

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

EPIDEMIOLOGÍA DE LA MARCHITEZ BACTERIANA *Ralstonia solanacearum* EN EL
CULTIVO DE TOMATE *Lycopersicon sculentum* Mill. EN EL ORIENTE DE GUATEMALA

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

LUIS FERNANDO IZAGUIRRE DE LEÓN

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, JULIO 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL I	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL II	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL III	MSc. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL IV	Br. Mirna Regina Valiente
VOCAL V	Br. Nery Boanerges Guzmán Aquino
SECRETARIO	MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, julio de 2008

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables Miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración , el trabajo de tesis titulado:

EPIDEMIOLOGÍA DE LA MARCHITEZ BACTERIANA *Ralstonia solanacearum* EN EL CULTIVO DE TOMATE *Lycopersicon sculentum* Mill. EN EL ORIENTE DE GUATEMALA

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarle mi agradecimiento.

Atentamente,

LUIS FERNANDO IZAGUIRRE DE LEÓN

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Gracias por darme vida, salud, fuerza, bendiciones continuas y por brindarme la oportunidad de alcanzar mis metas.

MIS PADRES: Carlos Augusto Manzo García (QEPD)
Lilian Anselma Izaguirre de León, gracias madre por tu incansable lucha para nuestra superación y formación en la vida.

MIS HERMANOS: Carlos Ovidio Izaguirre de León, José Leonardo, Suseth, Katheryn, Carlos Augusto Manzo. Especialmente Carlos Ovidio, gracias por tu apoyo, comprensión y cariño, ya que siempre hemos estado juntos en el camino de la vida. Y que este triunfo les sirva de ejemplo para su superación.

MI FUTURA ESPOSA: Mónica Gabriela Ebert García, gracias por tu apoyo incondicional, amor, paciencia y comprensión.

MI HIJA: Katheryn Gabriela Izaguirre Ebert, por ser mi inspiración, alegría y motivación en el largo camino de la vida.

MI FAMILIA EN GENERAL: Como muestra de cariño y respeto.

LAS FAMILIAS: Manzo García, Izaguirre de León, Ebert García, Florián Escobar, con mucho respeto.

MIS AMIGOS: Con aprecio hacia todos, por los buenos y malos momentos compartidos en el transcurso de nuestra formación. Especialmente a la promoción 1,998 – 2,000 de la Escuela Nacional Central de Agricultura – E.N.C.A.

A USTED: Con respeto.

AGRADECIMIENTO

A:

DIOS:

Fuente de vida, luz, amor y sabiduría, infinitamente agradecido padre eterno.

MI PATRIA GUATEMALA

País por el que siempre lucharé.

MI BELLO MUNICIPIO RABINAL, BAJA VERAPAZ

Tierra que me vio crecer.

ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA - E.N.C.A.

Por forjarme y darme la oportunidad de adquirir tus conocimientos, mi eterna gratitud.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA – U.S.A.C.

Tricentenaria Alma Mather de la educación superior en Guatemala.

FACULTAD DE AGRONOMÍA.

Por formarme profesionalmente, te agradezco FAUSAC.

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA – CONCYT.

Por insentivar la investigación agrícola.

AL Dr. GUSTAVO MORA AGUILERA CP, México.

Por su amistad y aportes realizados en esta investigación.

MI ASESOR

Dr. Edin Francisco Orozco, por su apoyo y comprensión en el desarrollo de ésta investigación.

A USTED:

Como una forma de respeto y agradecimiento.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
Índice general.....	i
Índice de cuadros.....	ii
Índice de figuras.....	iii
Índice de gráficas.....	iv
Índice de mapas.....	iv
1. Introducción.....	1
2. Definición del problema.....	4
3. Marco teórico.....	5
3.1 Marco conceptual.....	5
3.1.1 Marchitez bacteriana <i>Ralstonia solanacearum</i> en solanáceas.....	5
3.1.1.1 Reseña histórica.....	5
3.1.1.2 Clasificación actual.....	5
3.1.1.3 Características de la bacteria.....	6
3.1.1.4 Sitomatología de la enfermedad.....	7
3.1.2 Factores epidemiológicos de la marchitez bacteriana.....	8
3.1.2.1 Sobrevivencia de la bacteria.....	8
3.1.2.2 Diseminación de la bacteria.....	8
3.1.2.3 Diseminación a través de material de propagación.....	9
3.1.2.4 Diseminación a través de semilla botánica.....	9
3.1.2.5 Otros mecanismos de diseminación y transmisión.....	9
3.1.2.6 Temperatura y humedad.....	9
3.1.3 Cuantificación de enfermedades.....	10
3.1.3.1 Características de una buena evaluación.....	11
3.1.3.2 Aplicaciones de la fitopatometría.....	12
3.1.3.3 Errores que se cometen en una buena evaluación de enfermedades.....	12
3.1.4 Estimación de pérdidas.....	12
3.1.4.1 Método de la parcela experimental.....	13
3.1.4.2 Método de la planta individual.....	13
3.1.5 Distribución espacial.....	14
3.1.5.1 Terminología de distribución espacial.....	15
3.1.5.2 Colección de datos para estudio de distribución espacial.....	16
3.1.5.3 Metodología para el análisis de modelos espaciales.....	17
3.1.5.4 Análisis de doublet y runs.....	18
3.1.5.5 Análisis basado en cuadrantes.....	21
3.1.5.6 Construcción de mapas «mapping».....	21
3.1.5.7 Índices de dispersión utilizados para análisis espacial de enfermedades.....	22
3.1.5.7.1 Índices de dispersión de la varianza.....	22
3.1.5.7.2 Índice del tamaño de conglomerados.....	22
3.1.5.7.3 Índice de Lloyd.....	23
3.1.5.7.4 Índice de Morisita.....	24
3.1.6 Análisis temporal de enfermedades.....	24
3.1.6.1 Propuestas de Vanderplank.....	26
3.1.6.2 Modelos para analizar curvas de progresos de enfermedades.....	27
3.1.6.3 Selección y aplicación de los modelos.....	27
4.1.6.3.1 Modelo exponencial.....	29
4.1.6.3.2 Modelo monomolecular.....	29

4.1.6.3.3	Modelo logístico.....	30
4.1.6.3.4	Modelo Gompertz.....	31
4.1.6.3.5	Modelo log-logístico.....	31
4.1.6.3.6	Modelo Von Bertalanffy-Richards.....	32
4.1.6.3.7	Modelo Weibull.....	32
3.2	Marco referencial.....	34
4.	Objetivos.....	35
5.	Materiales y métodos.....	36
5.1	Localización del estudio.....	36
5.2	Área seleccionada.....	36
5.3	Fase de colecta de material vegetativo para obtención de aislamiento de la bacteria.....	36
5.4	Fase de aislamiento del patógeno.....	37
5.5	Prueba de identificación rápida de la bacteria <i>Ralstonia solanacearum</i>	37
5.6	Multiplicación y preservación de aislamientos de <i>Ralstonia solanacearum</i>	37
5.7	Cuantificación de la enfermedad en campos de cultivo.....	38
5.8	Construcción de mapas de la distribución geográfica de la marchitez bacteriana <i>Ralstonia solanacearum</i> en el oriente de Guatemala.....	38
6.	Resultados y discusión.....	39
6.1	Marchitez bacteriana e incidencia de la enfermedad.....	39
6.1.1	Principales factores que propician la marchitez bacteriana en la zona oriental de Guatemala.....	42
6.2	Distribución espacial de la marchitez bacteriana.....	45
6.3	Distribución temporal de la marchitez bacteriana en el oriente de Guatemala.....	61
6.4	Distribución geográfica de la marchitez bacteriana en el oriente de Guatemala.....	69
7.	Conclusiones.....	74
8.	Recomendaciones.....	75
9.	Bibliografía.....	76
10.	Anexos.....	78
Anexo 1.	Índice de dispersión de Lloyd y Morisita, proveniente del análisis de datos obtenidos de las parcelas delimitadas en la zona oriental de Guatemala 2,005.....	78
Anexo 2.	Modelos determinados mediante el programa SAS (Statistical Analysis System), en la distribución temporal de la marchitez bacteriana causada por <i>Ralstonia solanacearum</i> , en la zona oriental de Guatemala.....	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Ecuaciones diferenciales, formas integradas y formas linearizadas de los modelos utilizados para el análisis del progreso de las enfermedades de las plantas.....	28
Cuadro 2.	Condiciones climáticas registradas por el INSIVUMEH, para los departamentos del oriente Guatemala.....	34
Cuadro 3.	Incidencia de la marchitez bacteriana causada por <i>R. solanacearum</i> en la zona oriental de Guatemala, 2,005.....	41

- Cuadro 4. Listado de localidades registradas con GPS (Maguellan), para el estudio epidemiológico de la marchitez bacteriana *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de tomate *Lycopersicon sculentum* Mill. en el oriente de Guatemala.....70

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. *Ralstonia solanacearum* desarrollada en medio de cultivo 523 de Kado & Heskett (1970)....6
- Figura 2. Prueba de flujo bacteriano para el aislamiento de *Ralstonia solanacearum* a partir de un tallo de tomate con síntoma de marchitez bacteriana.....7
- Figura 3. Distribución espacial hipotética de individuos.....15
- Figura 4. Modelos utilizados para la descripción de curvas de progreso de enfermedades.....33
- Figura 5. Síntomas de marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* en cultivos del oriente de Guatemala.....40
- Figura 6. Factores que propician la diseminación de la bacteria *Ralstonia solanacearum* en cultivos del oriente de Guatemala.....44
- Figura 7. Lecturas realizadas en la parcela A (octubre - diciembre 2,005) en la aldea San Antonio, Monjas, Jalapa.....46
- Figura 8. Proyecciones de la intensidad de la marchitez bacteriana *Ralstonia solanacearum* en la parcela A (octubre – diciembre 2,005) en la aldea San Antonio, Monjas, Jalapa.....47
- Figura 9. Lecturas de incidencia de la enfermedad realizadas en la parcela B (julio – septiembre 2,005), en la aldea San Antonio, Monjas, Jalapa.....48
- Figura 10. Comportamiento evolutivo de la enfermedad en la parcela B (julio – septiembre 2,005), en la aldea San Antonio, Monjas, Jalapa.....49
- Figura 11. Lecturas de incidencia de la enfermedad realizadas en la parcela A (octubre – diciembre 2,005), en aldea La Esperanza, Agua Blanca, Jutiapa, 2,005.....50
- Figura 12. Distribución espacial de la marchitez bacteriana en el cultivo de tomate en la parcela A (octubre – diciembre 2,005), aldea La Esperanza, Agua Blanca, Jutiapa.....51
- Figura 13. Estudio de la distribución espacial de la marchitez bacteriana en la parcela B (octubre - diciembre 2,005), en aldea La Esperanza, Jutiapa.....52
- Figura 14. Proyecciones de la intensidad de la marchitez bacteriana *R. solanacearum*, en la parcela B (octubre – diciembre 2,005), en aldea La Esperanza, Agua Blanca Jutiapa.....53

Figura 15. Comportamiento de la intensidad de la marchitez bacteriana <i>R. solanacearum</i> , en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula (mayo – septiembre 2,005).....	55
Figura 16. Comportamiento de la intensidad de la marchitez bacteriana <i>R. solanacearum</i> , en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula (mayo – septiembre 2,005), vista en dos y tres dimensiones...56	56
Figura 17. Distribución espacial de la marchitez bacteriana <i>R. solanacearum</i> , en la parcela A (abril – julio 2,005), en aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso.....	57
Figura 18. Distribución espacial en dos y tres dimensiones de la marchitez bacteriana <i>R. solanacearum</i> , en la parcela A (abril – julio 2,005), aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso.....	58
Figura 19. Distribución espacial de la marchitez bacteriana <i>R. solanacearum</i> , de la parcela B (mayo – julio 2,005), en aldea Los Llanos, El Progreso.....	59
Figura 20. Distribución espacial en dos y tres dimensiones de la marchitez bacteriana <i>R. solanacearum</i> , en la parcela B (mayo – julio 2,005), en aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso.....	60

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva de la marchitez bacteriana en la localidad de San Antonio, Monjas, Jalapa, 2,005.....	61
Gráfica 2. Condiciones climáticas de las estaciones meteorológicas del departamento de Jalapa.....	62
Gráfica 3. Curva de progreso de la enfermedad de la marchitez bacteriana en la aldea La Esperanza, Agua Blanca, Jutiapa, 2,005.....	63
Gráfica 4. Condiciones climáticas de la estación meteorológicas del municipio de Asunción Mita, Jutiapa, 2,005.....	65
Gráfica 5. Curva de progreso de la enfermedad de la marchitez bacteriana <i>R. solanacearum</i> , en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, 2,005.....	65
Gráfica 6. Condiciones climáticas de la estación meteorológica del municipio de Jocotán, Chiquimula, 2,005.....	66
Gráfica 7. Datos climatológicos registrados en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, 2,005.....	67
Gráfica 8. Curvas de progreso de la marchitez bacteriana <i>Ralstonia solanacearum</i> , en la aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso, 2,005.....	68
Gráfica 9. Factores climáticos de la estación meteorológica del municipio de Morazán, El Progreso, 2,005.....	69

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Mapa de los departamentos del oriente de Guatemala.....	73
-----------------------------------------------------------------	----

EPIDEMIOLOGÍA DE LA MARCHITEZ BACTERIANA *Ralstonia solanacearum* EN EL
CULTIVO DE TOMATE *Lycopersicon sculentum* Mill. EN EL ORIENTE DE GUATEMALA

EPIDEMIOLOGY OF BACTERIAL WILT *Ralstonia solanacearum* IN THE GROWING OF TOMATO
Lycopersicon sculentum Mill. IN THE EAST OF GUATEMALA

RESUMEN

Ralstonia solanacearum (Smith, 1896) Yabuuchi et al., (1995), es la bacteria causante de la marchitez bacteriana (MB), principal enfermedad de origen bacteriano en el mundo desde su primera descripción por Smith en 1896 (Kelman, 1953; Sequeira, 1958; Dukes et al., 1965; Hayward, 1991).

La bacteria afecta más de 50 familias botánicas las cuales han sido citados como hospederas (Kelman, 1953; Buddenhagen & Kelman 1964; Hayward, 1994; Lopes, 1994; Lopes & Takatsu, 1997; Michel et al., 1996). Es un patógeno nocivo para plantas susceptibles en regiones tropicales y subtropicales del mundo, debido a que en las áreas donde prevalece, hay pérdidas importantes difíciles de cuantificar en la presencia de hospederos susceptibles y condiciones ambientales favorables al patógeno. Los cultivos de importancia económica más citados como afectados en el mundo por la marchitez bacteriana son papa, tomate, berenjena, tabaco, chile pimiento, banano jengibre y maní (Kelman, 1953; Persley, 1985; Hayward, 1994; Lopes, 1994; Lopes & Takatsu, 1997; Agrios, 1997).

La presente investigación, es parte del proyecto “Estudio de la variabilidad genética de la bacteria *Ralstonia solanacearum* y principales aspectos epidemiológicos que propician la marchitez bacteriana en tomate y chile en el oriente de Guatemala”, aprobado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), el cual se inició en mayo de 2005. Así, fue orientada al estudio de la epidemiología de la marchitez bacteriana de tomate en el oriente de Guatemala, donde se cuantificó la incidencia de la enfermedad, distribución espacial y temporal de la enfermedad en campos de cultivo de agricultores del oriente de Guatemala en plantaciones ya establecidas que presentaran problemas causados por esta fitobacteria.

La incidencia de la marchitez bacteriana a través del tiempo, en la zona oriental de Guatemala, se logró determinar mediante el previo establecimiento de parcelas de campo de 1,000 plantas a las cuales se les realizó 5 lecturas durante el desarrollo del cultivo en cada departamento. Las localidades en donde se

establecieron las parcelas para el estudio, fueron georeferenciadas mediante la utilización de GPS (Maguellan).

En el estudio se determinaron como principales aspectos epidemiológicos que favorecen la marchitez bacteriana en el cultivo de tomate en zonas productoras del oriente de Guatemala, la falta de cultivares de tomate resistentes a la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, deficiencias en labores de manejo del cultivo principalmente en el uso adecuado de agua de riego, calidad de agua, así como también no implementar la desinfestación de herramientas, zapatos, estacas o tutores, automóviles, motocicletas, tractores e implementos de mecanización agrícola.

La dispersión de la enfermedad acontece por falta de factores preventivos, ejemplo ausencia de pediluvios en la entrada del área de cultivo, excepto bajo condiciones de invernadero. Mal manejo del material vegetal postcosecha y frutos de rechazo provenientes de plantas infectadas por la bacteria, los cuales en su mayoría son colocados en los extremos de las áreas de siembra o a orillas de ríos, factor importante en la contaminación de agua para riego. Traslado de material y aperos de labranza de una terreno si considerar factores de riesgo.

Algunas malezas que crecen dentro de las áreas de cultivo de tomate favorecen la supervivencia de *Ralstonia solanacearum*. Especies botánicas como verdolaga *Portulaca oleracea* y hierba mora *Solanum americanum* son hospederas sintomáticas en campos de cultivo en el oriente de Guatemala.

La incidencia de la marchitez bacteriana en las diferentes parcelas estudiadas en la zona oriental de Guatemala fue variable. La enfermedad se manifiesta en todas la etapas del cultivo. Se cuantificó incidencia entre 1.87% hasta 64.46% durante el desarrollo del cultivo. Los valores son bajos al inicio de la enfermedad y se incrementan progresivamente.

La distribución espacial de la marchitez bacteriana en el oriente de Guatemala según los índices de dispersión de Lloyd y Morisita, se presentó de manera agregada o en focos en las primeras fases del cultivo entre los 15 - 30 días después de siembra y luego se uniformiza con el avance del desarrollo de la enfermedad y ciclo del cultivo. En el análisis temporal de la enfermedad, los modelos que se ajustaron a la serie de datos de incidencia obtenidos en el estudio de la marchitez bacteriana en las diferentes parcelas establecidas en la zona oriental de Guatemala fueron modelo monomolecular, weibull y logístico.

Producto de observaciones y análisis de éste estudio, se recomendó realizar investigación tendiente a la generación de genotipos resistentes a la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, como principal alternativa práctica, viable, y económica para solucionar el problema dado que los cultivares de tomate utilizados por los agricultores en el oriente de Guatemala en la actualidad (2006), son susceptibles al patógeno.

La implementación de rotación de cultivos en las parcelas infestadas con la marchitez bacteriana con gramíneas u otra familia diferente a solanáceas, uso de injertos con solanáceas resistentes al patógeno y modificación de fechas de siembra, pueden a corto plazo ayudar a disminuir el problema de marchitez bacteriana.

Se deben implementar prácticas de manejo integrado de la enfermedad, las cuales deben incluir exclusión en áreas libres del patógeno. Desinfestación continua de implementos agrícolas, construcción de estructuras para pediluvios en la entrada de la parcela de siembra, evitar traslado de equipo y materiales utilizados en parcelas con presencia de *Ralstonia solanacearum* a otras áreas libres de la enfermedad, utilización de plantas sanas en cada ciclo de cultivo, eliminación y quema de plantas infectadas con la bacteria en campos de cultivo, eliminación de restos de cosecha de las parcelas, uso de agua de buena calidad para riego, evitar encharcamientos dentro de las parcelas y mantener la plantación libre de plantas hospederas, entre otras prácticas, son necesarias para reducir la enfermedad.

Se deben instruir a los agricultores en el peligro que representa el tirar material post-cosecha y frutos provenientes de plantas infectadas con la bacteria en ríos, reservorios y otras fuentes de agua. De ser posible, procurar la legislación para evitar mayor diseminación del patógeno.

1. INTRODUCCIÓN

La marchitez bacteriana (MB), causada por *Ralstonia solanacearum* (Smith, 1986) Yabuuchi et al., (1995) (*Pseudomonas solanacearum* = *Burkholderia solanacearum*), es la principal enfermedad de origen bacteriana en el mundo desde su primera descripción por Smith en 1896 (Kelman, 1953; Sequeira, 1958; Dukes et al., 1965; Hayward, 1991). A partir de allí, es la principal enfermedad bacteriana más estudiada a nivel mundial.

La información disponible en el ámbito mundial sobre esta enfermedad es abundante, lo cual explica la importancia que se le ha dado a dicha bacteria y el interés de los científicos en tratar de solventar o resolver el problema.

Diversidad de plantas pertenecientes a más de 50 familias botánicas han sido relatadas como hospederas de dicha bacteria (Kelman, 1953; Buddenhagen & Kelman 1964; Hayward, 1994; Lopes, 1994; Lopes & Takatsu, 1997; Michel et al., 1996), los cultivos de importancia económica más citados como afectados en el mundo por la marchitez bacteriana son papa, tomate, berenjena, tabaco, chile pimiento, banano jengibre y maní (Kelman, 1953; Persley, 1985; Hayward, 1994; Lopes, 1994; Lopes & Takatsu, 1997; Agrios, 1997).

En nuestro país, los cultivos mencionados son de importancia puesto que éstos son destinados a agroexportación y consumo local. Por lo tanto, es de mucha importancia presentarles a los agricultores productores de cultivos afectados por esta fitobacteria alternativas técnicas orientadas al manejo integrado de la enfermedad, algo que evitará mayores daños en el futuro.

Asimismo, nuestro país posee una alta diversidad de flora, siendo considerado uno de los centros de biodiversidad genética más importantes de plantas en el mundo, esto permite mayor probabilidad de sobrevivencia de *Ralstonia solanacearum* puesto que dicha bacteria sobrevive de un ciclo de cultivo a otro en asociación a la rizosfera de plantas hospederas y algunas malezas (Orozco, 1997).

La presente investigación, es parte del proyecto “Estudio de la variabilidad genética de la bacteria *Ralstonia solanacearum* y principales aspectos epidemiológicos que propician la marchitez bacteriana en tomate y chile en el oriente de Guatemala”, aprobado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

(CONCYT), el cual se inició en mayo de 2005, en dicho proyecto se estudió la epidemiología de la enfermedad en el oriente del país.

Considerando la magnitud del problema que afrontan los agricultores con esta epifitía y la falta de información, se hizo necesaria la realización de esta investigación que brindará bases importantes para fines de manejo de la enfermedad.

En la actualidad, en la parte de aspectos epidemiológicos de la enfermedad no existen estudios, la información existente de este patosistema en Guatemala es pobre, por lo tanto, ésta investigación es pionera en nuestro país. En el estudio, se consideró cuantificar la incidencia de la enfermedad en campos de cultivo de los agricultores en plantaciones ya establecidas, así como también la distribución espacial y temporal de la enfermedad, además se estudió la distribución geográfica de la marchitez bacteriana y los principales factores epidemiológicos que propician la marchitez bacteriana en la zona oriental de Guatemala.

La distribución espacial, definida como el arreglo de entidades relativas de cada enfermedad (Gilligan, 1982) (11), mencionado por Campbell, CL.; Madden, LV. 1990 (7), proporcionó visión de cómo ocurre el proceso de marchitez en la posición espacial de la epidemia a través del tiempo en las plantaciones de tomate con los genotipos que usan los agricultores y en el ambiente donde el proceso se desarrolla. Esto permitió observar y considerar las asociaciones entre propágulos del patógeno o plantas enfermas. Las localidades donde se establecieron las parcelas para la realización de éste estudio fueron geo-referenciadas mediante la utilización de GPS, obteniendo así un mapa de las localidades afectadas por *R. solanacearum* en el oriente de Guatemala.

Para el estudio de la distribución temporal se marcaron 1,000 plantas por parcela, en donde se realizaron 5 lecturas de incidencia de la enfermedad durante el desarrollo del cultivo. Posteriormente fueron analizados los datos de cada lectura de incidencia de la enfermedad a través del tiempo obtenidos en el campo de cultivo por agricultor.

Son varios los factores epidemiológicos que propician la marchitez bacteriana. Los cultivares de tomate comerciales (silverado, sheriff, llanero) utilizados por los agricultores son susceptibles. Muchas prácticas agronómicas como frecuencia de riego y calidad de agua, mecanización, manejo de residuos post-cosecha, manejo de plagas y enfermedades, entre otras son deficientes. Principales variables ambientales

como textura de suelo, temperatura son favorables al patógeno. La época de siembra del cultivo, es estacionaria y se da en la época de lluvia, algo que favorece e incrementa el desarrollo de la enfermedad.

