



<https://revistaagrociencia.wordpress.com/>

DOI:10.5281/zenodo.10782885

Artículo de investigación

## Manejo fitosanitario de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum* E.F. Smith) del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)

### Phytosanitary management of bacterial (*Ralstonia solanacearum* E.F. Smith) wilt of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill)

López-Nieto, M.A.<sup>1</sup>, Morán-Rosales, S.E.<sup>1</sup>, Segovia-Molina, J.A.<sup>1</sup>,  
Rivas-Flores, A.W.<sup>2</sup>, Pérez-Ascencio, M.A.<sup>3</sup>, Serrano-Cervantes, L.<sup>2</sup>

Correspondencia:  
mlopeznieto@yahoo.es  
elizabethmor\_209@hotmail.com  
jackalejandro@hotmail.es

Presentado:  
24 de julio de 2020  
Aceptado:  
03 de noviembre de 2020

- 1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Protección Vegetal. Estudiante tesista.
- 2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Protección Vegetal. Docente asesor.
- 3 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia. Docente asesor.

#### RESUMEN

La investigación se realizó de febrero a octubre de 2015 en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, a 700 msnm, entre los 13° 43' 6" N, 89° 12' 11" W, con precipitación anual de 1751 mm y temperatura anual media de 23.1°C. El estudio comprendió dos fases: La primera consistió en la recolección de tejido enfermo, aislamiento e identificación de la bacteria *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith. En los tratamientos se evaluó el hipoclorito de sodio en un ensayo in vitro, para determinar la dosis mínima inhibitoria del desarrollo de *R. solanacearum* E.F. Smith. La segunda fase inició con la inoculación de 200 ml de suspensión bacteriana (3x10<sup>8</sup> ufc/ml) por bolsa con suelo (22.5 lb). Se estableció un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y diez repeticiones. Los tratamientos aplicados fueron hipoclorito de sodio al 0.25%, bocashi, microorganismos de montaña en fase líquida (MML), solarización al suelo, ácido salicílico, ceniza, y *Trichoderma harzianum*, comparados con los testigos: relativo (Agri-Gent® antibiótico) y absoluto (sin control). Las plantas de tomate se trasplantaron 15 días después de aplicados los tratamientos. Para el efecto de los tratamientos se registró la incidencia y severidad una semana después del trasplante hasta la novena. La incidencia se utilizó para calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y la severidad para observar el efecto del tratamiento sobre el desarrollo de la enfermedad en la planta. Las ABCPE para los tratamientos evaluados resultaron estadísticamente similares al tratamiento relativo (Agri-Gent®), según la prueba de Dunnett (5%), excepto el tratamiento con MML, el tratamiento con ceniza (4 onzas de ceniza por planta) fue el más eficiente para el control de la incidencia (90% de efectividad) y severidad (0.4 de escala) de la enfermedad. Los resultados de esta investigación demuestran que existen tratamientos alternativos al uso de antibióticos para el control de la marchitez bacteriana del tomate, igual o mejor en términos económicos y ecológicos.

**Palabras clave:** Marchitez bacteriana del tomate, *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith, medidas fitosanitarias.

#### ABSTRACT

The research was carried out from February to October 2015 in the nursery of the Faculty of Agronomic Sciences of the

University of El Salvador, at 700 meters above sea level, between 13°43'6"N, 89°12'11"W, annual precipitation of 1751 mm and mean annual temperature of 23.1°C. The study comprised two phases: The first consisted of the collection of diseased tissue, isolation and identification of the bacterium *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith. Sodium hypochlorite was evaluated in vitro, to determine the minimum inhibitory dose for the development of *R. solanacearum* E.F. Smith. The second phase began with inoculation of 200 ml of bacterial suspension (3x10<sup>8</sup> cfu/ml) per individual 22.5 lb bag containing soil. The experimental design was completely randomized, with nine treatments and ten repetitions. The treatments applied were 0.25% sodium hypochlorite, bocashi, mountain microorganisms in liquid phase (MML), soil solarization, salicylic acid, ash, and *Trichoderma harzianum*. The controls were: relative (Agri-Gent® antibiotic) and absolute (no control). The tomato plants were transplanted 15 days after applying the treatments. The effect of treatments, as well as the incidence and severity of the wilt were recorded beginning one week after transplantation until the ninth week. The incidence of the wilt was used to calculate the area under the disease progress curve (AUDPC) and the severity to observe the effect of the treatment on the development of the disease in the plant. The AUDPCs' were statistically similar to the relative treatment (Agri-Gent®), according to Dunnett's test (5%), excepting for the MML treatment. The ash treatment (4 ounces of ash per plant) was the most efficient treatment for controlling the incidence of wilt (90% effectiveness) and the severity (0.4 scale) of the disease. The results of this investigation show that there are alternative treatments to the use of antibiotics for the control of bacterial wilt in tomato, equal to or better, in economic and ecological terms.

**Key words:** bacterial wilt of tomato, *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith, phytosanitary measures

## INTRODUCCIÓN.

La marchitez bacteriana del tomate causada por *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith, es una enfermedad de gran importancia económica a nivel mundial (CATIE 1990, CIP 1996, FHIA *et al.* 2012). Uno de los principales problemas al que se enfrentan los productores salvadoreños de tomate. Según el Programa de Hortalizas del CENTA (Centro de Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal), las pérdidas en rendimiento y calidad del cultivo de tomate a nivel nacional, son causadas en un 80% por bacterias; entre ellas el 60% es debido a *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith.

