. Journal of Applied Microbiology 62(6): 565-570.
- Hauben L, Van Gijsegem F, Swings J. 2005.** Genus XXIV. *Pectobacterium* Waldee 1945, 469AL emend. Hauben, Moore, Vauterin, Steenackers, Mergaert, Verdonck and Swings 1999a, 1pp. 721-730. In: Brenner DJ, Krieg NR, Staley JT (eds.). Bergey's manual of systematic bacteriology. Second edition. Volumen Two. The proteobacteria. Part B. The Gammaproteobacteria. Springer Michigan USA.
- Howard R, Harding M, Savidov N, Lisowski S, Burke D, Pugh S. 2007.** Identifying effective chemical disinfectants for use in sanitizing greenhouses. Iterim Progress Report II. Alberta Professional Horticultural Growers Congress and Foundation Society. En línea: <http://www.calseed.org/documents/disinfectants/1.pdf>. Fecha de consulta: 14 de febrero de 2014.
- Ibarra-Nava MA. 2001.** Distribución e incidencia de marchitez del agave (*Agave tequilana* Weber) en los Altos de Jalisco. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. 95 p.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS), Report. 2017.** *Pectobacterium carotovorum carotovorum* (Jones, 1901) Hauben *et al.*, 1999 emend. Gardan *et al.*, 2003. En línea: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=969560#null. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2014.
- Jiménez-Hidalgo I, Virgen-Calleros G, Martínez-de la Vega O, Vandemark G, Olalde-Portugal**

- V. 2004.** Identification and characterisation of bacteria causing soft-rot in *Agave tequilana*. European Journal of Plant Pathology, 110: 317-331.
- Klopper JW, Harrison MD, Brewer JW. 1979.** The association of *Erwinia carotovora* var. *atroseptica* and *Erwinia carotovora* var. *carotovora* with insects in Colorado. American Potato Journal, 56: 351-361.
- Martínez RJL, Vazquez GM, Pimienta BE, Torres MP, Bernal MF, Rodríguez RR, Flores MF, Virgen CG. 1998.** Avances del proyecto: Epidemiología y manejo integrado de problemas fitosanitarios en agave. pp. 20-25. En: Foro de análisis de la problemática de la cadena productiva Agave-Tequila. Centro de Investigación en Parasitología Vegetal, Departamento de Producción Agrícola, CUCBA U de G.
- Martínez-Ramírez JL. 2011.** Evolución histórica y situación actual de la pudrición del cogollo en el cultivo del agave azul tequilero. Pp. 35-44. In: Briceño-Félix GA, Hurtado de la Peña S, Díaz-Mederos P, Pérez-Mejía FA. (eds.). 1er Foro de discusión fitosanitaria en el cultivo del agave azul tequilero, integrando esfuerzos para impulsar bienestar en el sector. Guadalajara, Jalisco, México. 31 de mayo y 1 de Junio de 2011.
- McCarter-Zorner NJ, Franc GD, Harrison MD, Michaud JE, Quinn CE, Sells IA, Graham DC. 1984.** Soft rot *Erwinia* bacteria in surface and underground waters in southern Scotland and in Colorado, United States. Journal of Applied Microbiology, 57: 95-105.
- Mebalds M, Tregae W, Linden AVD. 1997.** NY612 Disinfectants protocols for equipment used in the nursery industry. Horticultural Research & Development Corporation. 58 p.
- Monroy-Sánchez BM. 1999.** Selección celular de *Agave tequilana* Weber var. azul para resistencia a bacterias. Tesis de Maestría en Ciencias en Procesos Biotecnológicos CUCEI U de G.
- Nazerian E, Sijam K, Ahmad ZAM, Keshavarz K. 2011.** Characterization of *Pectobacterium carotovorum* causing a new soft rot disease on okra in Malaysia. Journal of General Plant Pathology, 77: 292-294.
- Norman DJ, Yuen JMF, Resendiz R, Boswell J. 2003.** Characterization of *Erwinia* populations from nursery retention ponds and lakes infecting ornamental plants in Florida. Plant Disease, 87: 193-196.
- Pérombelon MCM, Kelman A. 1980.** Ecology of the soft rot erwinias. Annual Review of Phytopathology, 18: 361-387.
- Rangarajan M, Chakravarti BP. 1970.** Studies on the survival of corn stalk rot bacteria. Plant and Soil, 33(1): 140-144.
- Rincón-Enríquez G, Quiñones-Aguilar E, Qui-Zapata J, Vega-Ramos K, Uvalle-Bueno J. 2014.** Selección de bacteriófagos para el control biológico del agente causal de la pudrición del *Agave tequilana*. Revista Mexicana de Fitopatología, 32: S112.
- Rodríguez-Rebollar H. 2011.** Trampeo del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyll. (Coleoptera: Curculionidae) con feromonas de agregación y volátiles del agave. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Postgrado de Fitosanidad. Entomología y Acarología. 74 p.
- Rubio-Cortés R. 2007.** Enfermedades del cultivo de agave. pp. 169-195. In: Rulfo-Vilchis O, Pérez-Domínguez JF, del Real-Laborde JI, Byerly-Murphy KF. (ed.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave*

- tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Libro técnico Núm. 4.
- Ruiz CJA, Medina GIJ, González AC, Ortiz THE, Flores LRA, Martínez PKF, Byerly M. 1999.** Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro técnico Núm. 3. INFAP. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco, México. 324 p.
- Sánchez PJM. 2000.** Uso de *Scyphophorus acupunctatus* Gill en pruebas de patogenicidad de *Erwinia carotovora* en *Agave tequilana* Weber var azul Tesis de Maestría en Ciencias en Procesos Biotecnológicos CUCEI U de G
- Solís-Sánchez A, Quiñones-Aguilar EE, Qui-Zapata JA, Vega-Ramos KL, Uvalle-Bueno JX, Rincón-Enríquez G. 2013.** Biocontrol de la pudrición blanda del agave Mediante bacteriófagos. Revista Mexicana de Fitopatología, 31: S80.
- Sneath PHA. 2004.** Bacterial Nomenclature. pp. 83-88. In: Brenner DJ, Krieg NR, Staley JT (eds.). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Second Edition. Volume Two. The Proteobacteria. Part A. Introductory Essays. Springer. Michigan. USA.
- Terán-Vargas AP, Azuara-Domínguez A. 2013.** El picudo *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal y su manejo en el agave tequilero (*Agave tequilana* F.A.C. Weber) variedad azul. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Las Huastecas. Folleto técnico.
- Ukuku DO, Liao C, Gembeh SV. 2005.** Attachment of bacterial human pathogens on fruit and vegetables surfaces. Book Chapter. CRC Press. 419-438 pp.
- Vega-Ramos KL, Uvalle-Bueno JX, Haro-Pantoja MG. 2017.** Identificación de especies pertenecientes al género *Pectobacterium* en *Agave tequilana*. En línea: <http://inifapcirne.gob.mx/Congreso/RESUMENE/S%20EN%20PDF/186.pdf>. Fecha de consulta: 19 de enero de 2017.
- Vélez GC, Álvarez de la C, Rodríguez GB. 1996.** Aislamiento de *Erwinia* del grupo *carotovora* como patógeno de *Agave tequilana*. Resumen XXIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología, Guadalajara, Jalisco, México.
- Zutra D, Rav-David D, Cohen D, Lisker N. 1997.** Detection of *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* in crucifer seeds. Phytoparasitica, 25(3): 242.

Forma recomendada de citar:

DGSV-CNRF. 2017. Pudrición Blanda del cogollo del Agave. *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. SAGARPA-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 16 p.

Nota: Las imágenes contenidas son utilizadas únicamente con fines ilustrativos e informativos, las cuáles han sido tomadas de diferentes fuentes otorgando los créditos correspondientes.

Elaborada por:

Dirección General de Sanidad Vegetal
Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria
Grupo Especialista Fitosanitario

M.C. José Guadalupe Florencio Anastasio

Dr. Clemente de Jesús García Ávila

Dr. Andrés Quezada Salinas

M.C. Isabel Ruiz Galván

M.C. Daniel Bravo Pérez

M.C. Sergio Hernández Pablo

M.C. José Manuel Pineda Ríos

DIRECTORIO

Secretario de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

M.C. José Eduardo Calzada Rovirosa

Director del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria

MVZ. Enrique Sánchez Cruz

Director General de Sanidad Vegetal

Dr. Francisco Javier Trujillo Arriaga

Director del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria

Dr. José Abel López Buenfil