La distribución espacial de la enfermedad en las diferentes parcelas delimitadas tuvo un comportamiento al azar al inicio de la enfermedad, que normalmente ocurre entre 20 a 25 días, posteriormente se comporta de manera agregada o en focos y luego se manifiesta de forma uniforme en toda la parcela de cultivo.

Los datos de incidencia para las diferentes localidades fueron variables y se obtuvieron valores de 1.87% hasta 64.46% en diferentes fases del cultivo. En el análisis temporal de la enfermedad realizado en las diferentes localidades, los modelos que más se ajustaron a la serie de datos fueron el monomolecular, Weibull y logístico.

Las recomendaciones producto de análisis y observaciones en el oriente de Guatemala, deben ser tendientes a la búsqueda de cultivares con resistencia duradera, potencialmente la opción más práctica, efectiva y económica para enfrentar la marchitez bacteriana, no obstante tiene que ser parte de un sistema de manejo integrado. Es conveniente realizar investigación y asistencia técnica dirigida a la educación de los agricultores para superar algunos problemas agronómicos que favorecen la enfermedad.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La bacteria *Ralstonia solanacearum* (Smith, 1986) Yabuuchi et al., (1995), que ocasiona la marchitez bacteriana es la principal enfermedad de origen bacteriano en el mundo desde su primera descripción por Smith en 1896 (Kelman, 1953; Sequeira, 1958; Dukes et al., 1965; Hayward, 1991).

También constituye uno de los problemas más importantes para el cultivo de tomate en el oriente de Guatemala, ya que éste organismo se desarrolla básicamente en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, siendo Guatemala un ambiente adecuado para el desarrollo de ésta fitobacteria.

Los cultivos de importancia económica más citados como afectados en el mundo por la marchitez bacteriana son papa, tomate, berenjena, tabaco, chile pimiento, banano jengibre y maní (Kelman, 1953; Persley, 1985; Hayward, 1994; Lopes, 1994; Lopes & Takatsu, 1997; Agrios, 1997).

Estos cultivos son de importancia económica para nuestro país, ya que la mayoría de ellos son destinados para la agro-exportación así como para consumo local. Por lo tanto, es de mucha importancia presentarles alternativas técnicas orientadas al manejo integrado de la enfermedad a las personas dedicadas a la agricultura, evitando así mayores daños en el futuro.

Cuando las condiciones ambientales son favorables para el desarrollo de ésta bacteria, surgen los síntomas de la enfermedad con la consecuente pérdida del cultivo afectado. Esto hace probable que todo horticultor guatemalteco que realice siembra de un cultivo susceptible a *R. solanacearum* y en condiciones ambientales óptimas para la enfermedad contará con dicho problema.

Según López (2,004), dicha bacteria causa serios daños en campos de cultivo con pérdidas que van desde 23 a 25 % de la totalidad de plantas sembradas, en gran medida la producción agrícola en plantas infectadas (19).

De acuerdo a información proporcionada por los agricultores en el oriente de Guatemala, en cultivos como tomate, el problema inicia aproximadamente en la década de 1,990, desde aquella fecha, el problema se ha incrementado, en algunos casos ésta fitobacteria ha ocasionado el abandono de terrenos destinados a la producción de solanáceas y cultivos susceptibles a ésta enfermedad, reduciéndose así considerablemente las áreas cultivadas de 560 a 105 ha, así como la pérdida total de plantaciones en casos extremos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 MARCHITEZ BACTERIANA *Ralstonia solanacearum* EN SOLANÁCEAS

3.1.1.1 RESEÑA HISTÓRICA

No es conocido en que continente surgió *Ralstonia solanacearum*, si evolucionó separadamente en muchas localidades relacionado a progenitores de plantas modernas (6). Los informes de la marchitez severa en cultivos plantados por primera vez en suelos vírgenes en Indonesia, Centro América y Florida indican que el patógeno ha estado mucho tiempo presente en áreas extensamente separadas. Los cultivos más afectados el tabaco, tomate, berenjena, pimienta, papa y cacahuete (6).

R. solanacearum, también ha sido descrita como enfermedad severa en el cultivo de banano como “moko del banano”, desde 1,840 - 1,844 con las descripciones de Schomburg en sus viajes a British Guiana, citado por Sequeira (1997). Dicho autor describe que en el mismo siglo la enfermedad terminó con plantaciones enteras en Trinidad, particularmente de la variedad “Moko” (Bluggoe). De la susceptibilidad y permanencia de la enfermedad sobre esta variedad surge el nombre “moko del banano” Kelman (1953).

En Guatemala, *Ralstonia solanacearum*, es mencionado por Buddenhagen (1961), como uno de los afectados para dicho cultivo, así como también el área de América Central y Tapachula. Según Buddenhagen et al. 1962, citado por Sequeira (1997). De acuerdo a información proporcionada por agricultores del área oriental de Guatemala, en cultivos como tomate y chile, el problema inicia aproximadamente en 1,995.

3.1.1.2 CLASIFICACIÓN ACTUAL

De acuerdo con el análisis de secuencia del fragmento 16S de ARN ribosomal, se ha determinado que a nivel más alto *Ralstonia solanacearum*, es un miembro de la beta-subdivisión de la clase Proteobacteria (13). A nivel de especie, el agente causal de la marchitez bacteriana fue descrita, por primera vez, como *Bacillus solanacearum* (Smith 1986) (27).

Desde entonces ha sufrido modificaciones y ha recibido denominaciones y la nomenclatura dada en 1914, por el propio Smith como *Pseudomonas solanacearum* (Smith), la cual prevaleció por muchos años.

En 1992 fue reclasificada por Yabuuchi et al. 1992 (29). Dentro del grupo II de homología de rARN de Pellaroni et al. 1973 (23), como *Burkholderia solanacearum* (Smith). Entretanto, fue nuevamente reclasificada dentro del mismo grupo, pero como un nuevo género *Ralstonia*, el cual fue aceptado y validado por la IJSB (International Journal of Systematic Bacteriology) (1996) mencionado por Orozco (1997) (22).

El nuevo género fue creado para situar el grupo de homología de ADN distinto del grupo de la especie tipo *Burkholderia cepacia* con base en los datos de análisis filogenético de la secuencia de

nucleótidos de rADN de 16S, hibridación de rARN-ADN, análisis de lípidos celulares y de ácidos grasos, así como de las caracterizaciones fenotípicas (Yabuuchi et al., 1992) (29).

En éste nuevo contexto el género *Pseudomonas* pasó a formar parte del grupo de las especies fluorescentes (Grupo I) y las fitopatogénicas no fluorescentes quedaron distribuidas entre los géneros *Acidovorax* en el grupo III; *Burkholderia* y *Ralstonia* en grupo II.

Ralstonia solanacearum, presenta una elevada variabilidad intraespecífica, tanto a nivel bioquímico como de patogenicidad, por lo que ha sido clasificada de acuerdo al hospedero, distribución geográfica, patogenicidad, relaciones epidemiológicas y propiedades fisiológicas (13).

Según Orozco (1997), la raza 1 (Biovares, 1, 3 y 4) ataca gran número de plantas, incluyendo papa, tomate, berenjena, tabaco, solanáceas en general y algunas malezas. La raza 2 (Biovares 1, 3 y 4) afecta al banano y similares. La raza 3 (Biovar 2) es considerada específica de la papa, pero es asociada con otras solanáceas según Hayward (1991), Orozco (1997) (13, 22).

3.1.1.3 CARÁCTERÍSTICAS DE LA BACTERIA

Es Gram negativa, con forma de bacilos o bastones rectos o curvos, con dimensiones de 0.5 μ m x 1.5 a 4 μ m. Se desplazan por medio de uno o más flagelos polares. Muchas especies son habitantes comunes del suelo o ambiente marino y de agua dulce. La mayoría de las especies patógenas de éste género infectan a las plantas y solo algunas de ellas a los animales y al hombre. Dicha bacteria no produce pigmentos fluorescentes, debido a ésto se denominan no fluorescentes (1) Fig 1.



Fig. 1. *Ralstonia solanacearum* desarrollada en medio de cultivo 523 de Kado & Heskett (1970). Foto P. Agr. Luis F. Izaguirre de León.

3.1.1.4 SINTOMATOLOGÍA DE LA ENFERMEDAD

Los síntomas que se observan en el campo según Smith (1986), citado por López (2004), son: marchitez, enanismo y amarillamiento y flacidez del follaje por la infección de las plantas a partir de las raíces y colonización del sistema vascular del tallo de la planta. Estos pueden hacerse presentes en cualquier estado de desarrollo del hospedante. En plantas jóvenes de variedades altamente susceptibles, la infección provoca una severa marchitez del follaje, decaimiento de los tallos y a la vez que aumenta la aparición y desarrollo de raíces adventicias a lo largo del mismo (27).

Inicialmente solo una rama de la planta puede presentar la sintomatología, cuando el progreso de la enfermedad es violento, todas las hojas de una misma planta pueden marchitarse rápidamente sin que se observe un marcado cambio de color. Las hojas marchitas palidecen, tomando una coloración verde claro y finalmente se tornan de color castaño (27).

En los tallos jóvenes se puede observar a través de la epidermis unas rayas oscuras que corresponden a los haces vasculares colonizados infectados, taponados por enormes cantidades de material coloidal, originado por las bacterias lo que impide el paso de la sabia causando la marchitez de la planta (27).

Para demostrar la presencia de la bacteria en el tejido vascular, se extrae una sección del tallo enfermo y se coloca en un vaso de agua, por tensión superficial la porción del tejido flota quedando una parte sumergida y otra ligeramente sobre la superficie del agua. Observándose seguidamente a través de la pared del vaso el flujo bacteriano, que emerge del xilema en forma de hilos de color lechoso que se proyectan hasta el fondo (27) Fig. 2.



Fig. 2 Prueba de flujo bacteriano para aislamiento de *Ralstonia solanacearum* a partir de un tallo de tomate con sintoma de marchitez bacteriana. Foto Dr. Edin Orozco Miranda.

3.1.2 FACTORES EPIDEMIOLÓGICOS DE LA MARCHITEZ BACTERIANA

3.1.2.1 SOBREVIVENCIA DE LA BACTERIA

Existen informaciones antagónicas sobre la sobrevivencia de *Ralstonia solanacearum* en la literatura. El conocimiento de la bacteria es de mucha importancia para poder establecer un programa adecuado de rotación de cultivos y para eliminar los hospederos intermediarios. Permite la comprensión de aspectos epidemiológicos y evita la fuente de inóculo para la próxima plantación.

Granada & Sequeira (1983), citado por Orozco (1997), relataron que *Ralstonia solanacearum* en la naturaleza tiene baja capacidad de sobrevivencia en el suelo. Este patógeno sobrevive por períodos prolongados solamente cuando invade los tejidos de las raíces de las plantas.

Las altas poblaciones de bacterias, están asociados a infecciones sistémicas o localizadas en raíces de plantas hospederas resistentes o asintomáticas. Asimismo, el patógeno puede sobrevivir continuamente infectando plantas susceptibles o colonizando la rizosfera de plantas hospederas. Algunas especies botánicas son colonizadas endofíticamente; la bacteria penetra las raíces a través de aberturas naturales o artificiales y se distribuye en el tejido vascular (Kelman, 1953; Kelman, 1965), mencionado por Orozco (1997) (22).

De acuerdo con Sequeira (1958), citado por Orozco (1997), *Ralstonia solanacearum*, es un organismo sensible a la desecación y por lo tanto no sobrevive en el suelo por períodos prolongados, generalmente, es un organismo de difícil aislamiento a partir de tejidos de raíces y vive altamente protegido del ambiente en los vasos del xilema.

Según Lynch, citado por Glick (1995), las bacterias interactúan específicamente con las raíces de las plantas y de hecho, las concentraciones a las que son encontradas alrededor de las mismas, generalmente es mucho más numerosa, comparado con el resto del suelo.

Esto posiblemente refleje la presencia de altos niveles de nutrientes que son encontrados alrededor de las raíces y que pueden ser utilizadas para el crecimiento y metabolismo bacteriano. *Ralstonia solanacearum*, parece ser una bacteria adaptada a colonizar raíces de plantas como rizobacterias y con una patogenicidad con excepción a la regla que sucede en condiciones edafoclimáticas especiales.

Siendo así, la mayoría de las plantas hospederas pueden ser asintomáticas no susceptibles (Melo, 1995) citado por Orozco (1997) (22).

3.1.2.2 DISEMINACIÓN DE LA BACTERIA

Ralstonia solanacearum, es diseminada por agua de riego a partir de fuentes contaminadas, agua de lluvia al entrar en contacto con el suelo infestado por la bacteria, plántulas infectadas, suelo infestado,

tubérculos enfermos o con bacteria en fase latente, por prácticas culturales, herramienta de trabajo, maquinaria agrícola, insectos, nematodos, animales y humanos (31).

Seguidamente, se hace un análisis y discusión de los principales mecanismos de diseminación de la bacteria y las circunstancias en que ocurre la misma.

3.1.2.3 DISEMINACIÓN A TRAVÉS DE MATERIAL DE PROPAGACIÓN

Según Kelman et al. (1994), citado por Orozco (1997), los materiales de propagación vegetativa como tubérculos, rizomas y plántulas infestadas o infectadas, son los vehículos eficientes de diseminación de *Ralstonia solanacearum* a largas distancias y para nuevas plantaciones. De ésta forma, el material vegetativo es el principal factor de diseminación de la bacteria (22).

3.1.2.4 DISEMINACION A TRAVÉS DE SEMILLA BOTÁNICA

La diseminación a través de semilla ha sido comprobada en el cultivo de tomate y en maní, esto sucede cuando las semillas provienen de plantas infectadas por la bacteria y son plantadas inmediatamente o almacenadas con humedad arriba del 10% en un tiempo corto o reducido (Zhang et al., 1993) (31).

En la actualidad no hay ningún dato sobre la diseminación a través de semillas, más aparentemente, ellas no son vehículos importantes de diseminación de *Ralstonia solanacearum* (31).

3.1.2.5 OTROS MECANISMOS DE DISEMINACIÓN Y TRANSMISIÓN

Existen otros mecanismos de diseminación y/o transmisión. La importancia de éstos agentes varía de acuerdo con el hospedero, prácticas culturales y de factores ambientales, bióticos y abióticos (Orozco 1997) (22).

3.1.2.6 TEMPERATURA Y HUMEDAD

Según (Kelman, 1953), citado por Orozco (1997), la temperatura es fundamental para el desarrollo del patógeno y favorece el desarrollo de la enfermedad en el campo. Es uno de los factores más importantes en la distribución geográfica de la bacteria.

La marchitez bacteriana es una enfermedad que presenta mayor incidencia y severidad en las regiones tropicales, así como en las regiones de clima sub-tropical o templado, ella se manifiesta más y con mayor severidad en los períodos cálidos.

De modo general, las evaluaciones de patogenicidad de rutina, casi la totalidad de los aislados de biovar 3 y la mayoría de biovar 1 no producen síntomas de marchitez en los horarios más calientes del día que no estuvieren entre 20 a 35 °C o cuando la temperatura nocturna baja a menos de 20°C.

La temperatura y humedad alta influyen en el desarrollo de la enfermedad, según Goto (1992) (12), la marchitez bacteriana normalmente no se desenvuelve cuando la temperatura media es menor de 10°C, independientemente del pH. Hayward (1991), consultado por Orozco (1,997), describe que la temperatura es el factor más importante que afecta la interacción patógeno-hospedero y que el aumento de la temperatura ambiental de 30-35°C durante el día aumenta también la incidencia y la severidad de la marchitez bacteriana, pero no para todas las estirpes del patógeno. En este contexto, las plantas que eran resistentes o moderadamente resistentes pueden tornarse susceptibles a temperaturas más altas, siendo la resistencia, por lo tanto sensible a la temperatura y a la estirpe específica. Describe que aún no está claro éste cambio en la resistencia y que se debe al factor virulencia del patógeno que es la expresión de genes de resistencia del hospedero en temperaturas elevadas.

Según Orozco (1997), identificar las características de comportamiento de las diferentes estirpes del patógeno en relación del hospedero y en función de las diferentes condiciones de temperatura es un aspecto extremadamente importante para los conocimientos epidemiológicos y para las estrategias de control de la marchitez bacteriana. Estas características envuelven no solo los fenómenos de manifestación y de recuperación de la enfermedad que ocurren en las variaciones de temperatura, como también a la sobrevivencia o fluctuación poblacional del patógeno en raíces de diferentes plantas asintomáticas o no susceptibles (22).

3.1.3 CUANTIFICACIÓN DE ENFERMEDADES

Según Amorín, 1995; Agrios, 2002; Zadoks, 1979; Campbell; Madden, 1990; Juliatti; Santos, 1999, la cuantificación de enfermedades en plantas es designada por el término fitopatometría, la cual es una tarea importante y frecuentemente difícil de realizar.

En la estimación de la cantidad de las enfermedades de plantas, pueden ser utilizados métodos directos (donde la estimación de la cantidad de la enfermedad es hecha directamente a través de los síntomas) o métodos indirectos (donde la cantidad de la enfermedad es estimada por la población del patógeno) (5).

En general los métodos más utilizados en la cuantificación de las enfermedades son las escalas descriptivas, escalas diagramáticas, conteo del número y diámetro de lesiones, relación incidencia-severidad y sensoriamiento remoto (5).

El principal objetivo para la cuantificación de enfermedades es obtener datos cuantitativos y cualitativos sobre la ocurrencia y el desarrollo de las enfermedades.

Permite también, estudiar la evolución de las enfermedades en poblaciones del hospedero. Evaluar los daños absolutos y relativos causados por enfermedades en cultivos. Evaluar los efectos simples y las interacciones entre resistencia del hospedero, medidas sanitarias, uso de los funguicidas y otras medidas de control de las enfermedades. Evaluar la eficiencia técnica y económica de las medidas de control en cada etapa sobre los agroecosistemas. Establecer estrategias de control de las enfermedades y perfeccionarlas para la protección integral de cultivos. Cuidados en la planificación de cuando, cuanto, y donde la enfermedad será evaluada, son aspectos a considerar (5).

Dentro de los métodos directos cabe mencionar la incidencia, el cual es el método de mayor simplicidad, precisión y facilidad de obtención. Los datos obtenidos por conteo son reproducibles independientemente del evaluador, dichos datos pueden ser expresados en porcentaje. La incidencia es definida como el número o proporción de unidades de plantas enfermas (el número de plantas, hojas, tallos, frutos o raíces atacadas por surco, parcela, etc. que muestran cualquier síntoma) en relación al total de número de unidades examinadas (5).

Por medio de este proceso, es posible medir la intensidad de la enfermedad o sea el número de plantas que están visiblemente dañadas. Se expresa por ejemplo en: número de raíces con agallas, número de hojas o frutos con lesión, número de plantas con virosis, etc.

Es importante mencionar que desde el punto de vista de la cuantificación de daños, la utilización de la incidencia esta sujeta también a algunas limitaciones, en este caso, ella solo puede ser usada para aquellas enfermedades que atacan toda la planta, como virosis sistémicas y marchiteces vasculares o para aquellas en que una única infección es suficiente para impedir la comercialización del producto, como las pudriciones de frutos (Amorím, 1995) (3).

3.1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA BUENA EVALUACIÓN

Una buena evaluación de la enfermedad debe contemplar, precisión y reproductividad, ser eficiente y rápido. Además de las características de evaluación en si, algunos cuidados deben ser observados con el objetivo de reducir errores, poder interpretar las variaciones en la intensidad de la enfermedad a lo largo del tiempo y su efecto en la producción. Es importante la caracterización de los estados fenológicos del hospedero, en los cuales las enfermedades fueron evaluadas, fecha o caracterización de los componentes del clima durante el progreso de la epidemia, metodología utilizada en la evaluación (5).

3.1.3.2 APLICACIONES DE LA FITOPATOMETRÍA

Dentro de las diversas aplicaciones que tiene la fitopatometría se pueden mencionar las siguientes actividades que se pueden desarrollar con ésta:

- a) Estudiar una curva de progreso de la enfermedad o epidemias (evolución de la enfermedad)
- b) Evaluar la resistencia de cultivares a patógenos.
- c) Comparar la eficiencia y el momento de la aplicación de fungicidas en el control de enfermedades de plantas.
- d) Estudiar el efecto de métodos culturales y prácticas de manejo en el control de enfermedades de plantas.
- e) Determinar pérdidas de rendimiento de granos en función de la intensidad de la enfermedad (límite de daño económico).
- f) Auxiliar en la prevención de enfermedades de plantas
- g) Determinar razas del patógeno y potencial de inóculo
- h) Evaluar campos de semilla obedeciendo a padrones preestablecidos.
- i) Evaluación de tratamientos de control biológico de patógenos (5).

3.1.3.3 ERRORES QUE SE COMETEN EN LA EVALUACIÓN DE ENFERMEDADES

Normalmente se comete la tendencia a la superestimación o subestimación de la enfermedad. Esta tendencia es una característica del evaluador y lo comete durante el proceso de lectura. Otro problema surge de la ilusión proporcionada por la relación entre el tamaño y el número de lesión, pues muchas lesiones aparentan tener más enfermedad que pocas lesiones de tamaño mayor. Algunos evaluadores pueden incurrir en el error de repetir más determinadas preferencias, tales como 1.5, 5 y 10% (5).

3.1.4. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

Estimativas confiables de los daños causados por los patógenos son un pre-requisito para el desarrollo de cualquier programa de control de enfermedades.

La cuantificación de daños es, por tanto, un punto clave para la definición de cualquier estrategia de estimación y control.

Dentro de los métodos para la estimación de pérdidas, se pueden mencionar: el método de la parcela experimental y el método de la planta individual (5).

3.1.4.1 MÉTODO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

De todos los métodos relatados en la literatura, el método de la parcela experimental, es el más empleado frecuentemente. En el pasado, se utilizó bastante el llamado *tratamiento pareado*, que consiste de parcelas gemelas, sanas y enfermas. Cada par da origen a un conjunto de datos con diferentes intensidades de enfermedad y consecuentes daños.

Más recientemente, se ha dado preferencia a experimentos de tratamientos múltiples, en el que generalmente, más niveles de la intensidad de la enfermedad componen un mismo experimento. Un mínimo de tres repeticiones es suficiente para ambas. Los cálculos de daño, invariablemente, implican la determinación de la producción de las parcelas sanas. El daño es calculado, por tanto, como una diferencia de producción, entre las parcelas con diferentes niveles de enfermedad y parcelas sanas, usualmente se expresa en porcentaje (5).

3.1.4.2 MÉTODO DE LA PLANTA INDIVIDUAL

En este método, plantas enfermas y sanas sustituyen a las parcelas del método anterior. En un campo comercial o experimental son escogidas y etiquetadas de 50 a 2,000 plantas, para evaluar la intensidad de la enfermedad, finalmente las plantas escogidas son cosechadas cuando estas alcancen la madurez fisiológica.

La elección de las plantas se hace procurando representar la mayor variación posible de intensidad de la enfermedad. Al final, cada planta es considerada como un dato para el análisis de regresión (5).

A. VENTAJAS DEL MÉTODO DE LA PLANTA INDIVIDUAL

- a) Menor espacio y trabajo para instalar los experimentos,
- b) Campos comerciales pueden ser usados para la investigación,
- c) Una variación completa a nivel de intensidad de la enfermedad puede ser conseguida durante una única estación de cultivo,
- d) Resultados conclusivos pueden ser obtenidos en un espacio de tiempo considerablemente menor (5).

B. DESVENTAJAS DEL MÉTODO DE LA PLANTA INDIVIDUAL

Las desventajas, sin embargo, también existen: al comenzar por la mayor dificultad de cuantificación del fenómeno de compensación (plantas sanas que crecen al lado de plantas enfermas tienden a producir más,

minimizando el daño causado por el patógeno), pasando por la más filosófica restricción del uso de hechos conseguidos en un determinado nivel biológico de organización (planta individual) para prever lo que acontecerá en un nivel más elevado (población) y terminando en un aspecto más importante, la variación natural de producción que existe entre plantas individuales, que genéticamente son idénticas, debido, principalmente, a condiciones de ambiente (5).