El tratamiento de la marchitez bacteriana del tomate requiere la aplicación de antibióticos al suelo, significa una medida antieconómica y ecológicamente inaceptable (FHIA *et al.* 2012). Debido a esto en los últimos tiempos, la investigación de medidas fitosanitarias para el control de la marchitez bacteriana ha estado dirigida hacia la evaluación de enmiendas orgánicas, control biológico, control físico e inducción de resistencia. Además, para algunas regiones del país, los productores están utilizando lejía comercial para controlar el problema.

Algunos procesos que han demostrado ser una alternativa para el manejo de la marchitez bacteriana

de tomate son la incorporación de ceniza, bocashi, *Trichoderma harzianum*, solarización al suelo y aplicación de ácido salicílico, debido a la forma particular del efecto de cada tratamiento (Valbuena-Calderón 2003, López-Tzoc 2004, Lino-Rodríguez y Portal-Miranda 2013, Mandal *et al.* 2013, Narasimha-Murthy *et al.* 2013, Kongkiattikajorn *et al.* 2007 citado por Yuliar *et al.* 2015).

Entre los objetivos planteados estaba, comprobar la eficacia de tratamientos físicos (solarización), biológicos (*Trichoderma harzianum*, microorganismos de montaña líquido y bocashi), químicos (antibióticos y lejía comercial), enmiendas (ceniza) e inducción de resistencia (ácido salicílico), que pudieran ser utilizados por los productores dentro de un programa de manejo integrado de la marchitez bacteriana del tomate.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

### Ubicación y duración de la investigación.

Se realizó a través de dos fases: una de laboratorio y la otra de campo, ambas se realizaron en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, el estudio se estableció en el vivero de dicha facultad en San Salvador, a 700 msnm, entre los 13° 43' 6" N, 89° 12' 11" W, con precipitación anual de 1751 mm y temperatura anual media de 23.1°C. (García *et*

al. s.f.).

### Metodología de laboratorio.

#### Aislamiento, purificación e identificación de la bacteria *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith.

Se colectaron plantas de tomate con síntomas de marchitez bacteriana, se seleccionaron fragmentos de tejido afectado y se desinfectaron en alcohol etílico al 70% durante un minuto (García *et al.* 1999); posteriormente los tejidos se dejaron reposar por 15 minutos en agua destilada estéril (Cartín y Wang 1996). Esta suspensión se sembró estriando por agotamiento con el asa bacteriológica estéril en placa Petri con medio Cetrimide (Lino y Portal 2013).

Para obtener colonias puras se seleccionaron aquellas con características morfológicas a *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith (Champoiseau 2009), estas se transfirieron sucesivamente tres veces, a través de siembras por agotamiento. La primera siembra se hizo en medio MacConkey, para obtener colonias puras de bacilos Gram negativos, luego al medio Cetrimide y finalmente se repicó a tubos con agar nutritivo con bisel. Las placas se incubaron a temperatura ambiente por 24 horas en posición invertida.

Para identificar el género y especie de la bacteria aislada, se realizaron las pruebas: KOH al 3%, movilidad, oxidasa, catalasa, Voges Proskauer, TSI (agar, hierro, triple azúcares) y Arginina, siguiendo la metodología descrita por Schaad citado por García *et al.* 1999 y Sasidharan *et al.* 2013.

#### Preparación del inóculo e inoculación de *R. solanacearum* E.F. Smith.

Las colonias puras de *R. solanacearum* E.F. Smith en agar nutritivo, fueron inoculadas en agua peptonada al 1%, después de 48 horas de crecimiento, luego se inoculó el suelo de cada bolsa con 200 ml de suspensión bacteriana a una concentración de  $3 \times 10^8$  ufc/ml (0.1 escala de McFarland) de *R. solanacearum* E.F. Smith.

#### Evaluación preliminar *in vitro* de las dosis de hipoclorito de sodio (lejía comercial).

Se evaluaron ocho dosis de hipoclorito de sodio comercial, a una concentración del 5% de NaClO y un tratamiento control (sin lejía), con cuatro repeticiones cada uno. Las dosis se prepararon diluyendo 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 10 ml de NaClO en 100 ml de PDA (Papa Dextrosa Agar). Se utilizaron cuatro repeticiones por tratamiento en placas Petri. En cada placa, se sembró la bacteria *R. solanacearum* E.F. Smith. Después de 24 horas de incubación a temperatura ambiente en posición invertida, se determinó que la dosis mínima que inhibió el desarrollo de *R. solanacearum* E.F. Smith, fue el tratamiento de 5 ml de NaClO por 100 ml de PDA.

#### Análisis físico-químico del suelo y de los tratamientos.

Previamente a la inoculación del suelo con la bacteria, se determinó el pH, al igual que los tratamientos de ceniza, microorganismos de montaña líquidos e hipoclorito de sodio al 0.25%. También a la ceniza se le hizo un análisis del contenido de calcio. Al término de la investigación se tomó el pH del suelo de cada tratamiento.

Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

### Metodología de campo.

#### Aplicación de los tratamientos.

Al momento de establecer el diseño, los tratamientos se distribuyeron al azar, siendo los siguientes:

T0= Testigo absoluto (sin aplicación);

T1= Testigo relativo, aplicación de Agri-Gent® (1.25 gramo de sulfato de gentamicina y oxitetraciclina por litro de agua);

T2= Suelo solarizado durante 6 semanas a condiciones ambientales locales.

T3 = *Trichoderma harzianum* (1 gramo por litro de agua);

T4 = Bocashi (9 oz/planta);

T5 = Microorganismos de montaña en fase líquida, sustancia concentrada (250 ml/ planta);

T6 = Ácido salicílico (0.5 gramos por litro de agua);

T7 = Hipoclorito de sodio al 0.25% (5 ml de lejía por un litro de agua);

T8 = Ceniza (4 oz).

Los tratamientos se aplicaron 30 días después de inocular la bacteria al suelo, a excepción del tratamiento 6, ácido salicílico (0.5 g/L) que se aplicó al follaje un día después del trasplante de las plantas y luego una vez por semana durante el ciclo del cultivo.

Los tratamientos, T3: *Trichoderma harzianum* (1 g/L de EXCALIBUR GOLDEN 5 FS®), T7: hipoclorito de sodio al 0.25%, t5: MML (microorganismos de montaña líquidos) solución concentrada, y el T1: bactericida Agri-Gent® (1.25 g/L de sulfato de gentamicina y oxitetraciclina), se aplicaron en volumen de 250 cc de suelo, los tratamientos T4: bocashi (9 oz) y T8: ceniza (4 oz) se incorporaron al suelo. Para el tratamiento T2: solarizado, el suelo se cubrió con un plástico de polietileno negro, dejándolo a la intemperie seis semanas. También, se realizó una segunda aplicación de los tratamientos MML en la etapa de prefloración al cultivo.

### Trasplante y fertilización.

El trasplante se realizó dos semanas después de la aplicación de los tratamientos, los plantines a los 29 días de emergencia, tenían dos a tres hojas verdaderas desarrolladas y una altura promedio de 10.35 cm.

La fertilización del cultivo se efectuó un día después del trasplante por la técnica de fertirriego, con fertilizantes hidrosolubles, formulados según la etapa fenológica del cultivo considerando los factores físicos-químicos de la solución nutritiva; se aplicaron dosis dos veces al día, tres veces por semana durante cada etapa fenológica del cultivo. Además, semanalmente se aplicó fertilizante foliar e

insecticida sistémico.

### Toma de datos.

El registro de incidencia y severidad se inició una semana después del trasplante, a través de dos observaciones por semana durante todo el ciclo del cultivo. El rendimiento se determinó con la cosecha de los frutos. Para determinar la incidencia por tratamiento, se contó el total de plantas y el número de plantas con marchitez bacteriana (MB), luego se calculó el porcentaje de incidencia de marchitez bacteriana (IMB) con la siguiente fórmula (Prio *et al.* 2004)

$$IMB = \frac{\text{n}^\circ \text{ de plantas con MB}}{\text{n}^\circ \text{ de plantas del tratamiento}} \times 100$$

Para el registro del índice de severidad, se utilizó con la escala subjetiva de Kempe y Sequeira modificada por Rivas Flores, quien la fundamentó por su experiencia en la aparición de los síntomas del cultivo, mencionando que las escalas de severidad son relativas según autores. Esta escala subjetiva describe cada grado de la siguiente manera (Fig. 1):

0: planta sana (sin síntomas).

1: marchitez leve.

2: marchitez moderada.

3: marchitez severa.

4: planta muerta por marchitez.

El rendimiento se determinó con el peso y número de frutos cosechados por tratamiento.

### Metodología estadística.

Se estableció un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y diez repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por cada una de las bolsas (14x16 pulgadas) con suelo y la unidad de muestreo fue cada una de las plantas.



Fuente: Kempe y Sequeira (1983), modificada por Rivas Flores

Figura 1. Escala subjetiva del índice de severidad de la marchitez bacteriana del tomate.

Los datos de incidencia registrados durante nueve semanas, se sometieron a un análisis matemático de epidemia de la enfermedad, utilizando el modelo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), calculada mediante la fórmula:  $ABCPE = ((y_i + y_{i+1}) / 2) (t_{i+1} - t_i)$ . Donde,  $y$  = incidencia de la enfermedad y  $t$  = tiempo de evaluación (Sermeño *et al.* 2001). Los resultados estadísticos de los análisis de varianza (ANOVA) de incidencia y área bajo la curva del progreso de la enfermedad, se sometieron a la prueba Tukey (5%) y Dunnett (5%) respectivamente. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Minitab 15. La variable severidad de los tratamientos se analizó, a través del promedio del índice de severidad.

### Metodológica económica.

Para justificar económicamente los tratamientos fitosanitarios en el manejo de la marchitez bacteriana del tomate y recomendar cuál de los tratamientos es más rentable; se utilizaron las metodologías propuesta por Ramírez (1994) para el análisis de presupuestos parciales (PP) y Sermeño *et al.* (2001) en el índice de costo efectividad (C/E).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### Efecto de los tratamientos fitosanitarios aplicados al suelo y al follaje

La marchitez bacteriana es una enfermedad de ciclo simple que generalmente se cuantifica por medio de la incidencia de la enfermedad, ya que depende

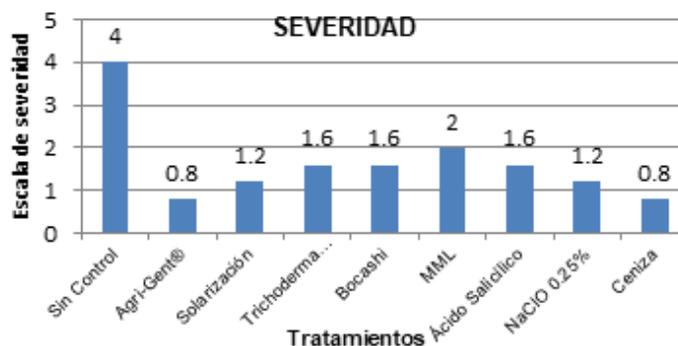
de la cantidad de inóculo inicial, para afectar a las plantas de forma más o menos severa. La severidad da una idea clara del efecto de los tratamientos en el desarrollo de la enfermedad en las plantas.