Esta variación, muchas veces de magnitud superior a los propios daños causados por los patógenos, ha causado bajos valores para los coeficientes de determinación obtenidos en éste tipo de experimento (5).

3.1.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Los patógenos y enfermedades están asociados y varían en una estructura espacial. Esta asociación varía a lo largo de una forma continua de un grado alto de agregación al azar y de la aleatoriedad a un grado alto de regularidad, aunque esta última situación es probablemente bastante rara en plantas y otros patosistemas.

Algunos investigadores reconocieron el valor de medir o cuantificar el padrón de plantas enfermas dentro de los campos hace más de 40 años Bald, 1937 (4); Vanderplank, 1946, citado por Campbell & Madden (1990) (7).

Padrón espacial en epidemiología puede estar definido como el arreglo de individuos enfermos y la arquitectura del cultivo hospedero de cada enfermedad (Gilligan, 1982) (11) mencionado por Campbell & Madden, (1990) (7). El arreglo se origina directa o indirectamente de acuerdo a factores físicos, biológicos, y ambientales (Taylor, 1984) (28).

El análisis de éste modelo proporciona la visión en las características espaciales de epidemias y permite el desarrollo de hipótesis biológicas y ambientales creíbles para considerar las asociaciones entre propágulos del patógeno o las plantas enfermas.

El análisis de los modelos espaciales, también proporciona la información cuantitativa sobre la dinámica de la población de propágulos del patógeno y agrega una dimensión importante a los estudios en la dinámica temporal de los patógenos de la planta.

La descripción de las características espaciales de los patógenos y las plantas enfermas es esencial para actividades de modelación y simulación, para el diseño de experimentos, para los programas epidemiológicos de la enfermedad y estudios de manejo.

3.1.5.1 TERMINOLOGÍA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

En la literatura ecológica y cada vez más en la literatura fitopatológica, se menciona que existe confusión en el uso del término distribución (Pielou, 1977) (24).

La distribución se ha usado en un sentido familiar como un sinónimo para el término padrón “pattern”, arreglo o dispersión y en un sentido estadístico significa la manera en que el valor de la variante difiere en las frecuencias y se distribuyen en varias clases.

Para evitar la ambigüedad es muy deseable usar la palabra distribución sólo en su sentido estadístico. Entonces una variante tiene una distribución, considerando que una colección de organismos tiene un padrón “pattern” para quienes prefieran usar distribución por padrón “pattern” siempre deben agregar la palabra con espacial Campbell & Madden, (1990) (7).

Tres clasificaciones son normalmente usadas para describir la distribución espacial de individuos en una población de patógenos o plantas enfermas: 1) regular, 2) al azar y 3) agregada, agrupado o en focos. (Fig. 3).

Una distribución espacial regular representa una baja dispersión uniforme del patógeno. Una distribución al azar equivale a una dispersión independiente de individuos, finalmente, una distribución espacial agregada o en focos equivale a un arreglo en grupos de plantas enfermas. Es más fácil de dibujar varios tipos de distribución espacial que definirlos Campbell & Madden, (1990) (7).

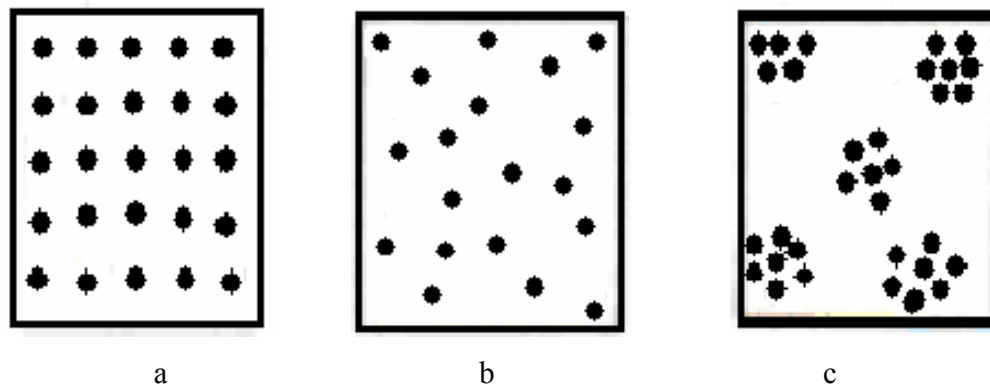


Fig. 3 Distribución espacial hipotética de individuos. Cada punto representa una planta enferma o el propágulo de un patógeno: a) regular, b) al azar y c) agregada, o en focos, según Campbell & Madden, (1990) (7).

Los tres tipos de distribución espacial representan una continuidad de dispersión espacial. Esta continuidad se ilustra por la relación entre la varianza de la población (σ^2) y la media (μ) para cada tipo, si la variable analizada es discreta, que es, una planta individual o propágulo del patógeno.

Para un padrón regular, la varianza es menor que la media ($\sigma^2 < \mu$); para un padrón (pattern) al azar, la varianza y la media son iguales ($\sigma^2 = \mu$) y para una distribución agregada o en focos, la varianza es mayor que la media ($\sigma^2 > \mu$) Campbell & Madden, (1990) (7).

3.1.5.2 COLECCIÓN DE DATOS PARA ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

En la descripción y comparación de las curvas de progreso de la enfermedad, la confiabilidad y la utilidad de la información obtenida del análisis del padrón espacial de los propágulos del patógeno, los vectores, o las enfermedades, dependen en la confiabilidad de los datos usada en el cálculo para ese análisis.

La interpretación ecológica exitosa eventual del padrón espacial de enfermedades u organismos depende de la habilidad del investigador al obtener adecuadamente los datos precisos y exactos. Un aspecto importante en la calidad de los datos concernientes al padrón espacial es la unidad de muestreo.

Pielou (1977) (23), perfiló tres tipos básicos de situaciones que ocurren cuando se considera una unidad de la muestra para el análisis espacial de organismos biológicos.

A. **Primer caso:** Se confinan los organismos y enfermedades a sitios habitables discretos o unidades e individuos (son discretos), En tal caso, una unidad de muestreo natural está presente. Los ejemplos de éste tipo de unidad de muestreo incluyen las lesiones en las raíces, tallos, hojas, o frutos.

En cada caso, el órgano de la planta individual o la propia planta se vuelve la unidad de la muestra discreta y se puede contar el número de lesiones por la unidad.

B. **Segundo caso:** Los individuos son discretos pero el organismo ocupa una continuidad en el espacio y no hay ninguna unidad natural de muestreo discreto. Ésta es una situación común para patógenos de suelo de plantas, algunos insectos vectores de virus, fitoplasmas y plantas infectadas sistémicamente, así, si el número de propágulos o individuos por la unidad será determinado, la unidad de la muestra puede ser definida arbitrariamente. Un cuadrante o cuadrado de un tamaño predeterminado se usa a menudo para el muestreo.

Como una alternativa, la fila de la plantación puede usarse como la unidad de la muestra para algunos cultivos.

C. **Tercer caso:** No hay unidad natural de muestreo y no hay ningún individuo claramente delineado que pueden ser contados, en ésta situación, los organismos ocupan un espacio continuo y crecen por la reproducción vegetativa a través del espacio disponible a ellos, se menciona como ejemplo el hongo *Rhizoctonia solani* que puede ser muestreado durante periodos de crecimiento vegetativo activo (24).

Una vez la unidad de muestreo fue definida, pueden coleccionarse los datos y ser analizados basándose en:

1. El arreglo de plantas infectadas y sanas a lo largo de las filas o hileras de la plantación para una vista en una dimensión de modelo espacial.
2. Para una vista bidimensional, los cuadrantes colocados al azar, o en las cuadrículas inmediatas.
3. Las dimensiones de distancia entre las plantas infectadas y las plantas saludables.

Algunos de los beneficios que brindan los acercamientos analíticos, es la oportunidad de determinar si un modelo es aleatorio o no aleatorio y para obtener la información sobre el tamaño del agrupamiento o foco y presencia de agregación, orientación, y grado de agrupamiento.

El área total de muestreo también debe ser considerada. Si se está caracterizando el modelo de un patógeno del suelo, se debe muestrear áreas en el campo dónde el patógeno habita principalmente.

Los resultados falsos del padrón espacial podrían ocurrir si un campo grande fue muestreado solamente en el área central de cualquier propágulo. Valores cero para los cálculos del cuadrante producirían estimaciones artificiales de densidad y agregación, por consiguiente deben hacerse los análisis seleccionando el área de la muestra, porque 0 cálculos son aceptables en los cuadrantes en una área dónde hay algunos cuadrantes con conteos > 0 (7).

3.1.5.3 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE MODELOS ESPACIALES

Las técnicas para analizar los padrones espaciales de plantas enfermas, patógenos o los propágulos entran en tres categorías generales basadas en el tipo de datos adquiridos: la primer categoría, se basa en la posición de plantas saludables o enfermas dentro de una fila o serie de filas; la segunda categoría, está basada sobre el cuadrante o parcela donde se tomaron los datos y la tercera categoría, sobre las distancias medidas.

La opción de qué categoría puede emplearse en una o dos dimensiones deben ser decididas por las necesidades del investigador. Por ejemplo, es factible determinar el número de propágulos de hongos o nematodos en un volumen dado de suelo, pero no para determinar la distancia entre los individuos.

Igualmente, con las enfermedades foliares, puede ser posible contar números grandes de lesiones sobre las hojas, pero casi imposible para determinar las distancias entre todas ellas.

En algunas escenas agronómicas, como con plantas de la fila, es más significativo para determinar el número de las plantas individuales en una clase de severidad de la enfermedad dada dentro de cada parcela o cuadrante que la distancia entre las plantas porque el espacio de la fila es fijo considerando que las distancias entre plantas pueden variar. Entonces contar los cuadrantes, ha sido usado frecuentemente en los estudios con los patógenos de las plantas.

En un ecosistema del bosque dónde se espacian los árboles al azar o en una situación agronómica u hortícola dónde se establecen las plantas en latices (con el espacio de la planta y las filas equidistante), en las dimensiones de distancia, pueden aplicarse clases de distancia para las plantas infectadas en los análisis de padrones espaciales (7).

3.1.5.4 ANÁLISIS DOUBLET Y RUNS

El análisis del Doublet fue introducido para fitopatólogos por Vanderplank (1946), citado por Campbell & Madden, (1990) (7), para detectar si plantas enfermas en un campo se enfermaron de manera homogénea, tuvieron ocurrencia al azar o no al azar, dentro de las filas de plantas.

Esta forma de análisis es apropiada para el caso especial de hábitat discretos (plantas) y cuando la escala de medición es discreta y binaria (enferma o saludable). Sin embargo, si se trata de la severidad de la enfermedad, los datos binarios pueden ser producidos codificando todo los valores sobre la severidad del medio, como 1 (o +) y debajo de la mediana como 0 (o -).

Al tratar con las sucesiones de objetos, al azar y no al azar tiene más definiciones especializadas. El azar significa que todos los arreglos de plantas enfermas y saludables son igualmente posibles. No al azar, indica una agrupación (focos) de plantas enfermas o un arreglo regular de plantas enfermas y saludables Campbell & Madden, (1990) (7).

Un Doublet, consiste en dos plantas enfermas adyacentes. Dos plantas enfermas adyacentes forman un Doublet igual, tres plantas enfermas adyacentes equivalen a dos Doublets iguales y así sucesivamente. El número total de Doublets en una hilera es representado por D .

Si las plantas enfermas fueran el resultado de un patógeno que se mueve de planta en planta, o hubo otras causas de agruparse, como las condiciones ambientales, se esperaría una agregación de plantas infectadas. Entonces habrá muchos Doublets. Si hubo un arreglo al azar de plantas sanas y enfermas, el número correspondiente de Doublet podrá ser bajo. La hipótesis nula evaluada es que la sucesión es al azar; la hipótesis alternativa es que la sucesión es en grupos o focos. Bajo la hipótesis nula de aleatoriedad, el número esperado de Doublet $[E(D)]$ se da por

$$E(D) = \frac{m(m-1)}{N} \quad \text{Eq. 1}$$

Donde m es el número de plantas infectadas y N es el número total de plantas en la fila. D será mayor que $E(D)$ cuando allí están agrupadas las plantas infectadas. Cuánto D es más grande, debe ser dependiendo de la variabilidad de D , que es medido por su desviación estándar.

La desviación normal de $D[s(D)]$ bajo la hipótesis nula de aleatoriedad se da por:

$$s(D) = \left[\frac{m(m-1)}{N} \left(1 - \frac{2}{N} \right) \right]^{1/2} \quad \text{Eq. 2}$$

Si $N > 20$, una prueba para la aleatoriedad se da por:

$$Z = \frac{D - E(D)}{s(D)} \quad \text{Eq. 3}$$

En donde Z tiene una distribución normal estandarizada. Porque en general la hipótesis alternativa está agrupada y no sólo al azar, la prueba es unilateral. Es común combinar las filas adyacentes para el análisis. Un observador leería a una fila y abajo el próximo, y así sucesivamente. Si hay n filas y N plantas por fila, el análisis es realizado en una fila arbitraria con nN plantas.

Cuando se combinan datos para las filas adyacentes, el número esperado de Doublets bajo la asunción de aleatoriedad se da por:

$$E(D_c) = (N - n) \frac{m(m-1)}{N(N-1)} \quad \text{Eq. 4}$$

En donde $E(D_c)$ es el número esperado de Doublets “corregido” para las filas combinadas.

Según Campbell & Madden, (1990) (7). Encontrar que ambos Doublets corregidos dieron los resultados más arbitrarios, por ejemplo: el análisis de Doublets siempre indicó aleatoriedad y el análisis de Doublets corregido siempre indicó agrupaciones o focos y altos niveles de incidencia de la enfermedad.

Debido a esta discordancia y porque los paquetes estadísticos normales no pueden realizar los análisis de los Doublets, se propuso el “*ordinary runs análisis*” para descubrir las plantas agrupadas o en focos infectadas en las filas según Madden et al. (1982), mencionado por Campbell & Madden, (1990) (7).

Un “run”, es definido como una sucesión de plantas enfermas o saludables. El número esperado de “runs” bajo la hipótesis nula para distribuciones aleatorias está dada por:

$$E(U) = 1 + \frac{2m(N-m)}{N} \quad \text{Eq.5}$$

Según Gibbons, 1976 consultado por Campbell & Madden, (1990) (7). El número observado de “runs” será menos de $E(U)$, si tiene una distribución agrupada o en focos de plantas infectadas.

La desviación estándar de U bajo la hipótesis nula de aleatoriedad está dada por:

$$s(D) = \left(\frac{2m \left[\frac{N - m}{N} \right] \left[\frac{2m(N - m) - N}{N} \right]}{N^2 (N - 1)} \right)^{1/2} \quad \text{Eq. 6}$$

Una prueba normal es: $Z = [U - E(U)]/s(U)$, es usada para determinar una distribución agrupada o en focos, con un valor de Z menos de -1.64 indicando agrupaciones ($P = 0.05$). A menudo una corrección de continuidad (0.5) se agrega al numerador de Z a probar según (Gibbons, 1976), consultado por Campbell & Madden, (1990) (7).

Cuando $N < 20$, la prueba normal no es válida; sin embargo, las tablas especiales están disponibles para las muestras pequeñas según (Gibbons, 1976), consultado por Campbell & Madden, (1990) (7). Debe darse énfasis a que éstas pruebas no son las más poderosas para detectar la aleatoriedad cuando N es menor de 20.

Hay varios acercamientos para combinar los resultados de la fila. Con éstos simplemente se podría calcular los “runs” y las estadísticas asociadas, tomando los datos de una fila y abajo la próxima, como fue discutido anteriormente. La última planta de la hilera es considerada continua a la primera planta de la hilera $i + 1$. Debido al tamaño de la muestra grande (la longitud de la fila hipotética = nN), $s(U)$ se torna muy pequeña y es bastante fácil de concluir que hay una sucesión en agrupaciones o focos de plantas enfermas.

Esto se encontró de hecho por Campbell & Madden, (1990) (7), al analizar el modelo de planta de maíz infectado por el virus del mosaico enano.

En la mayoría de los campos, había un declive en Z a los valores negativos grandes (o una probabilidad aumentada de agruparse o focalizarse), como incidencia de la enfermedad aumentó.

Un segundo acercamiento al problema de algunos es calcular Z (o P [logrando la significancia]) para cada fila y determinar el porcentaje de filas con los padrones en agrupamientos (Campbell et al., 1984) (8), según Madden et al., 1987), consultado por Campbell & Madden, (1990) (7).

Porque es improbable que la sucesión de las enfermedades de las plantas sea el mismo en cada fila, sabiendo que, por ejemplo, 70% de las filas tienen plantas enfermas agrupadas o focalizadas es la información útil. Los resultados de cada fila se combinan de otra manera calculando primero el nivel de significancia (P) para cada fila según (Upton; Fingleton. 1985), mencionado por Campbell & Madden, (1990) (7).

Una prueba global para la aleatoriedad se da por:

$$V = -2 \sum_i^n \ln(P_i)$$

En donde i representa la i -ésima fila. V tiene una distribución chi-cuadrada con los grados de libertad (gl) igual a $2n$, y n igual al número de filas.

Un acercamiento final, es usar la forma dimensional de análisis de los “runs” ordinarios. Parece ser un semejante procedimiento, sin embargo, parece ser aburrido para la mayoría de situaciones. Una alternativa para arreglar bidimensionalmente los “run” ordinarios es el análisis utilizado por Jeger et al. (1987), consultado por Campbell & Madden, (1990) (7), construyó látice abstracta comprendida de símbolos de 0 y 1, haciendo transectas por las filas a $l - m$ intervalos de m y grabando un 1 si las transectas cruzaran una planta enferma seguidos y 0 si las transectas cruzaran una planta saludable. Así ellos construyeron un $l \times n$ la matriz con n filas y l transectas. Ellos usaron los análisis de los “runs” ordinario, entonces a lo largo de las transectas (por las filas) y dentro de las filas.

3.1.5.5 ANÁLISIS BASADO EN CUADRANTES

Existen varios acercamientos básicos para el análisis de la dispersión espacial, basado en los datos calculados en el cuadrante, dentro de los cuales se puede mencionar: técnica de hacer un mapa (mapping), evaluando bondad de ciertas distribuciones discretas a los datos del cálculo de frecuencia “Discrete Distributions”, los índices de dispersión, las variaciones de cuadrantes y determinando el grado de autocorrelación espacial entre los cuadrantes. Estos acercamientos básicos varían en su base estadística, volumen de información, y facilidad de aplicación.

3.1.5.6 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS “Mapping”

Es una de las técnicas más ampliamente aplicadas para el análisis del modelo espacial. Es relativamente barato, proporciona una visualización rápida de distribución espacial que puede estar presente, y es simple realizarlo. Los mapas son proyectados en dos y tres dimensiones proporcionando una representación detallada de los datos. Mapas de perfil de datos reales generada usando los algoritmos suavizadores que permiten visualizar los datos en modelos discernibles o agrupados pero se puede disimular detalles significantes de los datos originales. Alguna forma de cartografía debe usarse como un primer paso en cualquier análisis del modelo espacial y puede ser bastante apropiado para las relaciones discernidoras entre densidad del propágulo o severidad de la enfermedad y otras variables de interés como las

características edáficas según Noe & Pregonero, 1985a; Goodell & Ferris. 1980, citado por Campbell & Madden, (1990) (7), o efectos del cultivo.

3.1.5.7 ÍNDICES DE DISPERSIÓN UTILIZADOS PARA ANÁLISIS ESPACIAL DE ENFERMEDADES

Los índices de dispersión o agregación, proveen una medida del grado de agregación espacial en una población. Estos índices, son relativamente simples de calcular e interpretar. Dentro de los índices más utilizados se pueden mencionar:

- a. Índice de dispersión de la varianza.
- b. Índice del tamaño de conglomerados.
- c. Índice de Lloyd.
- d. Índice de Morisita.

3.1.5.7.1 ÍNDICES DE DISPERSIÓN DE LA VARIANZA

La dispersión de la varianza (VM), es un índice simple de dispersión para estimar y constituye la base conceptual de muchos otros índices.

El índice es calculado utilizando datos de todos los cuadrantes y dividiendo la varianza por la media de la muestra así:

$$VM = s^2/x$$

Donde s^2 , es la varianza de la muestra y x , es la media de la muestra. VM, es un estimador de σ^2/μ y es expresado para un patrón espacial regular cuando es <1 , para un patrón al azar $=1$ y cuando el valor de $VM >1$, es expresado para un patrón espacial agregado o en focos. (Figura 5). El valor esperado de 1 para una estructura aleatoria está relacionado con la idea de que la distribución de Poisson ($\sigma^2 = \mu$), la cual, es apropiada para describir los datos de recuento de frecuencia para una estructura aleatoria. (7).

3.1.5.7.2 ÍNDICE DEL TAMAÑO DE CONGLOMERADOS

Este índice, es una variación de la dispersión de la varianza (VM), el cual es a veces utilizado como un índice de agregación, éste índice está dado por:

$$ICS = VM - 1$$

En cuál significa que este, puede estar interpretado como el número de organismos individuales, seleccionados al azar. Además de usar VM ó ICS, como un índice del conjunto de organismos, el

investigador puede llevar a cabo un evento formal estadístico de agregación. Esto puede estar mostrado como:

$$C = (n - 1)VM$$

La anterior expresión tiene una distribución chi-cuadrada, (χ^2) con n-1 grados de la libertad bajo la hipótesis nula de la aleatoriedad. El investigador, puede concluir un dibujo muy agregado, pero no se debe confundir con una estadística chi-recta general.

3.1.5.7.3 ÍNDICE DE LLOYD

Este índice de dispersión, también puede ser utilizado para indicar la relativa dispersión o agregación de una población de individuos. Éste índice se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$LIP = (x + s^2/x - 1) / x$$

Donde $x + s^2/x - 1$, es definida como el índice de la media de Lloyd (m^*), el número de media por persona individual de otras personas individuales en el mismo cuadrante. La media de Lloyd (m^*) puede también ser interpretada como el número de otras personas individuales que son contenidas en un cuadrante que contiene a una persona individual elegida al azar.

La teoría original lógica para LIP (Lloyd, 1967), es que el índice representa muchas agregaciones de muchos individuos, sobre el promedio una persona individual, el cual se da si la población cuenta con una estructura aleatoria debido a que (m^*), debe aumentar con la media. Sin embargo, como se dijo anteriormente, no hay independencia inherente de LIP y la densidad con los datos legítimos.

La razón biológica fundamental para LIP, es que puede ser aplicable a los agentes patógenos de plantas o a plantas afectadas, pero no ha sido puesta a prueba por fitopatólogos. El índice es por consiguiente usado empíricamente para los propósitos de comparación solamente y los valores de LIP, tienen interpretaciones similares con respecto al modelo espacial como valores de s^2/x .

Lloyd 1967, presentó un método para determinar los intervalos de confianza para el índice de la irregularidad sobre la base de la suposición de la distribución binaria negativa y describió los datos de recuento, una suposición que no puede estar siempre justificada.

Reed (1983), ha sugerido un sólido procedimiento para la estimación de los cálculos de intervalo de confianza para algunos índices, incluyendo el índice de la irregularidad de Lloyd (7).

3.1.5.7.4 ÍNDICE DE MORISITA (I_{δ})

Este índice de dispersión, fue propuesto por Morisita (1959, 1962, 1964), el cual es calculado mediante la utilización de la siguiente expresión:

$$(I_{\delta}) = \frac{n [\sum x(x-1)]}{\sum x (\sum x - 1)} \quad \text{ó} \quad (I_{\delta}) = \frac{n [\sum (x^2) - \sum x]}{(\sum x)^2 - \sum x}$$

Donde x representa el recuento de cada muestra (cuadrante). Morisita, obtuvo éste índice para medir la variabilidad en la densidad entre grupos relativamente grandes de personas individuales usando la teoría de la diversidad ecológica.