Los tratamientos fitosanitarios aplicados al suelo y al follaje, indicaron que hubo efectos positivos sobre la severidad de la marchitez bacteriana. Las aplicaciones con ceniza (T8) y Agri-Gent® “antibiótico” (T1) mostraron los valores más bajos de 0.8, en ambos casos, del índice de severidad durante el ciclo del cultivo, seguido de los tratamientos solarización (T2) y NaClO 0.25% (T7) con 1.2 de índice de severidad para ambos casos; con 1.6 para los tratamientos *Trichoderma harzianum* (T3), bocashi (T4) y ácido salicílico (T6); y los tratamientos microorganismos de montaña líquido “MML” (T5) con 2 y testigo (T0) con 4, mostrando los índices de severidad más altos (Fig. 2).

La menor severidad se presentó en el tratamiento con ceniza, el análisis químico realizado a la ceniza determinó que el Calcio (Ca), se encuentra en un 23.25 %, la función de este elemento es fortalecer las defensas de la planta, lo cual reduce la severidad de la marchitez bacteriana, esto coincide con el estudio de Huber (1990), citado por ABEAS (1997) el cual afirma que la aplicación de Ca en plantas de tabaco y tomate reduce la severidad.

### Efecto de los tratamientos fitosanitarios aplicados al suelo y al follaje

Para el manejo de la marchitez bacteriana del tomate, se evaluaron ocho tratamientos, cuyos efectos se



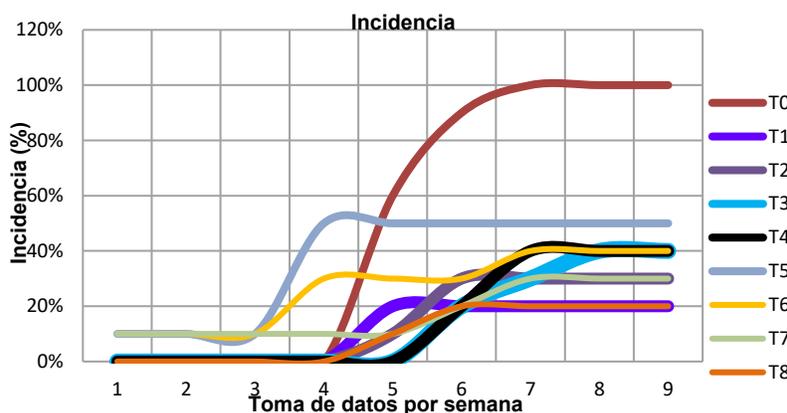
**Figura 2.** Índice de Severidad de la marchitez bacteriana del tomate por tratamiento.

evaluaron a través de la incidencia. Para evaluar el efecto de la enfermedad en las plantas se inoculó el suelo con 200 ml por bolsa de una solución de la bacteria *R. solanacearum* E.F. Smith en una concentración de  $3 \times 10^8$  ufc/ml. A los 30 días después de la inoculación se aplicaron los tratamientos, excepto el tratamiento con ácido salicílico. Después de 14 días de aplicados los tratamientos se realizó el trasplante de las plantas de tomate. Las lecturas de incidencia se iniciaron a partir de la primera semana del trasplante hasta la novena semana.

Los primeros síntomas de la enfermedad se observaron una semana después del trasplante en los tratamientos T5 (microorganismos de montaña líquido), T6 (ácido salicílico) y T7 (NaClO 0.25%) con un 10 % de incidencia de la enfermedad en cada uno de ellos, continuando la segunda manifestación de síntomas en la quinta semana en los tratamientos T0 (testigo absoluto), T1 (testigo relativo con Agri-Gent®), T2 (solarización) y T8 (ceniza) con una

incidencia del 60%, 20%, 10% y 10% respectivamente. Los tratamientos T3 (*Trichoderma harzianum*) y T4 (bocashi) mostraron una incidencia retardada de la enfermedad con valores del 20% de incidencia en ambos casos, a la sexta semana (Fig. 3).

La incidencia temprana en algunos tratamientos, se debió al estrés generado al momento del trasplante de las plantas de tomate y la cantidad de inóculo en el suelo, lo que facilitó el ingreso de la bacteria al sistema radicular de las plantas. Otro factor importante que contribuyó a incrementar los niveles de incidencia de marchitez bacteriana, fue que las plantas estuvieron sometidas a intensas lluvias y a condiciones de anegamiento durante la etapa de floración y formación de frutos, lo que concuerda con lo mencionado por FHIA *et al.* (2012). Las lluvias favorecieron el apareamiento de otros patógenos como el tizón tardío que impactó en el rendimiento del cultivo en algunos tratamientos.



**Figura 3.** Incidencia de la marchitez bacteriana del tomate en un período de nueve semanas.

Los resultados del análisis de ANOVA para la variable incidencia (% de plantas enfermas) indicaron que todos los tratamientos que se aplicaron al suelo y al follaje tuvieron un efecto diferente sobre el desarrollo de la enfermedad a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0.05$ ).

De acuerdo a las diferencias obtenidas en el ANOVA se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey (Cuadro 1), las cuales se presentaron en dos grupos estadísticamente diferentes. Los tratamientos testigo (T0), Micro-organismos de montaña líquido

(T5) y ácido salicílico (T6) son estadísticamente similares; pero estadísticamente diferentes a los tratamientos Agri-Gent® (T1), solarización (T2), *Trichoderma harzianum* (T3), bocashi (T4), lejía (T7) y ceniza (T8).

Los mayores porcentajes de control de incidencia por la bacteria se observaron en los tratamientos Ceniza (90%), Agri-Gent® (89%), solarización (86%), *Trichoderma harzianum* (86%), bocashi (84%) y NaClO 0.25% (82%).