Cuando matemáticamente Morisita derivó este índice, I_{δ} resultó ser independiente del tamaño del cuadrante a evaluar.

Luego de calcular para los mismos datos, los valores de I_{δ} y LIP, éstos resultaron ser numéricamente similares (Upton y Fingleton, 1985), consultado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990 (7).

En dónde el índice de Morisita se representa con la siguiente ecuación:

$$(I_{\delta}) = \frac{nx(LIP)}{nx - 1}$$

3.1.6 ANÁLISIS TEMPORAL DE ENFERMEDADES

Si la cantidad de la enfermedad presente en una población de plantas es registrada o valorada varias veces, los resultados pueden ser presentados colectivamente como una curva de progreso de enfermedad.

Esta curva de progreso de enfermedad, es el gráfico de la intensidad de enfermedad versus alguna medida del tiempo (días, meses, años), la cual representa una integración de todos los hospederos, agentes patógenos y los efectos ambientales ocurridos durante el desarrollo de la epidemia y suministra una oportunidad para analizar, comparar y comprender las epidemias de enfermedades de plantas (7).

Las curvas de progreso de enfermedad pueden ser elaboradas para las enfermedades causadas por cualquier agente patógeno en cualquier población de plantas y las plantas pueden ser plantas anuales o plantas perennes que crecen en una zona templada, subtropical o tropical, y las enfermedades pueden existir principalmente sobre raíces, tallos, hojas, frutas, o cualquier combinación de estas partes de la planta (7).

La escala del tiempo puede ser relativamente breve (algunas semanas) o mucho tiempo (varios años) y puede ser medido en días o sobre una base fisiológica de las plantas. El patosistema puede involucrar la naturaleza o especies cultivadas de plantas y puede ocurrir en un hábitat natural o dirigido.

Para cada epidemia, el tiempo de inicio de la enfermedad (y_0), la tasa de incremento de la enfermedad (r), el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC), la forma de la curva, la máxima ($y_{max.}$) y final (y_f) tasa de enfermedad y la duración en conjunto de la epidemia puede ser condicionada por la inspección, interpolación, extrapolación o puede estar estimada estadísticamente (7).

Para epidemias que no son limitadas por lo riguroso de la cosecha de un cultivo anual o la pérdida de hojas de cultivos perennes, lo continuo o discontinuo de las fases de la epidemia, la tasa de aumento o reducción de la enfermedad durante cada fase y todas las características identificadas arriba, pueden estar descritas, cuantificadas y comparadas. Las epidemias de este tipo son más probables de ocurrir en zonas climáticas tropicales o semitropicales sobre cultivos perennes.

El propósito del análisis temporal de una epidemia, o la colección de las epidemias, condiciona la precisión necesitada y la complejidad del análisis. En general, tres distintos niveles de análisis son posibles.

Un nivel pide las comparaciones groseras entre los tratamientos experimentales como cultivares y fungicidas con tal de evaluar las estrategias de manejo para enfermedades. Poco esfuerzo es gastado para elaborar un modelo del progreso de enfermedad o interpretar las curvas de progreso de enfermedad. Este nivel es quizás el tipo más aplicado para análisis y es usado exhaustivamente (Fry, 1982; Berger, 1977, 1988).

En un segundo nivel más complicado, los cambios en los factores ambientales específicos, el agente patógeno o biotipos de vector, resistencia de la planta dentro de un patosistema, producen los cambios en la epidemia que son reflejados por las alteraciones en la curva de progreso de enfermedad. Los modelos del progreso de enfermedad son usados y las diferencias en curvas son interpretadas.

El tercer nivel del análisis corresponde a epidemiología comparativa (Kranz 1974b, 1978, 1988b; Palti y Kranz, 1980), consultado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990. El propósito es identificar similitudes y las diferencias entre las epidemias sobre la base de la naturaleza o el comportamiento de curvas de progreso de enfermedad y evaluar teorías con respecto a los elementos que sirven como los principales factores determinantes durante el aumento de las enfermedades de plantas (7).

En cuanto al propósito del análisis temporal de las epidemias que ha sido establecido, hay algunos enfoques generales o las metodologías que pueden ser usadas. El enfoque más apropiado para un análisis temporal en particular depende del propósito específico del análisis y la cantidad y calidad de los datos del progreso de la enfermedad disponibles (7).

Las aproximaciones para el análisis de los datos del progreso de enfermedades, no son mutuamente exclusivos, sino que pueden ser de ayuda para un enfoque apropiado y útil de un estudio en particular. En un enfoque de estudio de epidemias, son utilizados uno o algunos parámetros descriptivos, como el aumento del

progreso de la enfermedad. Para ésta aplicación, el tipo más común de modelos, es aplicado sobre la curva de crecimiento que ha sido adaptada a otras disciplinas científicas como ecología, aplicado al estudio animal (7).

Los modelos de curva de crecimiento pueden ser utilizados como modelos biológicos o como modelos empíricos o estadísticos.

Uno segundo planteamiento, es la descripción sinóptica del desarrollo de enfermedad utilizando un cuantificador como el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC) (Shaner y Finney, 1977; Fry, 1978), consultado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990. En este enfoque solamente el nivel de enfermedad y duración de la misma son considerados, sin hacer ninguna de las suposiciones relacionadas con modelos de curvas de crecimiento que pueden ser apropiados para describir la epidemia (7).

Un tercer enfoque es uno en el que ningún parámetro o valor variable son utilizados para caracterizar la epidemia entera, pero el nivel de enfermedad cada vez es comparado a través de la observación de repetidas medidas de la enfermedad como lo aplicado en análisis estadístico (7).

3.1.6.1 PROPUESTAS DE VANDERPLANK

La manera en que los fitopatólogos consideraban las epidemias y el análisis de estas epidemias cambiaron significativamente en 1963 con la publicación de Vanderplank "Plant Diseases: Epidemic and Control". Este tratado era una continuación a un capítulo realizado por Vanderplank (1960) en el que originalmente introdujo algunos conceptos importantes respecto a las epidemias (7).

De acuerdo a Fracker (1936), Barratt (1945), Chester (1946), Large (1952) y Schmitt et al. (1959), citado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, habían comentado sobre el avance estacional del desarrollo de enfermedades, así como también habían presentado ilustraciones del avance de las enfermedades con respecto al tiempo, indicando la importancia de saber como avanzar y suministrar las técnicas iniciales para el análisis de los datos de progreso de las mismas. El análisis de Vanderplank, según Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, está basado principalmente sobre la tasa de infección y la relación entre la cantidad de inóculo y la cantidad de enfermedad que éste produce (7).

Dos modelos, el logístico y monomolecular, formaron las bases para el sistema, aunque algunas referencias fueron hecha por el exponencial o logarítmico. Los modelos fueron aplicados como modelos biológicos; es decir las suposiciones biológicas específicas fueron hechas sobre los patosistemas al que los modelos fueron aplicados. Lo que resultó fue un sistema elegante y simple para analizar y comparar epidemias (7).

La analogía de las enfermedades de plantas, según Vanderplank, consultado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, puede ocurrir en por lo menos cuatro maneras:

- Las infecciones ocurren intermitentemente, no constantemente.
- Hay un límite en la tasa de tejido del hospedero disponible y la cantidad de enfermedad presente.
- El nuevo hospedero infectado no se hace infectivo inmediatamente.
- Las enfermedades existen a menudo en focos (7).

Un ejemplo presentado es la roya del tallo de trigo causada por *Puccinia graminis* var. *tritici*, donde la epidemia empieza con solamente algunas pústulas que eventualmente erupcionan bruscamente y liberan gran cantidad de urediosporas, observándose así como la enfermedad se extiende de lesión a lesión o de planta a planta si la enfermedad es sistémica. Vanderplank propuso la forma linearizada de un modelo logístico de forma que uno representaría trazando $\ln[y/(1-y)]$ versus el tiempo, donde y es la proporción de enfermedad (incidencia o severidad).

Esto representa un aumento logarítmico modificado de la enfermedad y es función logarítmica debido a que el aumento sigue a un patrón de interés compuesto, pero es modificado para tener en cuenta disminuida una proporción, $(1 - y)$ para el tejido infectado (7).

3.1.6.2 MODELOS PARA ANALIZAR PROGRESOS DE ENFERMEDADES

Procesos dinámicos, incluyendo el cambio en la cantidad de la intensidad de enfermedad en una población de plantas con el tiempo, son definidos por un cambio en el rango del tiempo. Si y es la cantidad de la enfermedad medida como la incidencia o severidad de una epidemia puede ser descrita en términos de dy/dt , el cambio en y con un cambio infinitesimal en tiempo t . Los términos dy/dt representan el rango absoluto de incremento de la enfermedad (7).

Para una epidemia con una fase de desarrollo decreciente, dy/dt , también puede representar el rango absoluto de incremento de la enfermedad. La descripción cuantitativa de las epidemias está consumada expresando dy/dt como una función de y , t u otras variables. De acuerdo a Campbell, 1986; Gilligan, 1985c, 1990; Hau y Kranz, 1977; Jowett et al., 1974; Madden, 1980, 1986; Madden y Campbell, 1986, 1990; Rouse, 1985; Thresh, 1983; Waggoner, 1986, citado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, la descripción y el análisis de curvas de progreso de las enfermedades han sido revisadas y discutidas extensivamente (7). Actualmente, el análisis del progreso de las enfermedades, consiste en gran parte usando métodos y modelos adaptados de campo para desarrollar los análisis de curvas de crecimiento y la dinámica de las poblaciones.

3.1.6.3 SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MODELOS

Uno de los aspectos importantes del análisis temporal de las epidemias es la selección de un modelo apropiado para describir los datos del progreso de las enfermedades. La selección del modelo es importante,

porque los parámetros calculados son la base para el análisis estadístico y la comparación de curvas de progreso de la enfermedad a estudiar para la forma del modelo seleccionado (7).

Aunque es tentador decidirse por la conveniencia de uno de los modelos de curva de crecimiento basada solamente sobre el significado biológico intuitivo de la ecuación de diferencial del modelo, más a menudo unos medios más apropiados para valorar a los modelos son: el valor del coeficiente de la determinación R^2 , el cuadrado medio del error, la desviación típica de los parámetros estimados y la gráfica de los valores residuales versus los valores predichos o pronosticados (7).

Dentro de los modelos considerados en ésta investigación se pueden mencionar: el modelo exponencial, monomolecular, logístico, Gompertz, Log-logístico, Von Bertalanffy-Richards y Weibull (Figura 4). Los primeros tres modelos han moldeado los cimientos del análisis de curvas de progreso de las enfermedades desde las propuestas de Vanderplank (1963) (7).

Ninguno de los modelos ha sido desarrollado específicamente para aplicaciones en patología de planta y por lo tanto, se debe ser prudente y dar las interpretaciones biológicas estrictas a las variables y los parámetros de los modelos. Las ecuaciones de diferencial, las formas integradas, y formas linealizadas son resumidas en el Cuadro 1.

Cuadro1. Ecuaciones diferenciales, formas integradas y formas linealizadas de los modelos utilizados para el análisis de progresos de enfermedades.

MODELO	dy/dt	$y =$	FORMA LINEARIZADA
EXPONENCIAL	rEy	$y_0 \exp(rEt)$	$\ln(y) = \ln(y_0) + rEt$
MONOMOLECULAR	$rM(1-y)$	$1 - [(1-y_0)\exp(-rMt)]$	$\ln[1/(1-y)] = \ln[1/(1-y_0)] + rMt$
LOGÍSTICO	$rL y(1-y)$	$1/[1 + \exp(-\{\ln y_0/(1-y_0) + rLt\})]$	$\ln[y/(1-y)] = \ln[y_0/(1-y_0)] + rLt$
GOMPERTZ	$rG y[-\ln(y)]$	$\exp[\ln(y_0)\exp(-rGt)]$	$-\ln[-\ln(y)] = -\ln[-\ln(y_0)] + rGt$
LOG-LOGÍSTICO	$rLL y(1-y)/t$	$1/\{1 + [(1-y_1)/y_1]t^{-rLL}\}$	$\ln[y/(1-y)] = \ln[y_1/(1-y_1)] + rLL \ln(t)$
VON BERTALANFFY-RICHARDS	$rRy(1-y^{m-1})/(m-1)$	$[1 - B\exp(rRt)]^{1/(1-m)}$ Si $m < 1$ $B = 1 - y_0^{(1-m)}$ $[1 + B\exp(-rRt)]^{1/(1-m)}$ Si $m > 1$ $B = (y_0)^{1-m} - 1$	$\ln[1/(1-y^{(1-m)})] = \ln[1/(1-y_0^{(1-m)})] + rRt$ $\ln[1/(y^{(1-m)} - 1)] = \ln[1/(1-y_0^{(1-m)} - 1)] + rRt$
WEIBULL	$(c/b)[(t-a)/b]^{c-1} \exp - [(t-a)/b]^c$	$1 - \exp\{-[(t-a)/b]^c\}$	$\{\ln[1/(1-y)]\}^{1/c} = -a/b + t/b$ ó $\ln\{\ln[1/(1-y)]\} = -c \ln(b) + c \ln(t-a)$

3.1.6.3.1 MODELO EXPONENCIAL

Uno de los modelos más simples es llamado el modelo exponencial. Vanderplank (1963), citado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, también lo refiere como el modelo logarítmico. Estos usan datos implícitamente para el uso de pronóstico en el aumento en la población humana (7).

El modelo puede ser escrito como:

$$dy/dt = r_e y$$

En el cuál r_e , es un parámetro de rango específico para el modelo exponencial con unidades de tiempo -1 ". En la ecuación anterior r_e , es el rango total del cambio en y en comparación con el nivel de y [$r_e = (dy/dt)(1/y)$]. Si dy/dt , por ejemplo, representa nuevas lesiones por día, entonces r_e , es igual a nuevas lesiones por lesión por día (7).

En la interpretación biológica, del modelo exponencial, indica que el rango total del aumento de la enfermedad es directamente proporcional a la cantidad de la enfermedad e indirectamente, proporcional a la cantidad de inóculo (7).

3.1.6.3.2 MODELO MONOMOLECULAR

El modelo monomolecular, también ha sido llamado el modelo exponencial negativo y ha sido utilizado para describir muchos fenómenos incluyendo las reacciones de cultivos para nutrientes (fertilizantes), y el crecimiento general de plantas y animales (Hunt, 1982; Mitscherlich, 1909; Richards, 1969), consultado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990 (7).

El modelo puede estar dado como:

$$dy/dt = r_M (1 - y)$$

Donde se asume que la tasa máxima de la enfermedad (y_{max}) es 1 igual a 100% de la enfermedad. El término $(1 - y)$, representa la proporción de tejido de planta o plantas que están aparentemente libres de la enfermedad. El rango total del cambio en la enfermedad es proporcional al nivel de tejido aparentemente sano o proporción de plantas aparentemente saludables.

El término aparentemente es utilizado porque no todas las plantas infectadas presentan la sintomatología de la enfermedad de una forma inmediata.

La cantidad que dy/dt declina con el tiempo de un máximo al principio de la epidemia y tiene la forma de una función de densidad de probabilidad exponencial negativa (7).

En las propuestas de Vanderplank (1963), consultadas por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, el rango del parámetro de r_m , fue visto como el producto de dos términos, la cantidad de inóculo (q) y el rango en que este inóculo causa infecciones (w). Como en tal caso, w representa el número de nuevas lesiones o nuevas plantas enfermas por unidad de inóculo en un tiempo determinado (7).

3.1.6.3.3 MODELO LOGÍSTICO

El modelo logístico ha sido el más importante para el análisis temporal de enfermedades, debido a su aplicación generalizada y su adecuada forma de describir muchas epidemias (7).

Según Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, fue propuesto originalmente por Verhulst (1838), para describir el crecimiento de la población humana y fue obtenido por separado por M'Kendrick & Pai (1911) y Pearl & Reed (1920) posteriormente para el uso en estudios de crecimiento de poblaciones (7).

La ecuación diferencial del modelo logístico esta dado como:

$$dy/dt = r_L y (1 - y)$$

Donde r_L , es un rango de parámetros con unidades de tiempo -1 y y máximo (y_{max}) igual a 1. El parámetro es conocido como el cambio intrínseco en ecología. Según Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, Vanderplank (1963) lo llamó "el cambio evidente de infección" porque lo que es observado en realidad es el tejido aparentemente afectado o sintomático (7).

De acuerdo a Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, en general no es posible observar la cantidad total de tejido afectado visualmente porque no todos los tejidos infectados habrán pasado a través de un período de incubación. Si el período de incubación es constante, uno puede hacer caso omiso de él calculando r_L . Para la conveniencia, el período de infección evidente es escrito a menudo sin unos subíndices (7).

Si el nivel de enfermedad, y por lo tanto, el inóculo de las infecciones iniciales y secundarias, son considerados los factores principales que determinan la epidemia, dy/dt aumenta cuando y aumenta. Esto es lo mismo como el modelo exponencial. Sin embargo, cuando más y más plantas son infectadas, las cantidades más grandes de tejido se tornan más afectadas y hay menos tejido disponible para infectar y el índice total disminuye. Esto es lo mismo también para el modelo monomolecular (7).

En conclusión, cuando r_L , es constante, el gráfico de dy/dt versus t , incrementa inicialmente, llega a un máximo y luego desciende a cero. La tasa máxima total, ocurre cuando $y = 0.5$ o 50 % de enfermedad. El gráfico de dy/dt versus t , es simétrica sobre este punto de la tasa máxima total (7).

3.1.6.3.4 MODELO GOMPERTZ

Según Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, Gompertz (1825), propuso un modelo de crecimiento de población para animales más de una década antes de que Verhulst (1838) propusiera el modelo logístico. En análisis fitopatológico, comparó el modelo de Gompertz con un rango de modelos de crecimiento para describir curvas de progreso de enfermedades y Berger (1981) reiteró el acierto del modelo de Gompertz sobre el modelo logístico para describir 113 epidemias de enfermedad de planta en nueve patosistemas (7).

La ecuación diferencial puede ser escrita como:

$$dy/dt = r_{GY}[\ln(1) - \ln(y)]$$

$$dy/dt = r_{GY}[-\ln(y)]$$

Como ocurre con el modelo logístico, la gráfica de dy/dt versus t , aumenta a un máximo (el punto de inflexión) y luego desciende a 0. La curva para dy/dt versus r para el modelo Gompertz, a diferencia del logístico, no es simétrico alrededor del punto de inflexión.

La tasa de cambio, se acerca al punto de inflexión más rápidamente y desciende más despacio que en el modelo logístico. En otras palabras, una porción más grande de la zona bajo la curva está a la derecha del punto de inflexión. Como una interpretación biológica de este fenómeno, Waggoner (1986), consultado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, dijo que el modelo de Gompertz demostraba que en los pequeños intervalos iguales de tiempo los organismos patógenos, pierden las proporciones iguales de poder aumentar (7).

3.1.6.3.5 MODELO LOG-LOGÍSTICO

El modelo Log-Logístico, según Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, fue propuesto por Hill (1913) para la saturación de hemoglobina por oxígeno. La ecuación diferencial puede ser escrita como:

$$dy/dt = r_{LL}y(1-y)/t$$

El modelo Log-Logístico, es actualmente una generalización del modelo logístico con dy/dt directamente proporcional para y y $1-y$, es inversamente proporcional para t .

La presencia de t en el denominador, indica que el rango absoluto del aumento de la enfermedad desciende cuando el tiempo aumenta si todos otros términos son arreglados. Cuando $t = 0$, el modelo es indeterminado (7).

El gráfico de dy/dt versus t , puede tener formas diferentes dependiendo del valor de r_{LL} . Si $r_{LL} \leq 1$, allí éstos no son puntos de inflexión y disminución con el tiempo. Si $r_{LL} > 1$, dy/dt incrementa en un máximo y luego declina hacia 0 con un punto de inflexión en $y = (r_{LL} - 1)/2 r_{LL}$ (7).

3.1.6.3.6 MODELO VON BERTALANFFY-RICHARDS

De acuerdo a Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, Von Bertalanffy (1938, 1957) propuso que el cambio en el peso de animal fuera el proporcional a la diferencia en la tasa de anabolismo y catabolismo.

Con las ciertas suposiciones sobre las tasas de estos procesos, desarrolló un modelo de crecimiento con un punto de inflexión en $y < 1/e$.

Según Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, Richards (1959, 1969), generalizó el modelo de von Bertalanffy para explicar las muchas formas del crecimiento o las curvas de tasas de crecimientos totales, es decir curvas de dy/dt versus t (7).

El modelo de Richards puede ser escrito como:

$$dy/dt = rRY(1 - y^{m-1})/(m-1)$$

En el cual rR , es el rango del parámetro y m , es un parámetro de manera que puede extenderse de 0 al infinito. Cuando $m = 0$, reduce al modelo monomolecular, en $m = 2$ el modelo logístico y cuando m se acerca a 1 en el límite, al Gompertz.

La variación en la tasa de dy/dt versus t es atribuible no solamente al cambio en y , $1 - y$, ó $-\ln(y)$, como en los modelos fijos, sino que depende de una función de y (7).

3.1.6.3.7 MODELO WEIBULL

Fisher y Tippet, consultado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, desarrollaron una distribución estadística en 1928 (Bailey, 1980) que fue obtenida por separado por Weibull (1939) después. Un examen posterior (Weibull, 1951), según Campbell, CL. & Madden, LV. 1990, es dado a menudo como la cita principal para este modelo y por consiguiente ha sido puesto el nombre de Weibull (7).

El modelo ha sido usado exhaustivamente en la prueba de vida y los estudios de supervivencia, pero también ha sido aplicado como un modelo de crecimiento (Bailey, 1980; Yang y Smith, 1978, consultado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990), un modelo de respuesta a dosis (Rawlings y Cure, 1985) y como un modelo de progreso de enfermedades (Penny-packer et al., 1980; Thal et al., 1984, consultado por Campbell, CL. & Madden, LV. 1990 (7).

El modelo de Weibull puede estar escrito como:

$$dy/dt = (c/b)[(t-a)/b]^{c-1} \exp - [(t-a)/b]^c$$

En donde a , b y c , son los parámetros. El parámetro de ubicación a , representa la ocurrencia de la enfermedad con unidades de tiempo ó la época del inicio de la enfermedad.