**Cuadro 1.** Comparación de promedios por Tukey ( $\alpha=0.05$ ), de los tratamientos para la variable porcentaje de incidencia de la enfermedad.

Tratamiento	Medias	% de incidencia	% de control	Grupos
T0 (Sin control)	0.5000	50	50	a
T1 (Agri-Gent®)	0.1111	11	89	b
T2 (Solarización)	0.1444	14	86	b
T3 ( <i>Trichoderma harzianum</i> )	0.1444	14	86	b
T4 (Bocashi)	0.1556	16	84	b
T5 (MML)	0.3667	37	63	a
T6 (Ácido Salicílico)	0.2667	27	73	a
T7 (NaClO 0.25%)	0.1778	18	82	b
T8 (Ceniza)	0.1000	10	90	b

Las letras a y b indican que existen dos grupos estadísticamente diferentes en cuanto al porcentaje promedio de incidencia de la enfermedad

La ceniza fue el tratamiento más efectivo para el control de la incidencia de la enfermedad, ya que obtuvo un valor promedio del 10%, esto se debió al posible fortalecimiento de las defensas de la planta, las paredes celulares por el calcio, lo cual se manifestó también en una menor severidad de la enfermedad. El resultado coincide con Lino y Portal (2013) que registraron la aplicación de enmiendas al suelo con ceniza previo a la siembra, redujeron a un 12.5% la incidencia de la marchitez bacteriana del tomate, este efecto puede ser relacionado a las condiciones de pH poco favorables para el desarrollo de la bacteria en el suelo. El análisis efectuado al suelo previo a la aplicación del tratamiento presentó un pH de 6.9 y al final del ensayo se incrementó a 7.12, esto indica que el suelo se volvió más alcalino; Lemaga *et al.*

2001, Lemaga *et al.* 2005, Messiha 2006, citados por Muthoni *et al.* (2012), informan que la incidencia de la marchitez bacteriana se incrementa en un bajo pH del suelo (ácido) y a la baja fertilidad del suelo.

El tratamiento de solarización durante seis semanas redujo la incidencia de la enfermedad en un 14%, estos resultados coinciden con López (2004), quien afirma que la solarización del suelo por un periodo de seis semanas resulta eficiente para reducir la incidencia de la marchitez bacteriana del tomate a un 8.75%, estas diferencias pueden ser explicadas de acuerdo a la radiación solar en diferentes zonas geográficas. Las temperaturas registradas durante el proceso de solarización fluctuaron entre 33.17°C a 48.33°C a una profundidad de 10 cm, la reducción de la incidencia se puede explicar porque los tratamientos térmicos

al suelo de 45°C por dos días antes de la siembra, reducen la población bacteriana en un 60-97% y la incidencia de la marchitez bacteriana en tomate en un 50-75% (Kongkiattakajorn *et al.* 2007, citado por Yuliar *et al.* 2015).

*Trichoderma harzianum* retardó y alcanzó un porcentaje final de 86% de control de incidencia. El hongo puede actuar de dos formas: como antagonista y como fortalecedor de las defensas de la planta. Según estudios realizados por Ceballos *et al.* (2014), la aplicación de *Trichoderma sp.* tiene un efecto positivo que permite recuperar el equilibrio biológico en el suelo, ya que logra reducir notoriamente las poblaciones de organismos patógenos como *Ralstonia solanacearum* raza 2. El formulador del producto comercial Excalibur Gold 5 FS (*Trichoderma harzianum*) Advaced Biological Marketing, recomienda utilizar este producto no de forma antagonista, sino como fortalecedor de las defensas de las plantas. En este caso el efecto de reducción de la incidencia puede explicarse por una combinación de los dos efectos antes mencionados.

El bocashi presentó un porcentaje final de 84% de control de incidencia. Este tratamiento tuvo la particularidad de retardar el apareamiento de la incidencia de la enfermedad, pues manifestó hasta la sexta semana. Este efecto es muy importante en términos epidemiológicos, porque las plantas no son muy afectadas en los estadios fenológicos más susceptibles en su desarrollo. Esto posiblemente se explica por el aporte de nutrientes que fortalecen las plantas y la acción de microorganismos actuando como antagonistas. Investigaciones realizadas por Fikri (2013), demostraron que la aplicación de bocashi elaborado a base de hojas de canela (*Cinnamomum burmannii* B1), clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y hojas de betel (*Piper betle* L.) luego de 30 días, suprimió el desarrollo de las poblaciones bacterianas de *R. solanacearum* E.F. Smith en la rizosfera del tomate con un porcentaje de inhibición de 71 a 90.08%.

Otro tratamiento que se utilizó fue lejía comercial; ya que algunos productores de hortalizas la usan en

ciertas regiones del país, empíricamente sin dosificar el producto, lo que a futuro puede provocar esterilidad al suelo y fitotoxicidad a las plantas. La aplicación de lejía comercial a una concentración del 0.25% de hipoclorito de sodio (NaClO), controló la incidencia de la enfermedad en un 82%. El hipoclorito de sodio es un producto químico utilizado como desinfectante, su modo de acción en los microorganismos se debe a sus propiedades como agente oxidante que afecta la membrana celular (Resh citado por García 2012). El dato de incidencia alcanzado (18%), demostró que la lejía, si reduce la incidencia de la enfermedad, de igual manera el hipoclorito de sodio (6 y 8 mg L<sup>-1</sup>), reduce en un 8.3% de incidencia la marchitez vascular del tomate causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (García 2012). Si bien la prueba de Tukey al 5%, solamente separa dos grupos de tratamientos, en términos absolutos referentes a epidemiología las diferencias entre los grupos son importantes.