El parámetro b , está inversamente relacionado con el período de aumento de la enfermedad (unidades del tiempo). El parámetro de unidad controla la forma de la curva (dy/dt versus t) y el punto de inflexión. Un amplio rango de formas similares al modelo de Richards, pueden ser obtenidos con el modelo de Weibull mediante la siguiente expresión (7).

$$y = 1 - \exp[-((t-a)/b)^c]$$

La cual puede linearizarse con ayuda de:

$$[\ln(1/1-y)]^{1/c} = (-a/b) + (t/b).$$

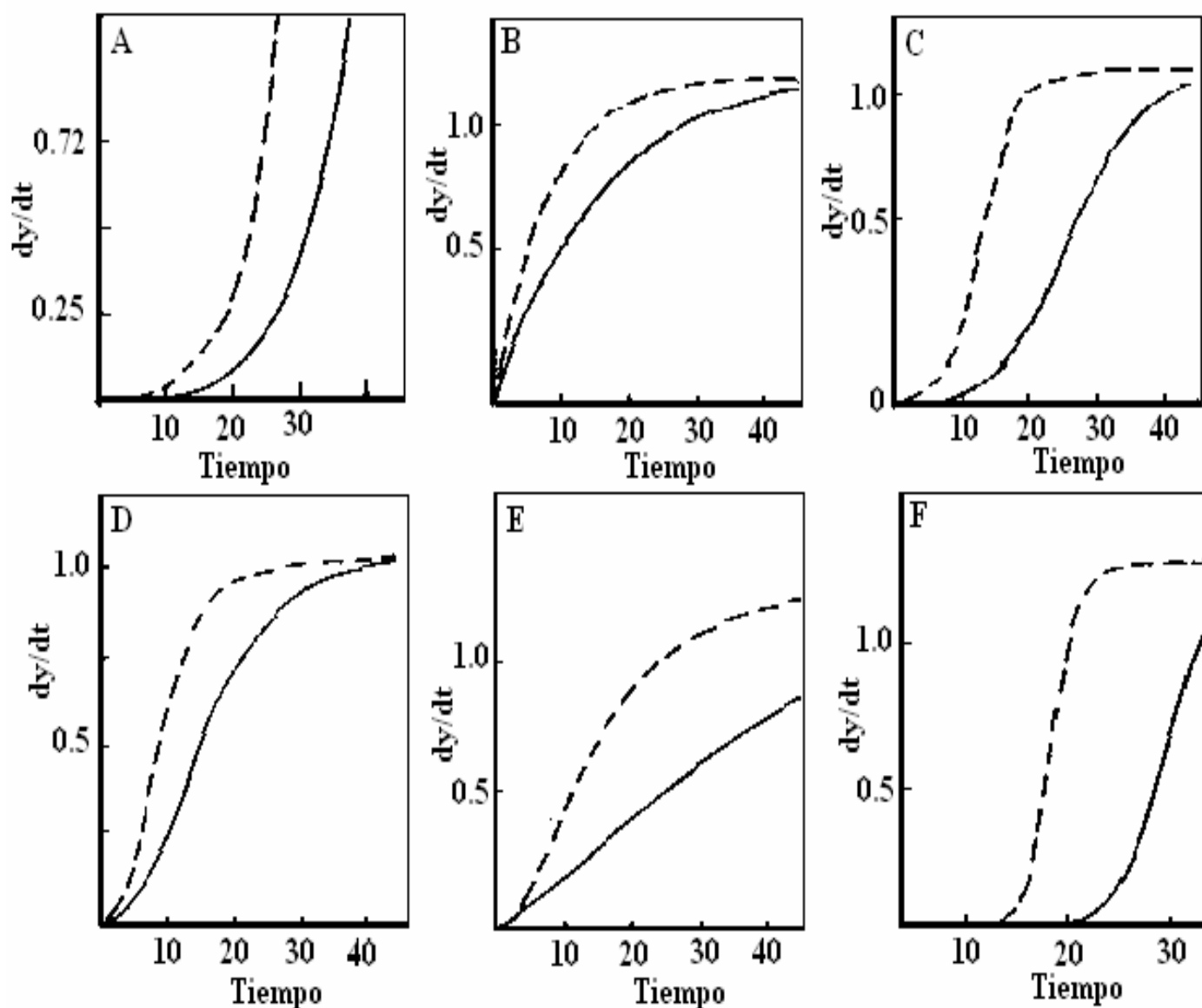


Fig 4. Modelos utilizados para la descripción de curvas de progreso de enfermedades. A) exponencial, B) monomolecular, C) logístico, D) Gompertz, E) log-logístico, F) Von Bertalanffy-Richards, según Campbell & Madden, (1990) (7).

3.2 MARCO REFERENCIAL

El estudio se realizó en campos de producción de tomate con agricultores, de la zona oriental de Guatemala, siendo los departamentos bajo estudio El Progreso, Jalapa, Jutiapa, Zacapa y Chiquimula.

Un resumen de las condiciones climáticas para la región del oriente de Guatemala, se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Condiciones climáticas registradas por el INSIVUMEH para los departamentos del oriente de Guatemala.

DEPARTAMENTO	LLUVIA (mm)	TEMP. PROMEDIO (°C)	TEMP. MAX. PROMEDIO (°C)	TEMP. MIN. PROMEDIO (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
Chiquimula	1145.13	23.87	29.6	18.14	74
El progreso	780.5	27.0	34.3	19.7	62
Jalapa	988.65	18.5	25.15	12.0	76
Jutiapa	1244.93	25.4	31.73	19.07	64
Zacapa	988.57	25.5	31.17	19.8	74

Fuente: INSIVUMEH, datos promedio de los años 1990 – 2005 (14).

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Estudiar la epidemiología de la marchitez bacteriana *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de tomate *Lycopersicon sculentum* Mill. en zonas productoras del oriente de Guatemala.

4.2 ESPECÍFICOS

1. Cuantificar la incidencia de la marchitez bacteriana en el cultivo de tomate en campos de agricultores en zonas productoras del oriente de Guatemala.
2. Estudiar la distribución espacial de la epidemia en campos de agricultores productores de tomate.
3. Estudiar la distribución temporal de la marchitez bacteriana en tomate.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

La evaluación se realizó en los departamentos del oriente de Guatemala, siendo éstos Jutiapa, El Progreso, Jalapa, Zacapa y Chiquimula, en zonas afectadas con dicha enfermedad. En los departamentos anteriormente mencionados, se realizó la colecta de material vegetal enfermo para la posterior obtención de aislamientos de la bacteria en condiciones de laboratorio de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La cuantificación de la enfermedad, se hizo en el campo, determinando así la incidencia de la misma en cada parcela de cultivo en las diferentes localidades de la zona oriental de Guatemala.

5.2 ÁREA SELECCIONADA

El área seleccionada para el estudio fueron las principales zonas productoras de tomate del oriente del país, la cual contempló los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Chiquimula, El Progreso y Zacapa.

En estos departamentos se enmarcaron las principales áreas productoras de tomate, por ejemplo: la aldea El Tempisque, Agua Blanca, Jutiapa, el municipio de Ipala, Chiquimula, Laguna de Retana, El Progreso, Jutiapa, La Fragua, Zacapa, Asunción Mita, Jutiapa, Los llanos, Sanarate, El Progreso, márgenes del Río Motagua desde Sanarate y así sucesivamente. En las áreas indicadas, se seleccionaron agricultores que tuvieron antecedentes de problemas con esa enfermedad o en las inspecciones de campo realizadas se observó la presencia de marchitez bacteriana, permitió contemplar como área seleccionada para la evaluación.

5.3 FASE DE COLECTA DE MATERIAL VEGETATIVO PARA OBTENCIÓN DE AISLAMIENTOS DE LA BACTERIA

En los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Chiquimula, El Progreso y Zacapa se ubicaron las principales áreas productoras de tomate como se mencionó con anterioridad.

Para esta fase se realizaron giras de trabajo programadas con anterioridad para así establecer las áreas de muestreo, logrando así obtener las parcelas en los diferentes departamentos bajo estudio.

Las colectas se realizaron en los campos de cultivo de los agricultores productores de tomate afectados por la marchitez bacteriana, causada por *Ralstonia solanacearum*, previo a la realización de un diagnóstico de campo mediante la utilización de la prueba de flujo bacteriano.

Los muestreos y toma de material vegetativo infectado con la bacteria en el campo fueron realizados previa entrevista con el agricultor que manifestara la presencia de la enfermedad en su área de cultivo con base a la sintomatología de la enfermedad.

La sintomatología, fue caracterizada visualmente consistente en marchitamiento y muerte de plantas, frutos pequeños, necrosis vascular de las plantas y desarrollo de raíces adventicias.

De las plantaciones afectadas con la marchitez bacteriana, fueron tomadas muestras de plantas completas, ramas y tallos para posteriormente ser llevadas al laboratorio de fitopatología de la FAUSAC, las cuales fueron debidamente conducidas en bolsas plásticas identificadas con la procedencia de la muestra, para la posterior determinación y caracterización del patógeno.

5.4 FASE DE AISLAMIENTO DEL PATÓGENO

Se tomaron las plantas con síntomas de marchitez, a las cuales se les realizó la prueba de flujo bacteriano en agua estéril. Luego el agua donde se hizo la prueba de flujo bacteriano se inoculó en cajas de Petri en medio de cultivo 523 de Kado & Heskett (1970) de acuerdo a lo citado por Orozco (1997) (22) y finalmente fueron incubadas en cámaras de crecimiento a 25 °C en el laboratorio de fitopatología de la FAUSAC.

5.5 PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN RÁPIDA DE LA BACTERIA *Ralstonia solanacearum*

Para tener seguridad de que se trataba de la bacteria en mención, se realizaron pruebas rápidas de identificación de la bacteria, las cuales fueron: prueba de Gram, prueba de KOH, análisis de caracteres morfológicos, prueba de hipersensibilidad en hojas de tabaco, y prueba de tetrazolio, según metodología descrita por Orozco (1997) (22).

5.6 MULTIPLICACIÓN Y PRESERVACIÓN DE AISLAMIENTOS DE *Ralstonia solanacearum*

Luego de la purificación, se realizó la multiplicación de la bacteria, la cual se realizó en cajas de Petri en medio 523 de Kado & Heskett (1970), citado por Orozco (1997) (22), para lograr el desarrollo de las colonias y suficiente material para su preservación.

La preservación de la bacteria fue realizada en agua destilada y esterilizada y colocada posteriormente al ambiente, de acuerdo a la metodología de Wakimoto et al. (1982), citado por Orozco (1997) (22) y en tiras de papel estéril o deshidratación de acuerdo a Takatsu (1995), consultado por Orozco (1997) (22).

Para esto, muestras duplicadas con su respectiva identificación fueron preservadas e identificadas de acuerdo a las metodologías anteriormente indicadas.

5.7 CUANTIFICACIÓN DE LA ENFERMEDAD EN CAMPOS DE CULTIVO

En ésta fase, se seleccionaron agricultores con antecedentes de la sintomatología de la fitobacteria, dentro de la plantación de tomate se ubicaron parcelas de 1,000 plantas y finalmente se cuantificó la enfermedad en términos de incidencia, los datos fueron tomados a los 20 días después de la siembra en el campo y posteriormente a los 30, 60 y 90 días (4 lecturas).

La incidencia fue expresada en porcentaje mediante la siguiente relación:

$$\% \text{ INCIDENCIA} = \frac{\text{Número de plantas enfermas}}{\text{Total de plantas por parcela}} \times 100$$

En todos los campos de muestreo se llevó un registro de la enfermedad a partir de la siembra para determinar el avance de la misma en el ciclo del cultivo. Las parcelas se montaron en cultivos ya establecidos por los agricultores.

Para el estudio de la distribución espacial de la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, dentro de las parcelas de producción estudiadas, fue necesario el uso del programa Surfer 32 (Surface Mapping System), el cual fue de mucha utilidad para la construcción de los mapas de la enfermedad dentro de cada parcela bajo estudio, así como también el programa MorLloyd Ver. 1.0 20X20, elaborado por G. Mora matriz 8 X 8, la cual permite conocer el estado de agregación o dispersión de la enfermedad dentro de una parcela determinada basados en el índice de Lloyd y Morisita.

5.8 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA MARCHITEZ BACTERIANA CAUSADA POR *Ralstonia solanacearum*, EN EL ORIENTE DE GUATEMALA

En la elaboración de los mapas necesarios para la distribución geográfica de la marchitez bacteriana, fue necesaria la utilización de un GPS (Maguellan), el cual fue llevado a cada parcela establecida y se registraron las coordenadas de cada área de cultivo.

Posteriormente los datos registrados con la ayuda de GPS (Maguellan), fueron trabajados con el programa Arcview GIS, el cual es un sistema que provee el análisis y las herramientas de escritorio necesarias para manejar la información geográfica.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 MARCHITEZ BACTERIANA E INCIDENCIA DE LA ENFERMEDAD

La marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, es uno de los principales problemas a los que se enfrentan los agricultores de la zona oriental de Guatemala. Esta región incluye los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Chiquimula, El Progreso y Zacapa, es un problema complejo.

En los campos de producción del cultivo de tomate de la zona oriental de Guatemala, plantas afectadas con marchitez bacteriana, presentan la sintomatología consistente en marchitez y flacidez del follaje, enanismo, amarillamiento, esto es causa de la infección de las plantas a partir de las raíces y colonización del sistema vascular del tallo de la planta, también el desarrollo de raíces adventicias y en plantas que son afectadas en la fase de fructificación, los frutos son pequeños y no aptos para comercialización (Figura 5). Esta descripción, es acorde a lo mencionado por primera vez por Smith (1986) y por otros investigadores (Kelman, 1953; Buddenhagen & Kelman 1964; Hayward, 1994; Lopes, 1994; Lopes & Takatsu, 1997; Michel et al., 1996).

La sintomatología de marchitez es observada en tiempos variables, desde los 20 días después de la siembra del cultivo hasta la cosecha en condiciones de campo. De acuerdo a información de agricultores y visitas de campo realizadas en invernadero acontece entre los 12 a 15 días después de siembra hasta la cosecha, esto es más violento debido a la temperatura que prevalece en esta condiciones.

Es importante mencionar que dentro de las áreas de cultivo de tomate del oriente de Guatemala, se observó síntomas de marchitez bacteriana asociadas a malezas verdolaga *Portulaca oleracea* y quilete o hierba mora *Solanum americanum* (Figura 6). Según Orozco (1997), malezas son hospederas de *R. solanacearum* y pueden ser asintomáticas o causan la misma sintomatología que el cultivo.

La tasa de incremento de la enfermedad en parcelas de tomate, en la zona oriental de Guatemala fue de 0.19, 0.28, 0.30, 0.52, 0.65, 1.15, 1.13, para las localidades de la aldea La esperanza, Jutiapa, aldea San Antonio, Monjas, Jalapa, aldea El volcán, Jocotán, Chiquimula y aldea Los llanos, Sanarate, El Progreso respectivamente.

De acuerdo a estos valores se observa que la mayor tasa de incremento de la enfermedad (r), acontece en la aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso, esto se debe a que es un área altamente contaminada y existe bastante inóculo en el campo. Prueba de ello, es que los agricultores han dejado de producir tomate en esta localidad y lo han sustituido por cultivos como maíz, frutales, pepino y pastos.



Fig. 5. Síntomas de marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* en cultivos en el oriente de Guatemala. A) Planta de tomate con marchitez bacteriana, B) Emisión de raíces en el tallo de la planta infectada por M.B., C) Marchitez bacteriana en estado avanzado en plantas de tomate tipo indeterminado, D) Sintomatología de la marchitez bacteriana en planta de chile pimiento. Fotos P. Agr. Luis F. Izaguirre de León.

En el oriente de Guatemala, los valores de incidencia de marchitez bacteriana, fueron variables. Se determinó la incidencia de la enfermedad en cada parcela de cultivo a diferentes días después de la siembra. Se observó en la aldea La Esperanza, Jutiapa, a los 71 días después de siembra con 34.74% de incidencia de la enfermedad. En la aldea Los llanos, Sanarate, El Progreso, se cuantificó 54.28% de incidencia de la enfermedad a los 76 días después de la siembra (Cuadro 3).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede indicar que Jutiapa y El Progreso son los departamentos de mayor presencia de la enfermedad en las áreas de cultivo, debido a que son terrenos que se encharcan y que son parcelas que están influenciadas por pendientes, las cuales favorecen la diseminación de

la enfermedad dentro de los surcos de cultivo, motivada por la escorrentía de lluvia o riego. También por el hecho que desde hace años constituyen las principales áreas de producción de tomate.

En la aldea San Antonio, Monjas, Jalapa, fueron establecidas dos parcelas, en la parcela A (octubre – diciembre 2,005), en donde la incidencia a los 18 días después del transplante fue de 1.87% y a los 70 días después de siembra fue de 17.70%. En la parcela B (julio – septiembre 2,005), de la misma localidad, a los 25 días después de siembra la incidencia de la enfermedad fue 2.81% y a los 74 días después de siembra fue 28.33% (Cuadro 3).

De acuerdo a Coelho & Nutter. Jr. (1995), estudiaron la incidencia de la enfermedad Moko del banano en la región de Amazonas, Brazil, la cual los valores de incidencia de la enfermedad estuvieron de 0.33 hasta 100%, debido a que las plantas se secaron a causa de la enfermedad causada por *Ralstonia solanacearum*, lo cual coincide con los datos obtenidos en las parcelas delimitadas en la zona oriental de Guatemala, ya que los valores fueron variables de 1.87 hasta 64.46% en las diferentes fases del cultivo.

Cuadro 3. Incidencia de la marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum* en la zona oriental de Guatemala, 2005.

DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA	INCIDENCIA DE LA ENFERMEDAD		FECHA DE LECTURA
	PARCELA A	PARCELA B	
Aldea La Esperanza, Jutiapa.			
0	0	0	21 – 10 – 2,005
34	24.37	11.58	02 – 11 - 2,005
43	30.61	14.82	11 - 11 - 2,005
71	34.74	18.94	09 – 12 – 2,005
Aldea San Antonio, Monjas, Jalapa. Parcela A (octubre – diciembre 2,005).			
0	0		01 – 10 – 2,005
18	1.87		18 – 10 – 2,005
33	7.34		02 – 11 – 2,005
42	12.52		11 – 11 – 2,005
70	17.70		09 – 12 – 2,005
Aldea San Antonio, Monjas, Jalapa. Parcela B (julio – septiembre 2,005).			
0	0		04 – 07 – 2,005
25	2.81		29 – 07 – 2,005
46	20.08		19 – 08 – 2,005
74	28.33		16 – 09 – 2,005
Aldea El volcán, Jocotán, Chiquimula (mayo – septiembre 2,005).			
0	0		27 – 05 – 2,005
35	0		24 – 05 - 2,005
59	12.12		17 – 06 – 2,005
91	37.19		29 - 07 - 2,005
111	52.89		19 – 08 – 2,005
139	64.46		16 - 09 - 2,005

DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA	INCIDENCIA DE LA ENFERMEDAD	FECHA DE LECTURA
Aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso, Parcela A (abril – julio 2,005).		
0	0	25 – 04 – 2,005
33	4.66	27 – 05 – 2,005
54	31.26	17 – 06 – 2,005
76	54.28	09 – 07 – 2,005
Aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso, Parcela B (mayo – julio 2,005).		
0	0	18 – 05 – 2,005
29	6.57	17 – 06 – 2,005
51	31.51	09 – 07 – 2,005

6.1.1 PRINCIPALES FACTORES QUE PROPICIAN LA MARCHITEZ BACTERIANA EN LA ZONA ORIENTAL DE GUATEMALA

La marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* en la zona oriental de Guatemala, esta siendo en la actualidad favorecida por diversos factores y actividades desarrolladas por los agricultores.

Un factor importante que influye fuertemente la marchitez bacteriana, es la susceptibilidad de los cultivares comerciales utilizados en la actualidad (2005) por los agricultores de la zona oriental de Guatemala, debido a que dichos materiales genéticos, son susceptibles a *Ralstonia solanacearum*. Esto es preocupante porque existe ambiente favorable y patógeno virulento lo que permite el desarrollo de la epidemia.

En cuanto al ambiente, se observó la utilización de reservorios de agua contaminada para riego (Figura 6). Las herramientas, zapatos, estacas o tutores, automóviles, motocicletas, tractores e implementos de mecanización agrícola (arados, subsoladores, rastras) que pueden estar infestados, son medios excelentes para la diseminación de la bacteria en las diferentes áreas productivas.

Actividades de mecanización son realizadas en terrenos con problemas o infestados con la bacteria, y posteriormente dichos implementos llegan a otras parcelas que todavía no están contaminadas por *R. solanacearum*, permitiendo así infestar nuevas áreas de cultivo, puesto que estas herramientas e implementos de mecanización no son desinfestados al momento de ingreso a nuevas zonas de producción.

La pendiente de los terrenos cultivados con tomate, es también otro factor favorable para la acelerada diseminación de la marchitez bacteriana en las áreas cultivadas, puesto que casi todos los terrenos de los agricultores son de topografía ondulada, logrando así contar con agua de escorrentía contaminada con la fitobacteria, que posteriormente drena a los ríos como fue indicado con anterioridad, tal es el caso del río Ostúa, ubicado en San Antonio, Monjas, Jalapa; el río España, localizado en aldea La Esperanza, Jutiapa y río los Plátanos en el Progreso, entre otros afluentes.

Los suelos del oriente del país donde se cultiva tomate son arcillosos, lo que permite mayor encharcamiento de los terrenos, lo cual es favorable para la bacteria bajo estudio. Esto acontece cuando ocurre alta precipitación o en algunos casos por exceso de riego.

El mal manejo de subproductos post-cosecha, como rastrojos y frutos de rechazo provenientes de plantas infectadas por la bacteria, en su mayoría son colocados en los extremos de las áreas de siembra o riveras de ríos. Esto permite que las pequeñas corrientes que se forman por exceso de agua dirijan el contenido de esos frutos enfermos a los afluentes de agua cercanos (Figura 6), permitiendo de esa manera contaminar los ríos y posteriormente nuevas áreas de cultivo debido a que otros agricultores utilizan afluentes de agua para riego de sus parcelas.

En las plantaciones de tomate visitadas, los agricultores no utilizan pediluvios en la entrada de los campos de cultivo, lo cual es una práctica muy importante de realizar y ayuda a evitar el ingreso de la marchitez bacteriana a nuevas áreas de cultivo libres de esta fitobacteria.

Las malezas no se manejan adecuadamente dentro de una plantación de tomate, lo cual es favorable también para *R. solanacearum*. De acuerdo a Granada & Sequeira (1983), citado por Orozco (1997), relataron que *Ralstonia solanacearum* en la naturaleza tiene baja capacidad de sobrevivencia en el suelo. Este patógeno sobrevive por períodos prolongados solamente cuando invade los tejidos de las raíces de las plantas.

Este fenómeno, fue observado en la aldea Los Llanos, El Progreso, cuando fueron observadas dos especies de malezas infectadas por *R. solanacearum*, siendo estas verdolaga *Portulaca oleracea* y hierba mora *Solanum americanum* (Figura 6). Estas malezas presentaban la misma sintomatología que el cultivo establecido, a las cuales también se les practicó la prueba de flujo bacteriano, la cual fue positivo también para las malezas en mención.

La precipitación, temperatura y humedad relativa son también factores muy importantes que propician la marchitez bacteriana, en los departamentos del oriente de Guatemala, estos componentes climáticos van desde 780.5 hasta 1,205.7 mm. promedio anuales, en los períodos lluviosos que comprende los meses de mayo a octubre. La temperatura promedio va de 22.58 a 27 °C y la humedad relativa fluctúa de 62% a 69%, factores climáticos óptimos para el desarrollo de la enfermedad.



Fig. 6 Factores que propician la diseminación de la bacteria *Ralstonia solanacearum* en cultivos en el oriente de Guatemala. A) Reservorio de agua para riego, B) Frutos infectados por *R. solanacearum* colocados en los bordes del reservorio de agua para riego, C) Frutos infectados por *R. solanacearum*, colocados en los bordes de los ríos. D) Áreas de cultivo mal drenadas, E) *Portulaca oleracea*, infectada por *Ralstonia solanacearum*, F) *Solanum americanum*, presentando marchitez a causa de *R. solanacearum* Fotos Dr. Edín Orozco.

6.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA MARCHITEZ BACTERIANA

Según información de incidencia de marchitez bacteriana recabada en la localidad del municipio de San Antonio, Monjas, Jalapa localizada en las coordenadas UTM 830002 y 1607750, en donde se ubicaron dos parcelas de tomate. En la parcela A (octubre - diciembre 2,005), se realizaron 5 lecturas del avance espacial de la enfermedad en el campo a los 0,18, 33,42 y 70 días después de siembra del cultivo.

De acuerdo al análisis de los datos y basado en los índices de dispersión de Lloyd y Morisita la epidemia para las condiciones de la parcela A (octubre - diciembre 2,005), en el municipio San Antonio Monjas, Jalapa, en el período de 0-42 días después de siembra se observó de manera agregada, mientras que a partir del día 42 hasta la cosecha del cultivo, se manifestó de manera uniforme en toda la plantación de tomate. Los datos individuales para cada lectura e índices respectivos aparecen en el anexo 1.

Este comportamiento evolutivo de la enfermedad observada en el municipio de San Antonio, Monjas, Jalapa, puede ser fácilmente visualizada en la figura 7, que constituye un mapa de la distribución espacial de la enfermedad en dicha parcela a los diferentes días después de la siembra del mismo.