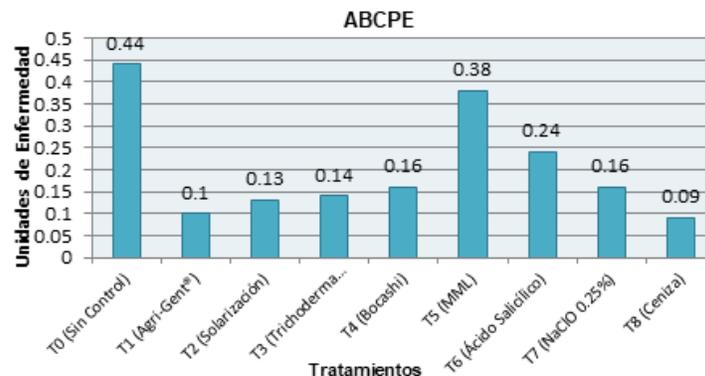
### Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) para la variable incidencia.

Para el análisis epidemiológico de la enfermedad bajo diferentes tratamientos aplicados al suelo y al follaje, se utilizó el modelo de área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para la variable incidencia, el cual muestra las unidades de enfermedad acumuladas durante el período de evaluación. En términos epidemiológico los valores promedios del ABCPE (Fig. 4), demostraron que el tratamiento T8 (Ceniza) presentó la menor cantidad de enfermedad acumulada durante el desarrollo del cultivo con 0.09 UE (Unidades de Enfermedad) y el T0 (sin control) el tratamiento con el mayor promedio de 0.44 UE, seguido del tratamiento T5 (microorganismos de montaña) con 0.38 UE; para los tratamientos T1 (0.9 UE), T2 (0.13 UE), T3 (0.14 UE), T4 (0.16 UE), T6 (0.24 UE) y T7 (0.16 UE) se mantuvo un promedio menor de UE respecto al tratamiento testigo.

El ABCPE depende del apareamiento de la sintomatología en las plantas y del efecto que los tratamientos tienen sobre el período de incubación de la enfermedad. En los tratamientos en que la enfermedad apareció tempranamente se debió a

que, al momento del trasplante, las plantas sufrieron estrés para poder adaptarse a las nuevas condiciones medioambientales (T5, T6 y T7), con respecto al testigo absoluto, este alcanzó el 100% de incidencia

en el estado fenológico de floración, aunque según Champoiseau 2009, los síntomas de la enfermedad pueden aparecer en cualquier etapa del crecimiento de la planta.



**Figura 4.** Unidades de enfermedad acumuladas (UEA) en los tratamientos durante el ciclo del cultivo de tomate.

Según la prueba de Dunnett, para el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de la incidencia (Cuadro 2), al compararlo con las medias con el tratamiento Agri-Gent® (T1) testigo relativo, resultaron dos grupos con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). Esto indica que todos los tratamientos a excepción de los microorganismos de montaña líquido (T5), son estadísticamente similares entre sí, al control ejercido por Agri-Gent®, lo que demuestra que las medidas fitosanitarias son igual o más eficientes que el uso de antibióticos para el control de *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith.

**Cuadro 2.** Prueba Dunnett comparación de las medias de las unidades de enfermedad para ABCPE de la incidencia de la marchitez bacteriana del tomate.

Tratamiento	Medias	Grupos
T1_1	0.10	a
T2_1	0.13	a
T3_1	0.14	a
T4_1	0.16	a
T5_1	0.38	b
T6_1	0.24	a
T7_1	0.16	a
T8_1	0.09	a

Las calificaciones promedio con letra diferente al Testigo relativo (T1=Agri-Gent®) son diferentes al T1, según la prueba de Dunnett ( $\alpha=0.05$ )

Según los datos obtenidos para las pruebas estadísticas realizadas, el tratamiento que mostró los mejores resultados en cuanto a promedio de control de incidencia fue el T8 (ceniza), la investigación demostró que es el mejor de los tratamientos fitosanitarios aplicados para la marchitez bacteriana del tomate. De igual forma las mayores cantidades de enfermedad se mostraron en el tratamiento T0 que es el testigo sin ningún control y T5 aplicación de microorganismos de montaña líquido (MML) al suelo. Los MML tuvieron muy poco efecto, probablemente por la cantidad y calidad de microorganismos que fue muy variable.

### Análisis económico.

En términos estadísticos el único tratamiento diferente al testigo relativo (T1= Agri-Gent®) fueron los MML, habiendo siete tratamientos similares (Dunnett al 5%), lo cual no nos permite tener una elección muy viable, razón por la que fueron necesarios los análisis económicos del presupuesto parcial (PP) e índice de costo-efectividad (C/E).

### Presupuestos parciales.

Los presupuestos parciales son un tipo de análisis económicos que miden el ingreso neto cuando se cambia de tecnologías para el manejo de una plaga. Se asume que la actividad agrícola es completamente

rentable.

El mejor tratamiento en términos económicos, es aquel que presentó un ingreso neto (IN) positivo siendo en este caso el T7 (NaClO 0.25%), de USD\$ 0.07 centavos para diez plantas (Fig. 5). Esto representa un costo de USD\$ 98.00 y un ingreso bruto de USD\$ 1,666.00 por mz (1 mz = 0.7 ha).

En este trabajo el mejor resultado para el control de la enfermedad, se obtuvo con el tratamiento a base de ceniza (T8), el análisis de presupuesto parcial, resultó ser negativo porque la ceniza que se utilizó provino de la combustión de un manojo de leña con un costo de USD\$ 1.50 produciendo 2.5 lb, igual cantidad utilizada para el tratamiento. Los rendimientos no fueron cuantificados totalmente, debido a diferentes factores tales como enfermedades (tizón tardío, virosis), insectos y roedores, razón por la cual, se realizó otro tipo análisis económico.

### Índice de costo-efectividad.

El índice de costo-efectividad es una metodología económica que se usa cuando los datos de producción no se tienen o no se consideran tan confiables. Mide la relación que existe entre el costo de un tratamiento y la efectividad en el control de una plaga específica, se considera que entre menor es la magnitud del índice es mejor.

El mejor tratamiento en términos de índice de costo-efectividad es el T7 (NaClO 0.25%), con un valor de 0.15 (Fig. 5), un costo de USD\$ 0.07 y una efectividad de 82% para diez plantas. Los tratamientos *Trichoderma harzianum* (T3) y NaClO 0.25% (T7), presentaron iguales índices de costo-efectividad, con valores de 0.15 (Fig. 18); sin embargo, los presupuestos parciales para cada uno de ellos fueron de USD\$ 1.03 y de USD\$ 0.07 respectivamente, por lo que concluimos que el T3 no es económicamente viable, ya que hay pérdidas monetarias.

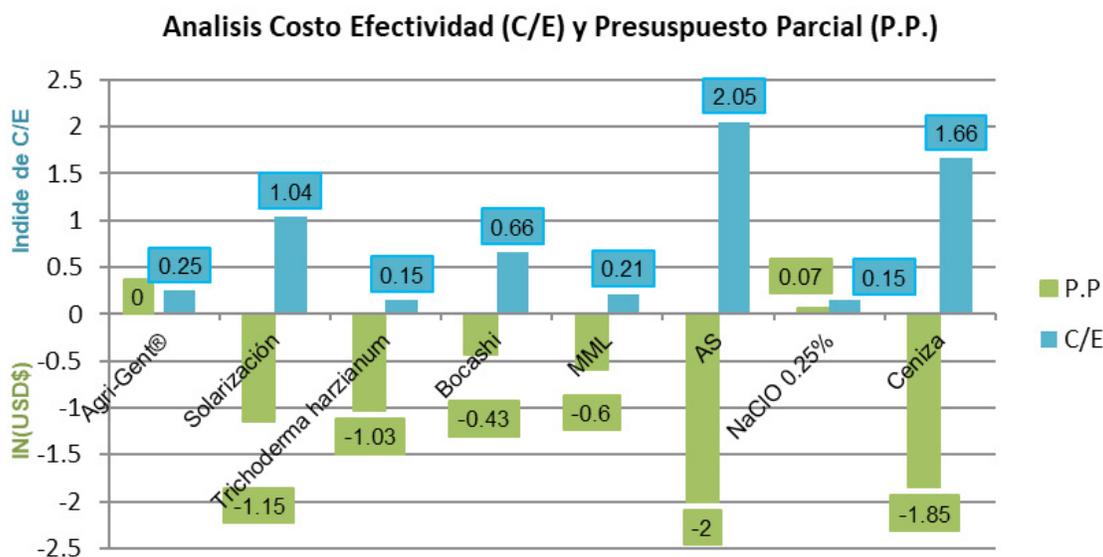


Figura 5. Costos Efectividad y Presupuesto Parcial de los tratamientos.

### CONCLUSIONES.

La aplicación de ceniza al suelo a una dosis de cuatro onzas por planta, presentó una efectividad del 90% en la reducción de la incidencia, y la severidad en un grado promedio de 0.9.

*Trichoderma harzianum* retarda y reduce la incidencia

de la enfermedad en un 86% y la aplicación de bocashi controló en un 84% la incidencia de la marchitez bacteriana del tomate.

La solarización de seis semanas al suelo es muy eficiente en un 86% para el control de la marchitez bacteriana del tomate.

Las aplicaciones de ácido salicílico (0.5 g por litro) al follaje semanalmente, presentaron una efectividad del 83% sobre la incidencia y un grado de severidad promedio de 1.0.

Los microorganismos de montaña en fase líquida aplicados al suelo, no son un tratamiento eficiente para el manejo de la marchitez bacteriana del tomate.

El tratamiento con hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.25% (5ml de lejía comercial con 5% de NaClO/L) es el más rentable, con el mayor ingreso neto de USD\$0.07 y el menor índice de costo-efectividad de 0.15.

Los tratamientos fitosanitarios (ceniza, solarización, bocashi, *Trichoderma harzianum*, hipoclorito de sodio al 0.25% y ácido salicílico) aplicados al suelo y follaje, son similarmente eficientes como el uso de antibiótico para el control de la marchitez bacteriana del tomate.