Es preciso manifestar que para el análisis de la distribución espacial de la marchitez bacteriana, fue necesaria la utilización del programa MorLloyd Ver. 1.0 20X20, elaborado por G. Mora matriz 8 X 8 y para la realización de los gráficos de cada parcela estudiada fue necesaria la utilización del programa Surfer 32 (Surface Mapping System) como fue indicado. En la figura 7-a, puede observarse un esquema que representa las plantas al momento de la siembra, en donde se encontraban sanas, mientras que en la figura 7-b, (18 días después de transplante), ya se manifestaron ocho focos de infección que presentaban la sintomatología de la marchitez bacteriana. A los 33 días de que la parcela ya había sido transplantada figura 7-c, la marchitez bacteriana incrementó considerablemente al igual como sucedió a los 42 y 70 días después de siembra figura 7-d y e. Las diferentes lecturas realizadas en esta parcela se pueden observar en la figura 8, en el cual se presentan las parcelas en dos y tres dimensiones, pudiendo ver de una manera más clara el avance e intensidad de la marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum* en esta localidad bajo estudio.

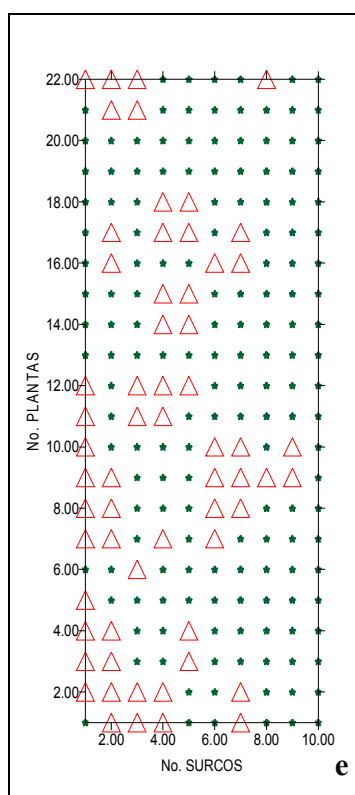
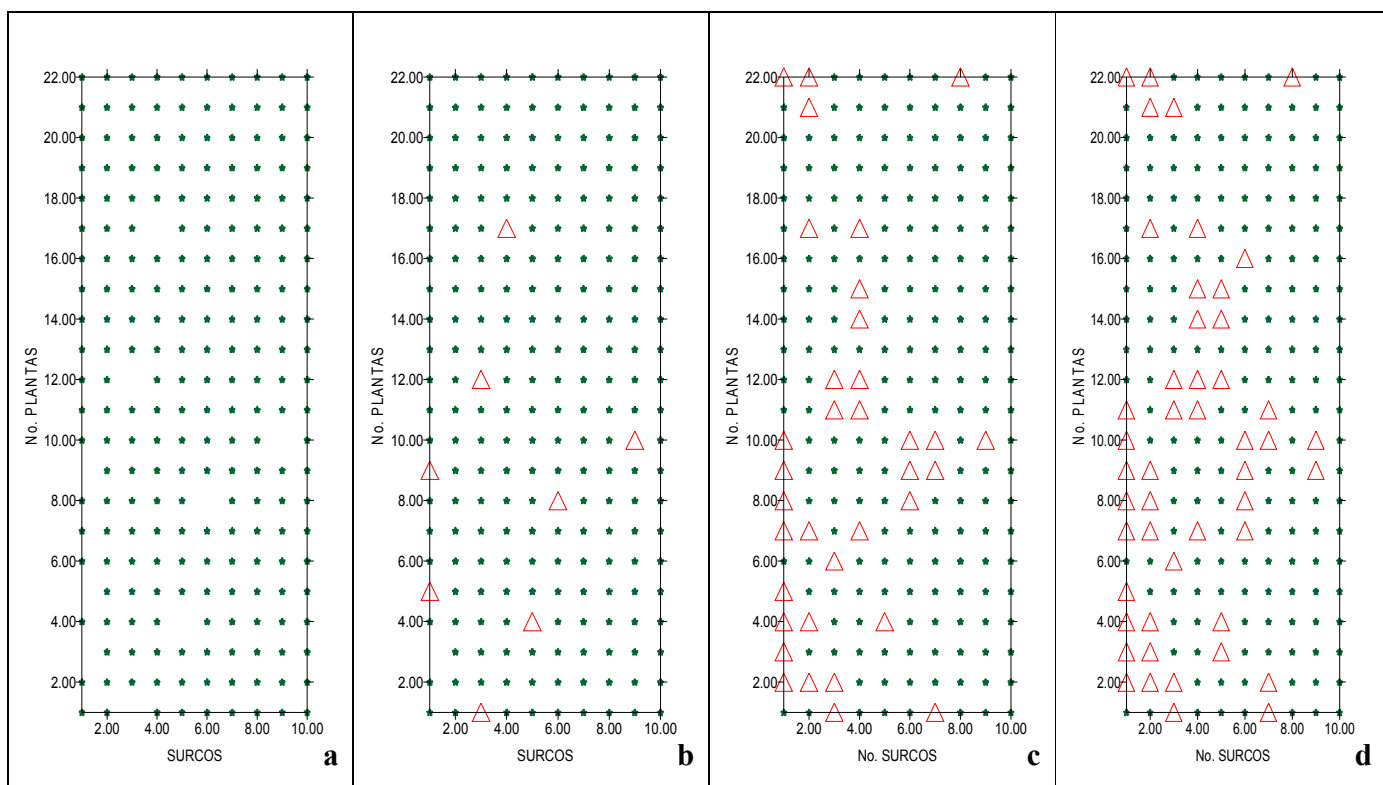


Fig 7. Comportamiento de la intensidad de la enfermedad en la parcela A (octubre - diciembre 2,005), en aldea San Antonio Monjas, Jalapa a) Panorama de la plantación al momento de siembra, b) Plantación a los 18 días después de siembra, c) 33 días después de siembra d) 42 días después de siembra e) Plantación después de 70 días de siembra. Triángulos rojos representan una planta enferma y puntos verdes representan una planta sana.

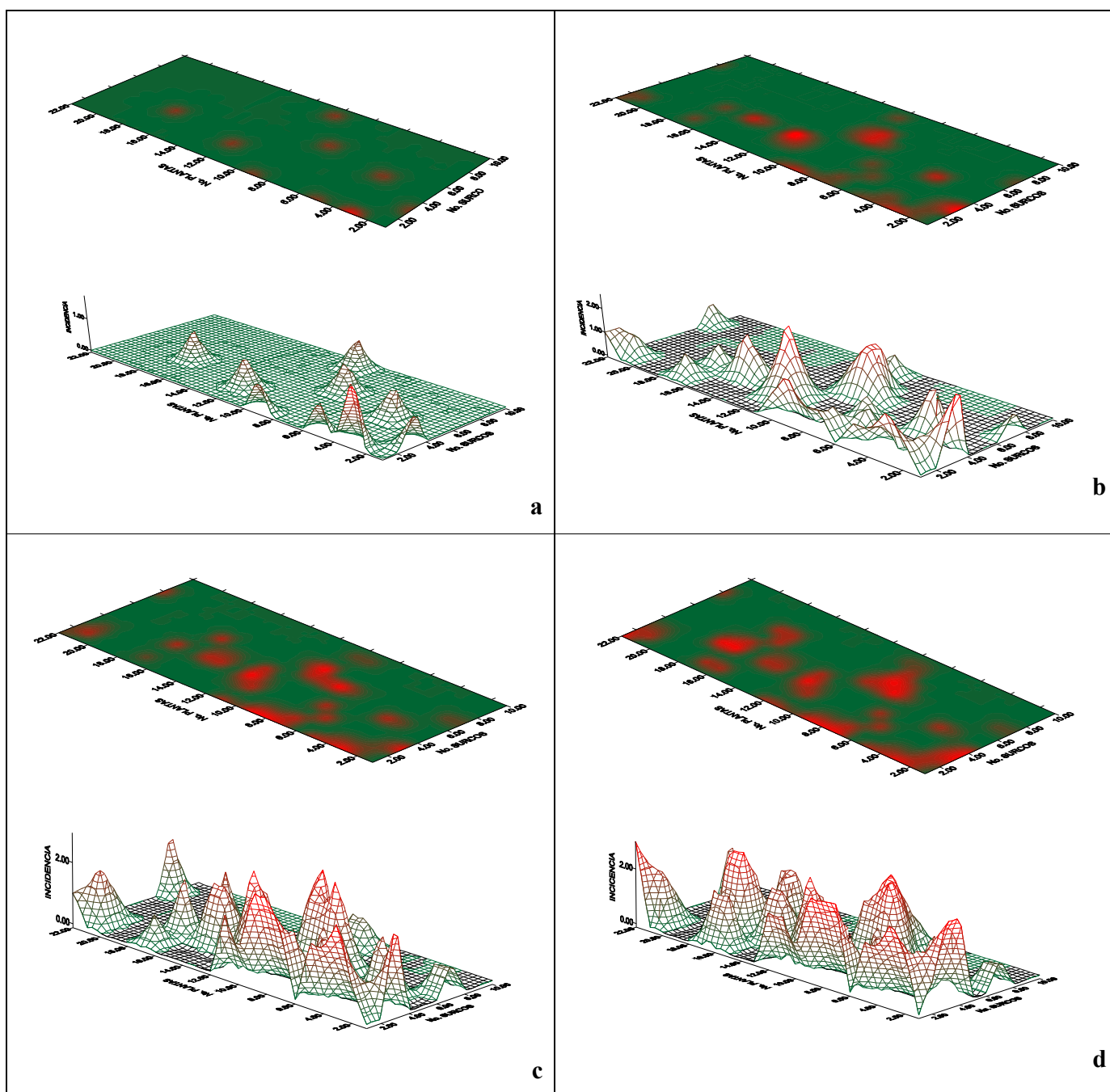


Fig 8. Proyecciones de la intensidad de la marchitez bacteriana *R. solanacearum*, en la parcela A (octubre – diciembre 2,005), de la aldea San Antonio Monjas, Jalapa a) Parcela mostrada en dos dimensiones y tres dimensiones a los 18 días después de siembra, b) Plantación de 33 días después de siembra c) Cultivo a los 42 días después de siembra d) Parcela después de 70 días de siembra.

En la parcela B (julio - septiembre 2,005), ubicada en el municipio de San Antonio, Monjas, Jalapa, localizada en las coordenadas UTM 827634 y 1606767, se realizaron 4 lecturas para conocer la distribución espacial de la enfermedad en el campo a los 0, 25, 46 y 74 días después de siembra del cultivo.

En dicha parcela, se analizaron los datos obtenidos y basados en los índices de dispersión de Lloyd y Morisita la epidemia para las condiciones de esa parcela se observó de manera agregada.

En la figura 9, se puede observar la distribución espacial y el comportamiento de la enfermedad correspondiente a esta parcela, delimitada en la misma zona de producción y con ello tener una idea más clara de lo que aconteció en el desarrollo del cultivo.

En la figura 9, se representa la parcela de cultivo al momento de la siembra, donde todas las plantas estaban sanas, esquematizadas a través de puntos de color verde, mientras que en la lectura que fue realizada a los 25 días después de la siembra, dentro de la parcela ya se manifestaron 12 focos de infección que presentaban la sintomatología de la marchitez bacteriana y que posteriormente fueron los puntos que permitieron la diseminación de la bacteria a lo largo de los surcos de cultivo.

La tercera lectura, fue realizada a los 46 días después de siembra (Figura 9), la marchitez bacteriana incrementó considerablemente al igual como sucedió a los 74 días después de siembra Figura 9-d. Los datos de la incidencia de la enfermedad en esta área bajo estudio, son presentados en el acápite 7.1 Marchitez bacteriana e incidencia de la enfermedad.

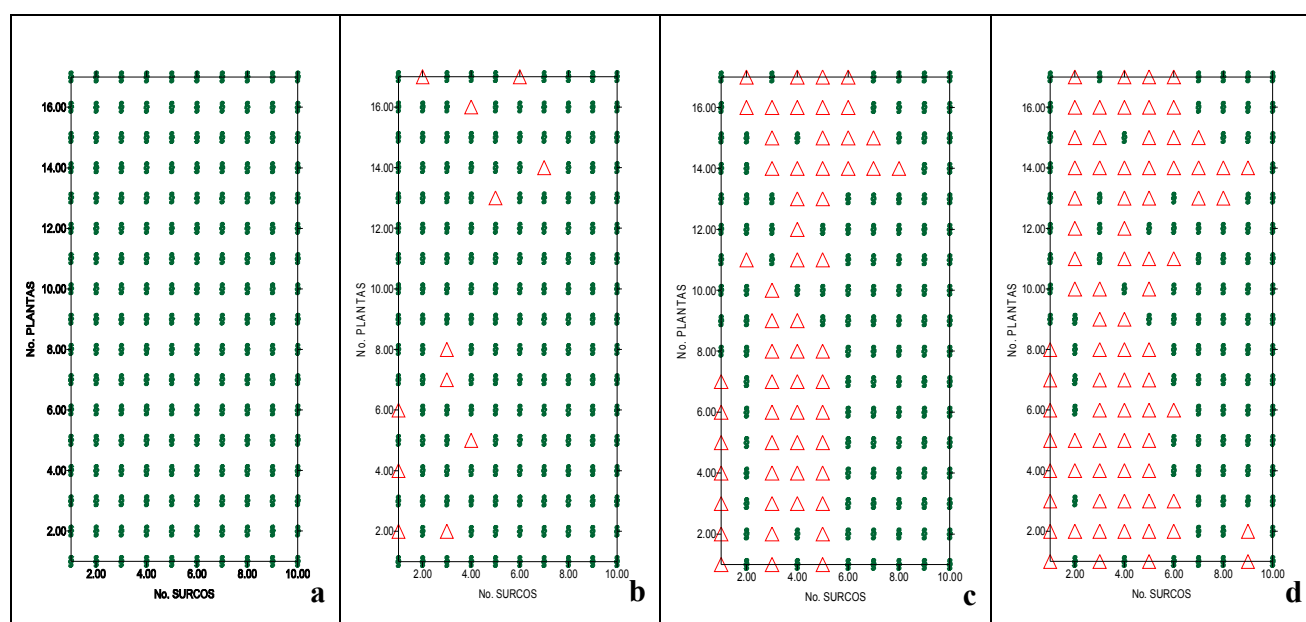


Fig 9. Lecturas de incidencia de la enfermedad realizadas en la parcela B (julio - septiembre 2,005), en aldea San Antonio Monjas, Jalapa a) Plantación al momento de siembra, b) Panorama de la plantación a los 25 días después de siembra, c) Plantación de 46 días después de siembra d) Cultivo de 74 días después de siembra. Triángulos rojos representan una planta enferma y puntos verdes representan una planta sana.

En la figura 10, se muestran los diferentes efectos causados por la marchitez bacteriana en dos y tres dimensiones con respecto a la edad del cultivo en la parcela B (julio - septiembre 2,005), de la localidad San Antonio, Monjas, Jalapa, en la gráfica a, se observan las plantas sanas al momento de la siembra, posteriormente en la gráfica 9-b, son notorios los 12 focos primarios de infección como fue indicado con

anterioridad. En las figuras c y d, en la parcela ya se manifestaba alta incidencia de la enfermedad en el área de cultivo (20.08 y 28.33 respectivamente), las cuales muestran como la marchitez bacteriana avanzaba dentro de esta plantación.

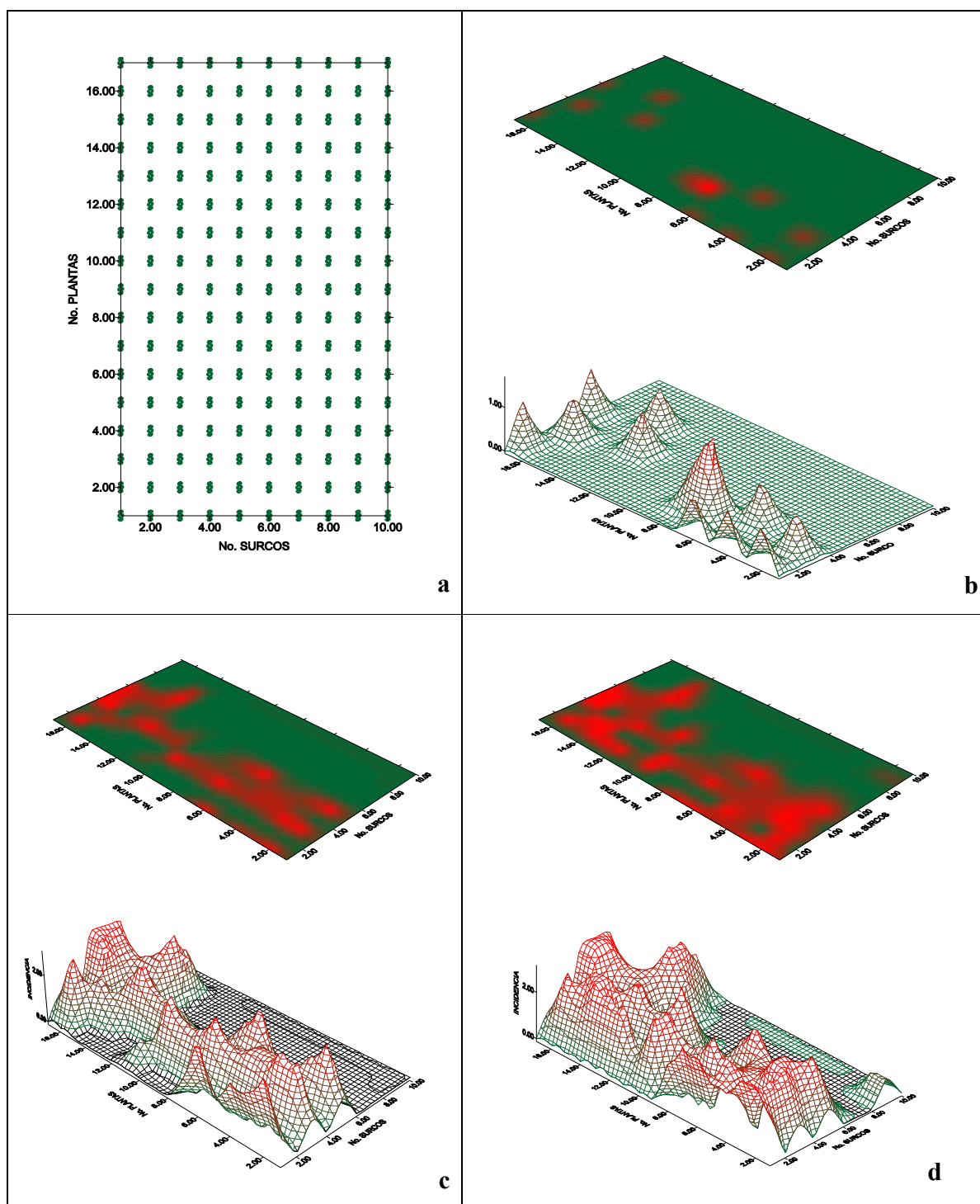


Fig 10. Comportamiento evolutivo de la enfermedad en la parcela B (julio – septiembre 2,005), en aldea San Antonio Monjas, Jalapa. a) Plantación al momento de siembra, b) Panorama de la plantación a los 25 días después de siembra, c) Plantación de 46 días después de siembra d) Cultivo de 74 días después de siembra.

En el departamento de Jutiapa, se definieron dos parcelas en la aldea La Esperanza, Agua Blanca, Jutiapa, localizada en las coordenadas UTM 859456 y 1608655, en aquella localidad se realizaron 4 lecturas del avance espacial de la enfermedad en el campo a los 0, 34, 43 y 71 días después de siembra del cultivo.

En la parcela delimitada en aquella localidad, se obtuvieron datos del avance de la enfermedad, los cuales posteriormente fueron analizados y con base a los índices de dispersión de Lloyd y Morisita la epidemia para las condiciones de esa parcela se observó de manera uniforme, lo que indica que en toda la parcela el daño causado por la bacteria se generaliza en todas las plantas de la misma, como se puede observar la distribución espacial de la enfermedad en la figura 11, así como también el comportamiento de la enfermedad en dicha localidad.

En la primera lectura identificada con la letra a, de la figura 11, se presenta un mapa de lo que fue la plantación al momento de la siembra en el cual no se observaban plantas que presentaran la sintomatología de la enfermedad en estudio, luego a los 34 días después de transplantada la plantación, en la cual ya se observó la uniformidad de la enfermedad dentro de la plantación, así como sucedió en las otras dos lecturas realizadas a los 43 y 71 días después de siembra (c y d), la enfermedad se manifestó de manera uniforme y la incidencia de la enfermedad dentro de la parcela.

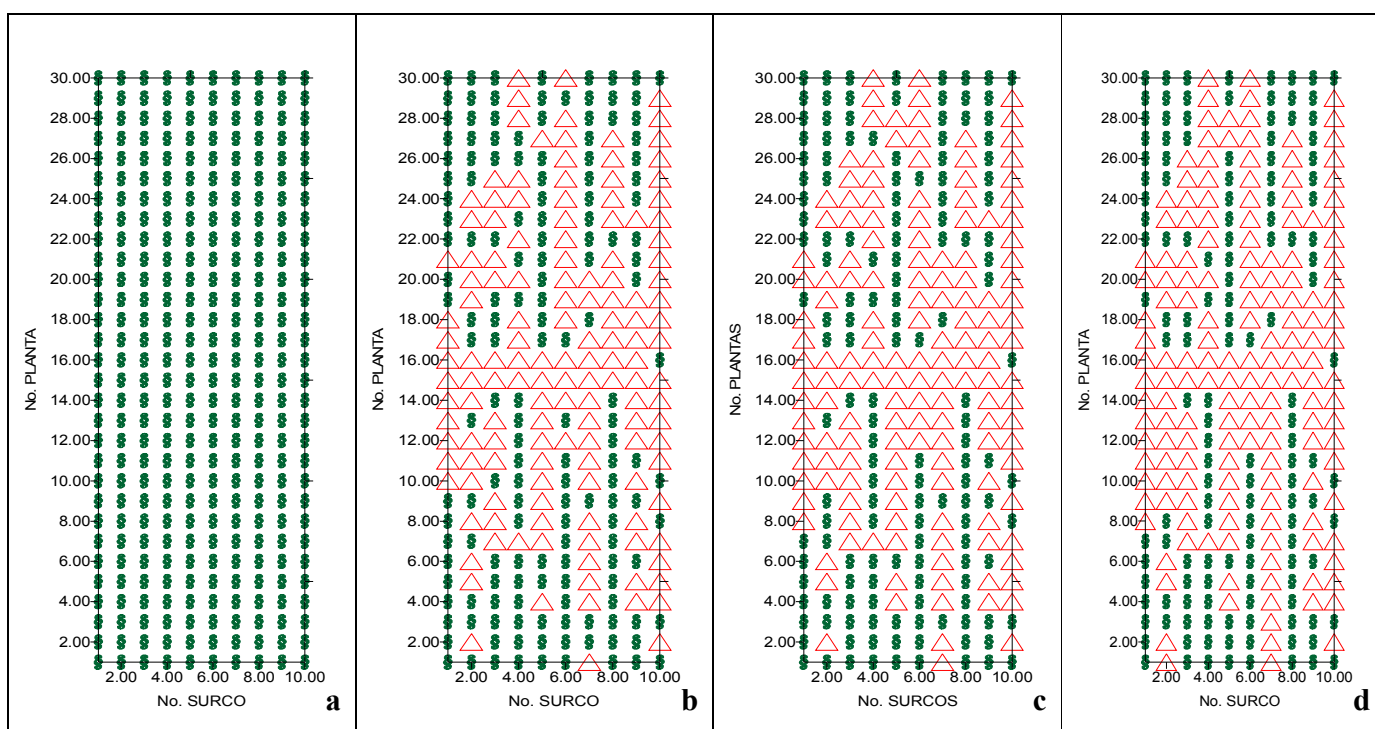


Fig 11. Lecturas de incidencia de la enfermedad realizadas en la parcela A (octubre – diciembre 2,005), en aldea La Esperanza, Agua Blanca, Jutiapa. a) Plantación al momento de siembra, b) Plantación con 34 días después de siembra, c) Plantación a los 43 días después de la siembra d) Cultivo de 71 días después de transplante. Triángulos rojos representan una planta enferma y puntos verdes representan una planta sana.

En la figura 12, se presentan los resultados de las lecturas realizadas en la parcela a en La Esperanza, Jutiapa, se observa los daños causados por *R. solanacearum* en el cultivo en dicha localidad esquematizados a través de puntos en dos y tres dimensiones. Véase uniformidad de enfermedad Fig. 12-b, c y d.