## BIBLIOGRAFÍA.

- ABEAS (Asociación Brasileña de Educación Agrícola Superior). 1997. Protección de plantas. Curso especializado por educación a Distancia. Universidad Nacional de Vicosa Centro de Ciencias Agrícolas. Departamento de Fitopatología. Módulo 09-control integrado de las enfermedades de las plantas. p.32.
- Cartín, J; Wang, A. 1996. Aislamiento de agentes supresores a *Pseudomonas solanacearum* en tomate (*Lycopersicon esculentum*). (en línea). X Congresos Nacional Agronómico, III Congreso Fitopatogeno, resumen 168. Consultado 20 jul. 2015. Disponible en [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_x/a50-2388-II\\_107.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_x/a50-2388-II_107.pdf)
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1990. Guía para el manejo integrado de plagas del tomate. Turrialba, CR. p.77-79
- Ceballos, G; Álvarez Bolaños, E; Bolaños, M. 2014. Reducción de poblaciones de *Ralstonia solanacearum* raza 2 (Smith) en plátano (*Musa AAB Simmonds*) con aplicación de extractos de *Trichoderma* spp. (Alexopoulos y Mims) y bacterias antagonistas. (en línea). Palmira, Colombia. Consultado 12 jul. 2015. Disponible en [http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/rt/printerFriendly/43121/45819](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/rt/printerFriendly/43121/45819)
- Champoiseau, PG. 2009. *Ralstonia solanacearum* raza 3 biovar 2. (USB). Trad. P Nina; JC Hong. Universidad de Florida, US. 15 p.
- CIP (Centro Internacional de Papa). 1996. Marchitez bacteriana manual de capacitación. CIP, Lima, PR. f. 2, p.1-9
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, HN); USAID (United States Agency International Development); IPM CRSP (Integrated Pest Management Collaborative Research Support Program). 2012. Marchitez bacteriana en las solanáceas: su reconocimiento y manejo integrado. (en línea). Lima, Corte, HN, FHIA. Consultado 27 mar 2014. Disponible en <http://www.fhia.org.hn>
- Fikri, EN. 2013. Effect of foliar application of cinnamon, clove and betel against *Ralstonia solanacearum* population in the rhizosphere of tomato (En Indonesio). (en línea). Agroscentiae 20 (1): 26-30. Consultado 5 jul. 2015. Disponible en <http://id.portalgaruda.org/>
- García Jiménez, A. 2012. Desinfección de sustrato y solución contaminados con *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. (en línea). Tesis Mag. Sc. Chapingo, MX, Universidad Autónoma Chapingo. Consultado 29 oct. 2015. Disponible en <http://www.chapingo.mx/>
- García, L; Zimmermana, R; Soriano, L; Pérez, C; Ayala, P. s.f. Caracterización de condiciones meteorológica en El Salvador. (en línea). San Salvador, SV. Consultado 20 julio 2015. Disponible en <http://portafolio.snet.gob.sv/>
- García, R; García, A; Delgado L. 1999. Marchitez bacteriana del tomate causada por el biovar 2 a, de *Ralstonia solanacearum* en algunas localidades del estado Merida-Venezuela. (en línea). Merida, VE. Consultado 15 jul. 2015. Disponible en <http://www.saber.ula.ve>
- Kempe J., Sequeira L. 1983. Biological control of bacterial wilt of potatoes: Attempts to induce

- resistance by treating tubers with bacteria. *Plant Dis.* 67, 499–503.
- Lino Rodríguez, CM; Portal Miranda, LH. 2013. Evaluación de enmiendas al suelo para prevenir la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*). Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV, Universidad de El Salvador. 73 p.
- López Tzoc, JG. 2004. Evaluación del solarizado para el control de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum*, en la Aldea el Tempisque, Agua Blanca, Jutiapa. (en línea). Tesis Ing. Agr. GT, Universidad de San Carlos Guatemala. Consultado 28 Abr. 2014. Disponible en [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2131.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2131.pdf)
- Mandal, S; Kar, I; Mukherjee, KA; Acharya, P. 2013. Elicitor-Induced Defense Responses in *Solanum lycopersicum* against *Ralstonia solanacearum*. (en línea). *The Scientific World Journal*. Consultado 7 ago. 2015. Disponible en <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2013/561056/>
- Muthoni, J; Shimelis, H; Melis, R. 2012. Management of Bacterial Wilt [*Ralstonia solanacearum* Yabuuchi et al., 1995] of Potatoes: Opportunity for Host Resistance in Kenya. (en línea). *Journal of Agricultural Science*. 4(9):64-78. Consultado 3 jul. 2015. Disponible en <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/viewFile/16264/12707>
- Narasimha Murthy, K; Nirmala Devi, D; Srinivas, C. 2013. Efficacy of *Trichoderma asperellum* against *Ralstonia solanacearum* under greenhouse conditions. (en línea). Department of Microbiology and Biotechnology, Bangalore University, Jnanabharathi Campus, Bangalore-560 056, Karnataka, India. Consultado 28 Abr. 2014. Disponible en <http://www.annalsofplantsciences.com>
- Prio, S; Barea, O; Equise, H; Aley, P. 2004. Capacitación e investigación participativa para el manejo integrado de la Marchitez Bacteriana de la papa: experiencias en Perú y Bolivia. (en línea). Lima, PE, CIP. Consultado 14 may 2014. Disponible en <http://books.google.com.sv>
- Ramírez, O. 1994. El uso de presupuestos parciales en el manejo integrado de plagas. CR, CATIE. (4 p.). (No. 11)
- Sasidharan Sreedevi; Nanu Remani, K; Sailas Benjamin. 2013. Biotic stress induced biochemical and isozyme variations in ginger and tomato by *ralstonia solanacearum*. (en línea). *American Journal of Plant Sciences* 4(8):1601-1610. Consultado 15 jun. 2015. Disponible en <http://www.scirp.org/>
- Sermeno, JM; Rivas, AW; Menjívar, RA. 2001. Manual técnico manejo integrado de plagas. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, San Salvador. SV. p.33-34
- Valbuena Calderón, OE. 2003. Resistencia inducida en el control de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) en tomate. (en línea). Tesis Ing. Agr. Lic. Guácimo, CR, Universidad EARTH. P. 35. Consultado 30 abr. 2014. Disponible en <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/dpg/2000097.pdf>
- Yuliar; Asi Nion, Y; Toyota, K. 2015. Recent Trends in Control Methods for Bacterial Wilt Diseases Caused by *Ralstonia solanacearum*. (en línea). *Microbes Environ* 30(1):1-11. Consultado 4 jul. 2015. Disponible en <http://translate.google.com.sv/translate?hl=es-419&sl=en&u=http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4356456/&prev=search>