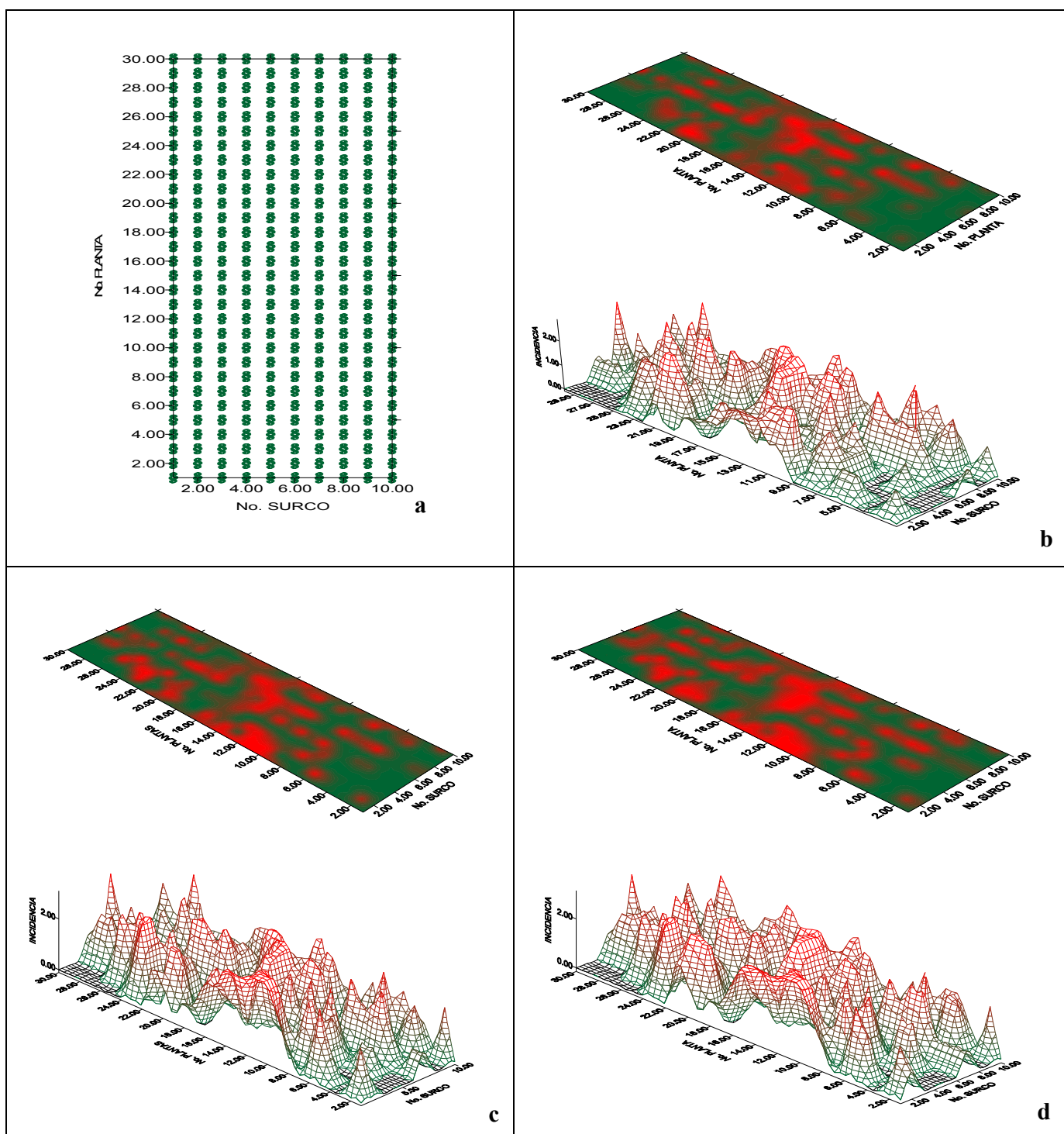


Fig. 12. Distribución espacial de la marchitez bacteriana en el cultivo de tomate en la parcela A (octubre – diciembre 2,005), en aldea La Esperanza, Agua Blanca, Jutiapa. a) Plantación momento de siembra, b) Plantación con 34 días, c) Parcela de 43 días después de siembra d) Plantación de 71 días después de siembra.

En la parcela B, de la aldea La Esperanza, Jutiapa, Figura 13-a, se presenta una representación esquemática de plantas sanas al momento de la siembra, en las siguientes lecturas realizadas en esta misma parcela. Se hace notorio el daño causado por *Ralstonia solanacearum* así como también la agregación de la enfermedad en este campo de cultivo desde los 34, 43 y 71 días después de la siembra.

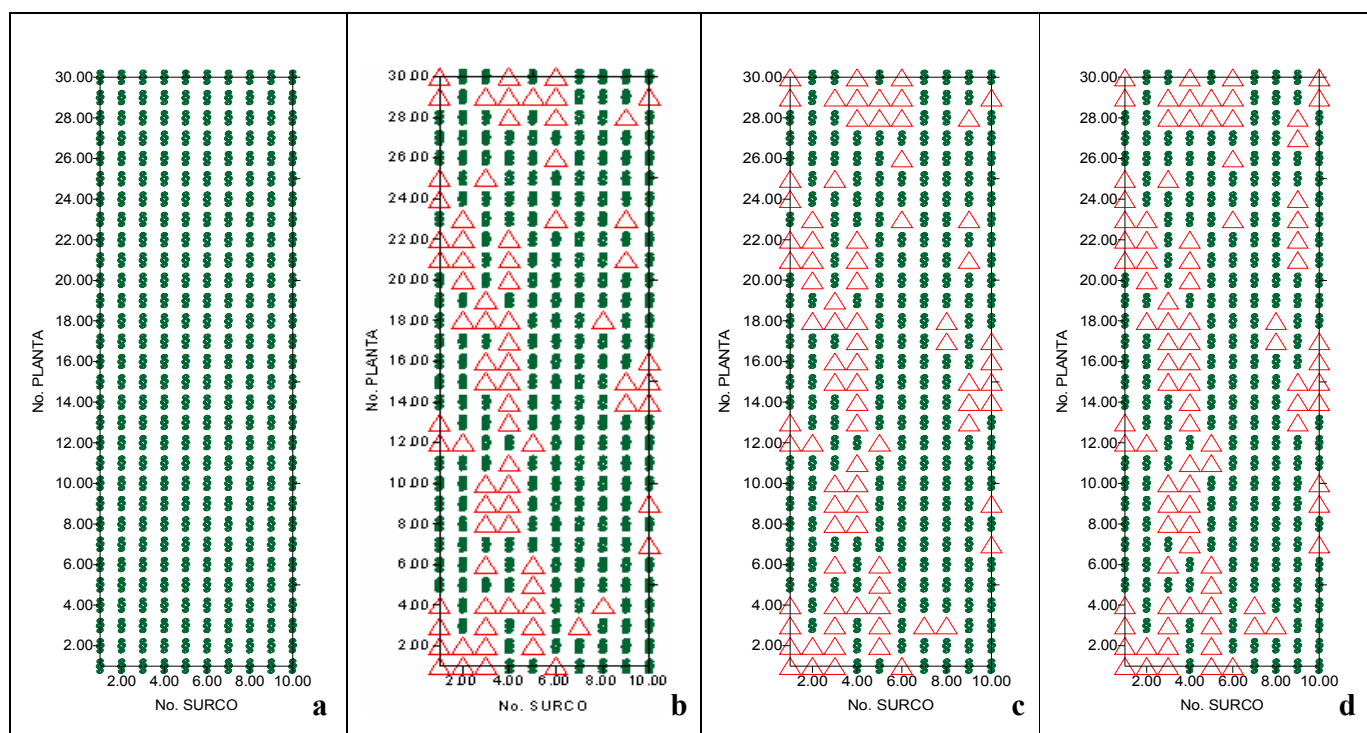


Fig 13. Estudio de la distribución espacial de la marchitez bacteriana en la parcela B (octubre – diciembre 2,005), en aldea La Esperanza, Agua Blanca, Jutiapa. a) Plantación al momento de siembra, b) Plantación con 34 días después de siembra, c) Plantación a los 43 días después de la siembra d) Cultivo de 71 días después de transplante. Triángulos rojos representan una planta enferma y puntos verdes representan una planta sana.

En la figura 14, se puede observar la distribución espacial y el comportamiento de la enfermedad en dos y tres dimensiones pudiendo así conocer el comportamiento de la enfermedad en aquella zona de producción.

En la figura 14-a, se esquematiza todas las plantas al momento de la siembra que estaban sanas, mientras que a los 25 días después de la siembra dentro de la parcela, ya se manifestaron plantas conteniendo la sintomatología de la marchitez bacteriana causada por *R solanacearum*, en las lecturas c y d que fueron realizadas a los 43 y 71 días después de la siembra del cultivo, se puede observar la uniformidad con la que se manifestó la enfermedad en aquellas parcelas productivas.

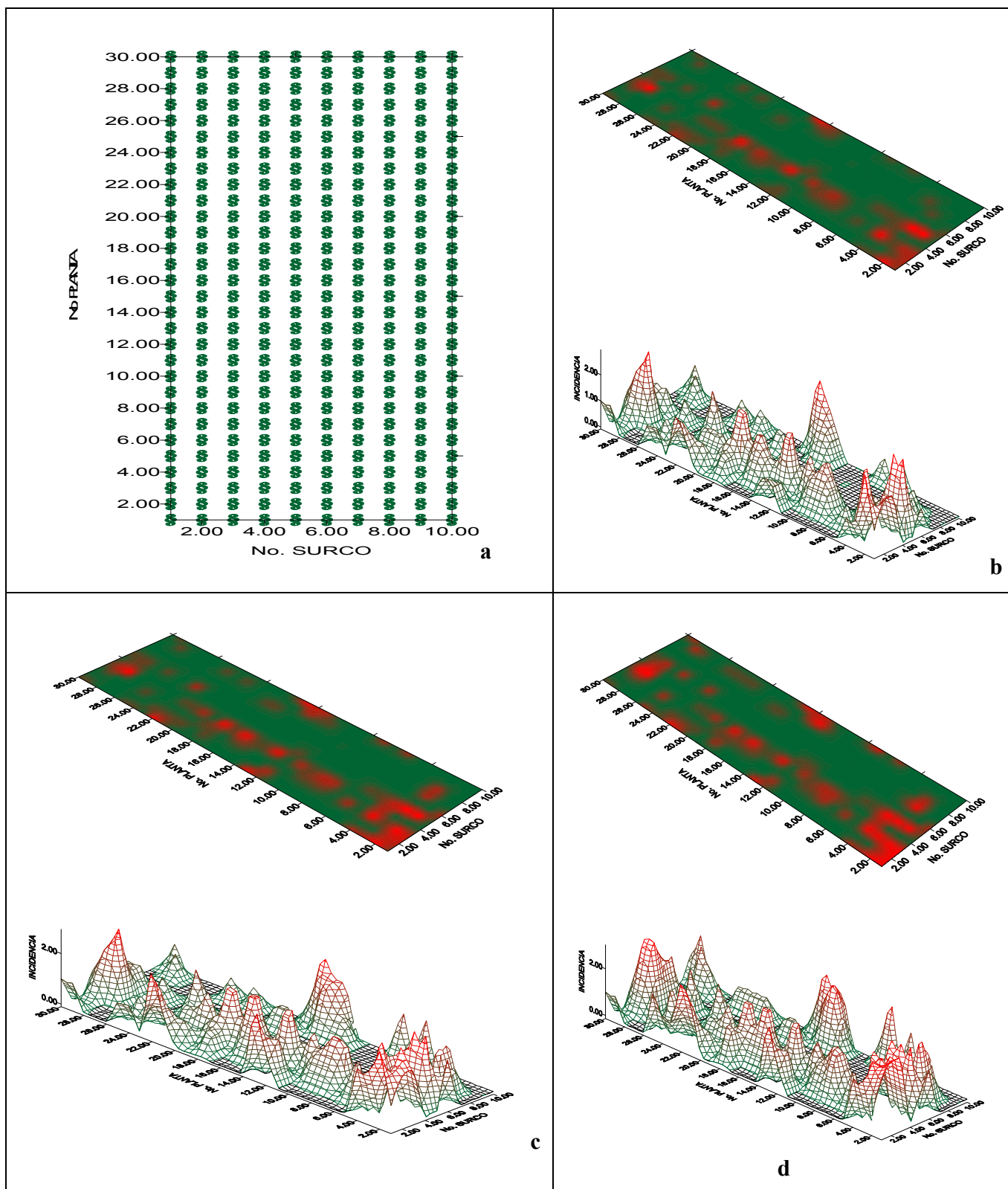


Fig 14. Proyecciones de la intensidad de la marchitez bacteriana *R. solanacearum*, en la parcela B (octubre – diciembre 2,005), de aldea La Esperanza, Agua Blanca, Jutiapa a) Panorama de la plantación al momento de siembra, b) Parcela mostrada en dos dimensiones y tres dimensiones a los 34 días después de siembra, c) Plantación de 43 días después de siembra d) Cultivo a los 71 días después de siembra.

De acuerdo con la información recabada en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, localizada en las coordenadas UTM 893424 y 1649610, se delimitó una parcela bajo condiciones de invernadero, a la cual se le realizaron seis lecturas las cuales fueron al momento de la siembra, luego a los 35, 59, 91, 111 y 139 días después de la siembra, es importante aclarar que el ciclo del cultivo es más prolongado debido a las condiciones climáticas del lugar.

Conforme al análisis de los datos para esta parcela y en base a los índices de dispersión de Lloyd y Morisita la epidemia para las condiciones de la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, en el período de 0 – 59 días después de la siembra del cultivo, se presentó de manera agregada lo que indica que la enfermedad se presentó de manera agrupada en toda la parcela y luego del período de 91 – 139 días después de la siembra fue de manera uniforme, indicando que el daño ocasionado por la fitobacteria fue general en todas las plantas de la parcela.

La evolución del comportamiento de la enfermedad en esta localidad se puede observar en la figura 15, la cual representa un mapa de la distribución espacial de la enfermedad en dicha parcela a los diferentes días después de la siembra del mismo.

En la figura 15-a y b, cuando la plantación tenía 0 y 35 días después de siembra, se representan todas las plantas sanas. En la figura 15-c (59 días después de transplante), ya se manifiestan 25 focos de infección que presentaban la sintomatología de la marchitez bacteriana, a los 91 días de que la parcela ya había sido transplantada figura 15-d, la marchitez bacteriana incrementó considerablemente al igual como sucedió a los 111 y 139 días después de siembra (figuras e y f), observándose claramente la distribución uniforme de la enfermedad en esta parcela productiva.

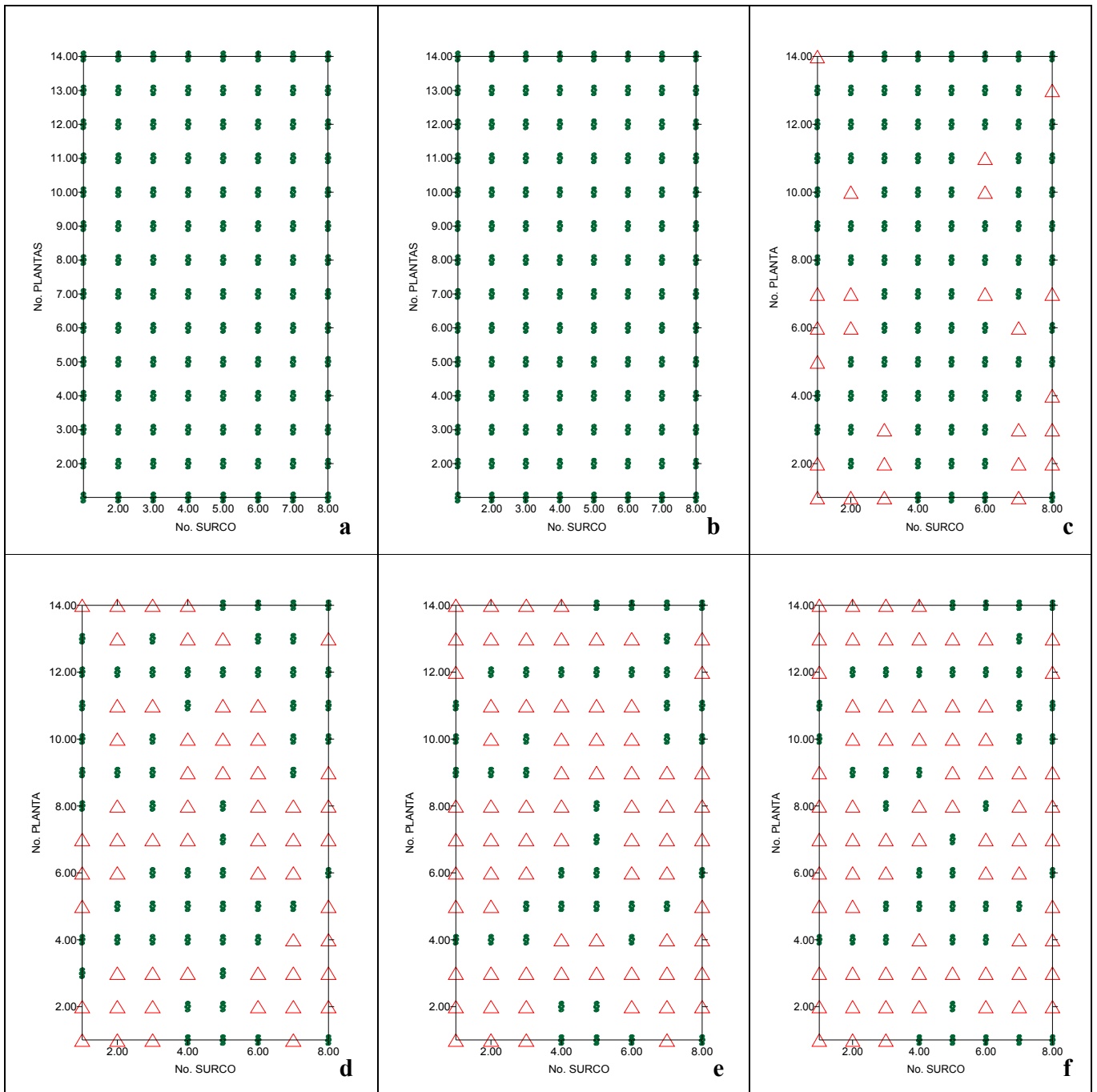


Fig 15. Comportamiento de la intensidad de la marchitez bacteriana *R. solanacearum*, en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula (mayo – septiembre 2,005). a) Panorama de la plantación al momento de siembra, b) Parcela a los 35 días después de la siembra, c) Plantación de 59 días después de siembra d) Cultivo a los 91 días después de siembra e) Parcela después de 111 días de siembra, f) Panorama de la plantación a los 139 días después del transplante. Triángulos rojos representan una planta enferma y puntos verdes representan una planta sana.

En la figura 16, pueden ser fácilmente visualizadas las diferentes lecturas realizadas en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, pudiéndose observar la parcela de tomate en dos y tres dimensiones notándose claramente el avance e intensidad de la enfermedad a causa de la marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum* dentro de la parcela y bajo condiciones de invernadero como se indicó.

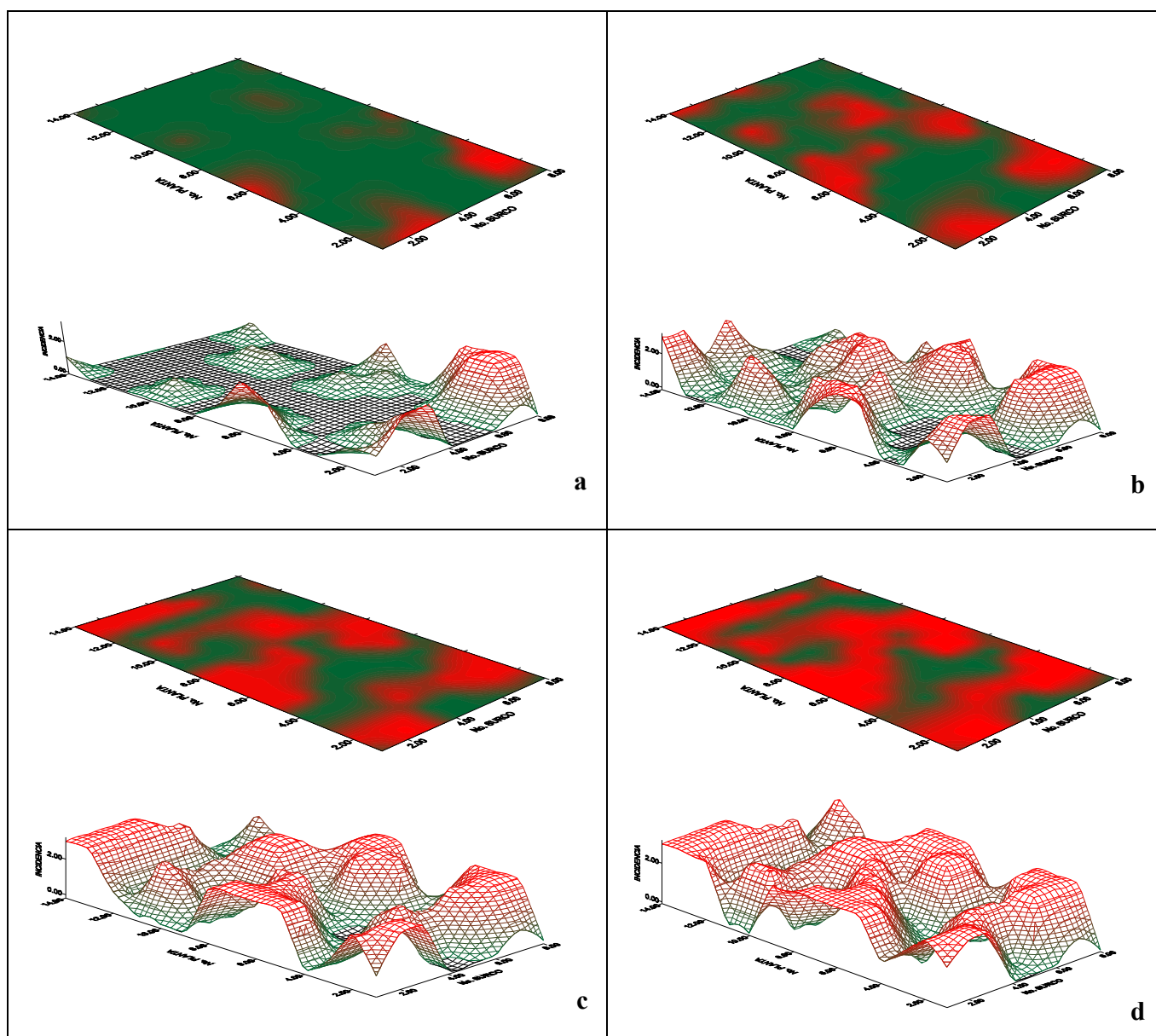


Fig 16 Comportamiento de la intensidad de la marchitez bacteriana *R. solanacearum*, en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula (mayo – septiembre 2,005), vista en dos y tres dimensiones a) Panorama de la plantación a los 59 días después de la siembra b) Cultivo a los 91 días después de siembra c) Parcela después de 111 días de siembra, d) Panorama de la plantación a los 139 días después del transplante.

Otra localidad considerada en esta investigación es la aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso, localizadas en las coordenadas UTM 801517 y 1632834. En esa localidad, fueron localizadas dos parcelas, en la parcela A (abril – julio 2,005), se realizaron cuatro lecturas, las cuales se hicieron necesarias con la finalidad de observar el avance espacial de la enfermedad en el campo. En la figura 17, se puede observar el avance de la enfermedad en cada lectura así como también la dispersión de la misma en esa localidad.

Dichas lecturas fueron realizadas al momento de la siembra luego a los 33, 54 y 76 días después de siembra del cultivo. En las parcelas delimitadas, se obtuvieron datos del avance espacial de la enfermedad,

los cuales posteriormente fueron analizados y con base a los índices de dispersión de Lloyd y Morisita la epidemia para las condiciones de esa parcela se observó de manera agregada o en focos lo que indica que la enfermedad no estaba dispersa en toda la parcela, a los 33 días después de la siembra y posteriormente la dispersión de la enfermedad se comportó de manera uniforme en toda la parcela hasta los 76 días después de la siembra.

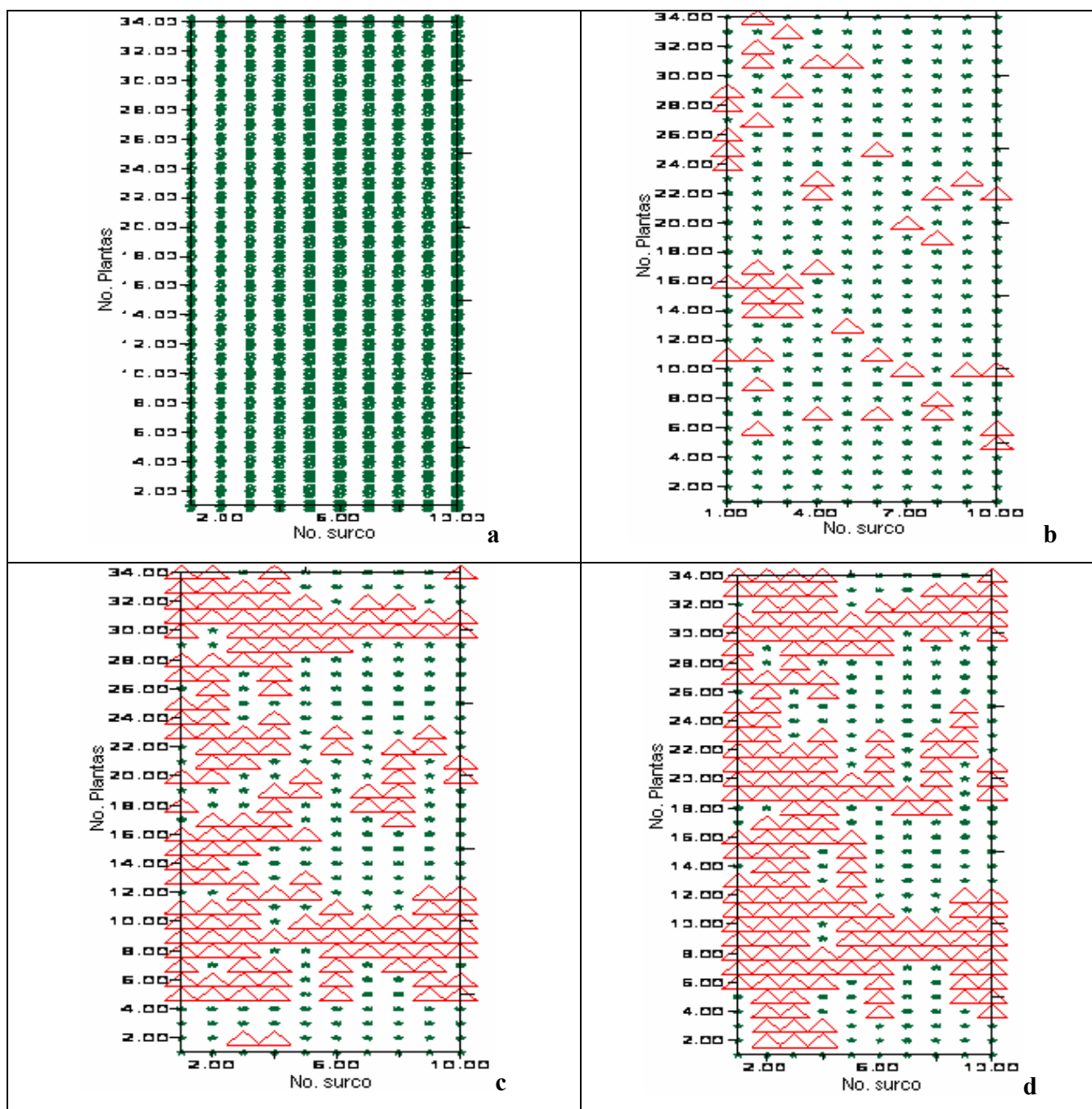


Figura 17. Distribución espacial de la marchitez bacteriana *R. solanacearum*, en la parcela A (abril – julio 2,005), aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso. Puntos verdes indican plantas sanas y puntos de color rojo representan plantas enfermas. a) Plantación al momento de siembra, b) Parcela a los 33 días después de la siembra, c) Plantación de 54 días después de siembra d) Cultivo a los 76 días después de siembra.

En la figura 18, es presentado el comportamiento de la marchitez bacteriana *R. solanacearum*, en dos y tres dimensiones, pudiéndose observar que a los 33 días después de la siembra, se presentaron los focos iniciales de la enfermedad dentro de la parcela productiva, a los 54 días después de siembra se intensificó la incidencia de la enfermedad y posteriormente a los 76 días después de siembra, el daño se presentó de una manera general dentro de la plantación.

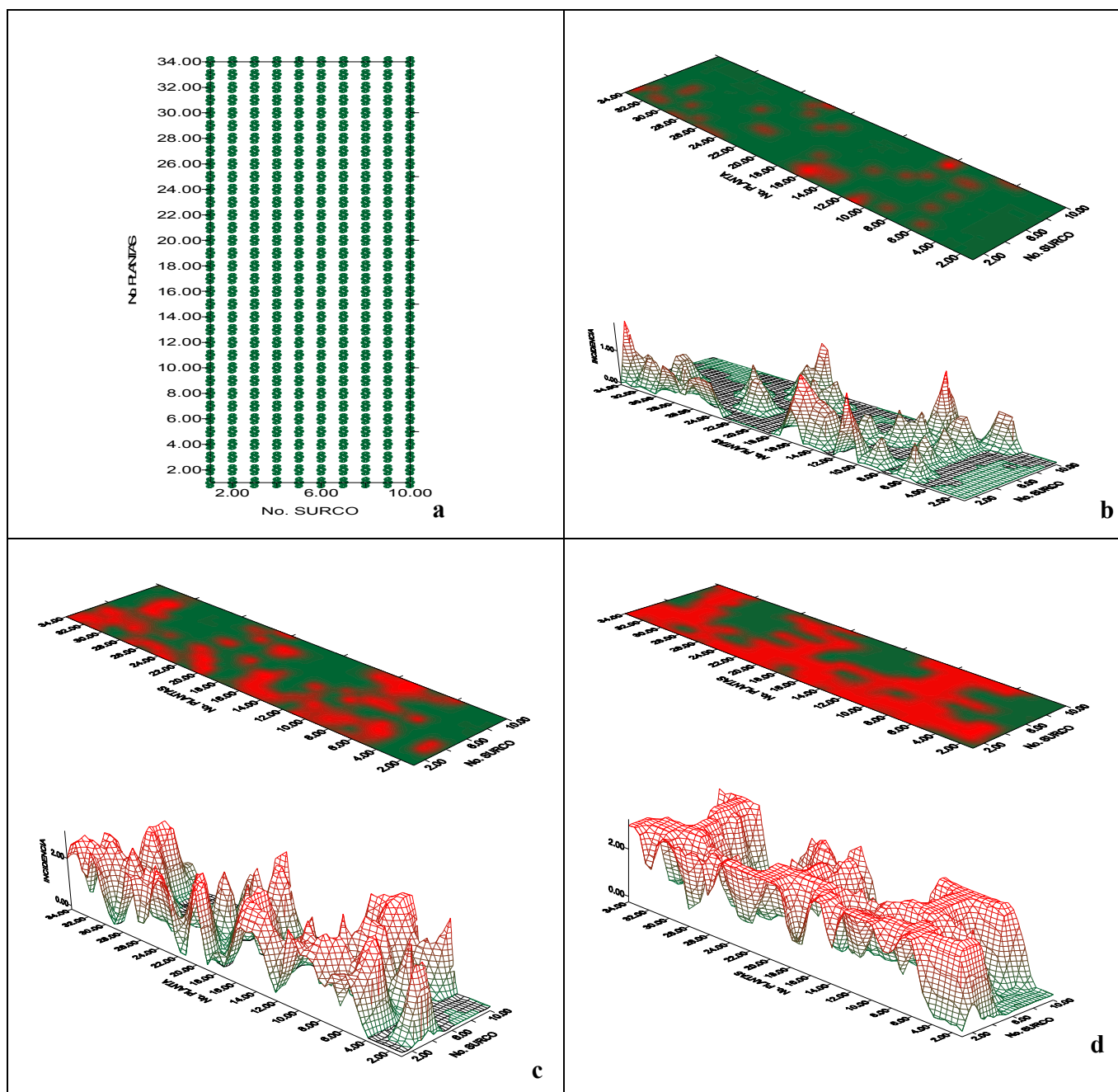


Figura 18. Distribución espacial en dos y tres dimensiones de la marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum*, en la parcela A (abril - julio 2,005), aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso, a) Plantación al momento de siembra, b) Parcela a los 33 días después de la siembra, c) Plantación de 54 días después de siembra d) Cultivo a los 76 días después de siembra.

En la parcela B (mayo - julio 2,005), delimitada también en la aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso, se realizaron tres lecturas, las cuales fueron realizadas una al momento de la siembra y las otras dos a los 29 y 51 días después de la siembra del cultivo.

Y de acuerdo al análisis de los datos y basado en los índices de dispersión de Lloyd y Morisita la epidemia para las condiciones de esta parcela, se observó de manera agregada, este comportamiento evolutivo de la enfermedad observada en éste campo de producción puede ser fácilmente visualizada en la figura 19, que constituye un mapa de la distribución espacial de la enfermedad en dicha parcela a los diferentes días después de la siembra del mismo.

En la figura a, puede observarse una representación gráfica de todas las plantas al momento de la siembra, las cuales se encontraban sanas, en la figura b, se representa la plantación a los 29 días después de la siembra, en la cual ya se observan los diferentes focos de infección de la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, a los 51 días después de la siembra del cultivo se realizó la otra lectura en la parcela delimitada en la cual se pueden observar los diferentes puntos infectados por la marchitez bacteriana de una manera agregada o en focos de infección.

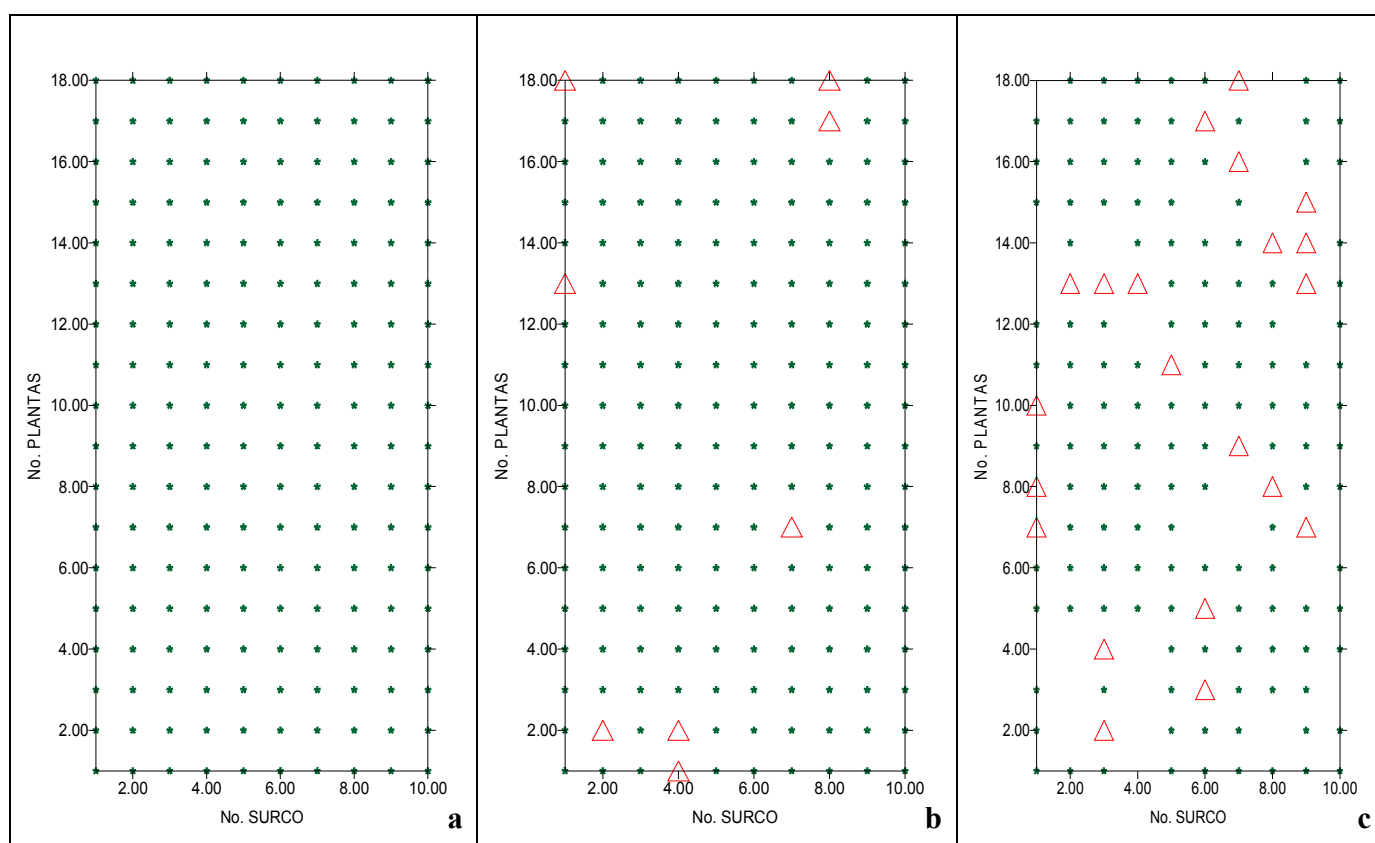


Figura 19. Distribución espacial de la marchitez bacteriana *R. solanacearum*, de la parcela B (mayo – julio 2,005), en aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso. a) Plantación al momento de siembra, b) Parcela a los 29 días después de la siembra, c) Plantación de 51 días después de siembra.

En la figura 20, se muestran los diferentes efectos causados por la marchitez bacteriana en dos y tres dimensiones con respecto a la edad del cultivo de la parcela B (mayo – julio 2,005), en la aldea Los Llanos, El Progreso, Guastatoya, en la gráfica a, se observan las plantas sanas al momento de la siembra, posteriormente en la gráfica b, se pueden observar de otro punto los primeros focos que aparecieron en esa parcela bajo estudio, luego en la grafica c, se puede apreciar la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, ya establecida de una forma agregada en esta parcela en dos y tres dimensiones.

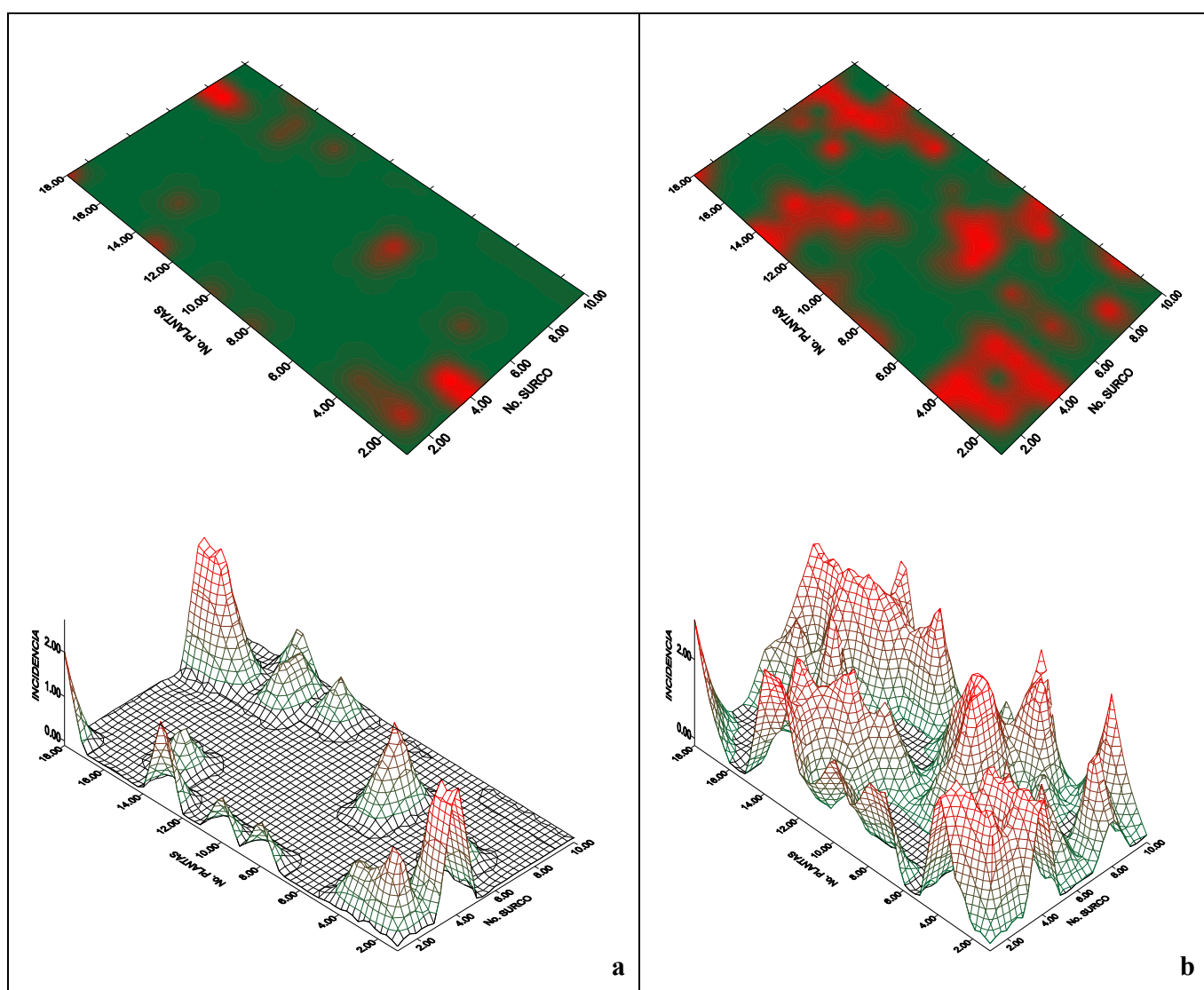
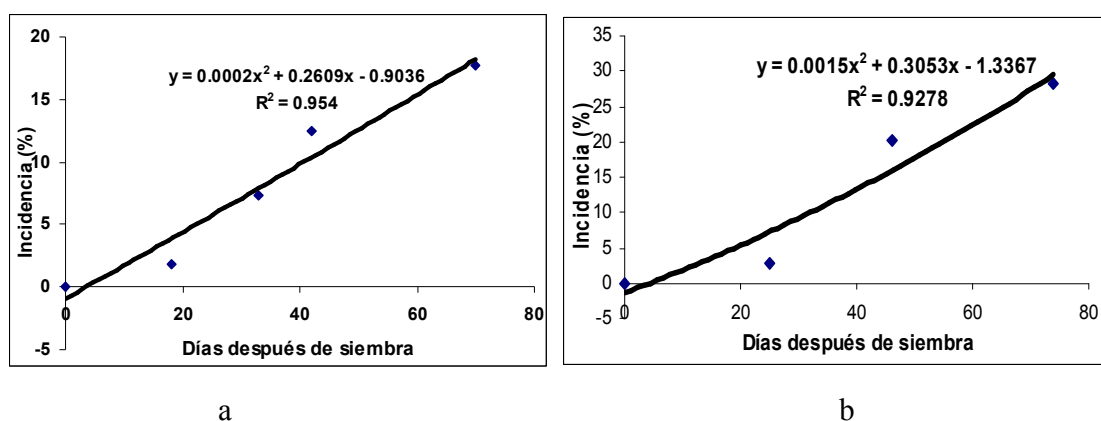


Figura 20. Distribución espacial en dos y tres dimensiones de la marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum*, en la parcela B (mayo - julio 2,005), aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso. a) Parcela a los 29 días después de la siembra, c) Plantación de 51 días después de siembra.

6.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA MARCHITEZ BACTERIANA EN EL ORIENTE DE GUATEMALA.

A. DEPARTAMENTO DE JALAPA

En el análisis temporal para el conjunto de datos obtenidos en la parcela A (octubre - diciembre 2,005), en la localidad San Antonio, Monjas, Jalapa, fueron realizadas 5 lecturas de incidencia de la enfermedad a los 0, 18, 33, 42 y 70 días después de siembra del cultivo como se indicó con anterioridad, se hizo necesaria la utilización del programa SAS (Statistical Analysis System), por lo tanto el modelo que se ajustó a dichos datos en aquella localidad fue el monomolecular ($Y = 0.0002x^2 + 0.2609x - 0.903$), basado en el cuadrado medio del error (0.01873), el coeficiente de determinación (0.95) y gráficos de valores observados versus predicho. Los datos individuales de cada parcela, son presentados en el anexo 2.



Gráfica 1. Curva de la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, en la localidad de San Antonio, Monjas, Jalapa, 2,005 a) análisis temporal de la epidemia para la parcela a (octubre - diciembre), b) análisis temporal de la epidemia de la parcela b (julio - septiembre). Modelo monomolecular.

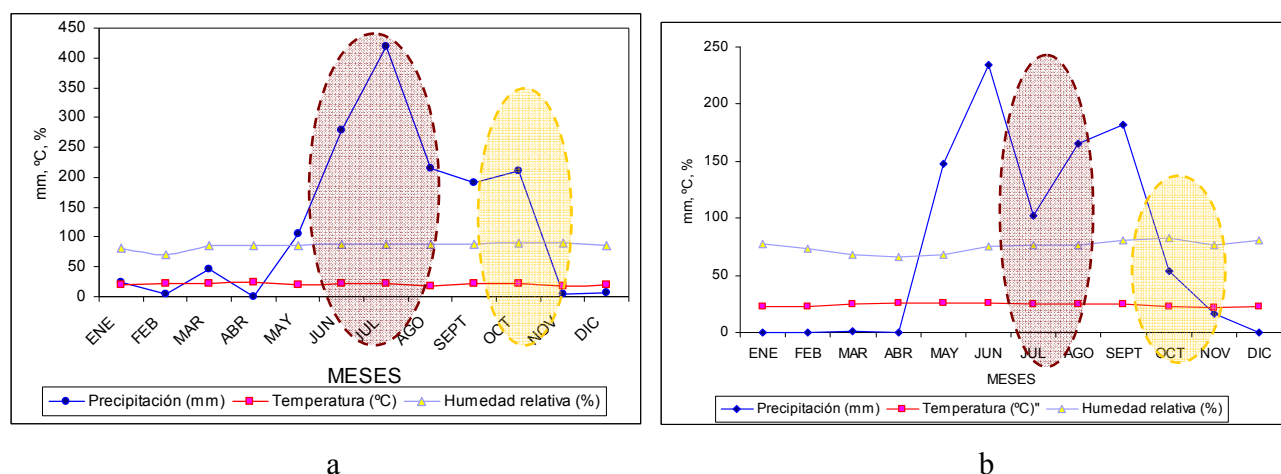
En cuanto a la parcela B (julio – septiembre 2,005), delimitada en la localidad San Antonio, Monjas, Jalapa, como ya se indicó que fueron realizadas cuatro lecturas de incidencia de la enfermedad a los 0, 25, 46 y 74 días después de la siembra del cultivo respectivamente, el modelo que se acopló para esta serie de datos de aquella localidad fue también el modelo monomolecular ($Y = 0.0015x^2 + 0.3053x - 1.3367$), basado en el cuadrado medio del error (0.05019), el coeficiente de determinación (0.9097) y gráficos de valores observados versus predicho.

En éstas parcelas delimitadas en el municipio de San Antonio, Monjas, Jalapa, los agricultores no cuentan con reservorios para agua, sino que el sistema de riego es abastecido directamente desde el río Ostúa, ya que la parcela estaba localizada a orillas del mismo, y el agua es extraída mediante la ayuda de motores especiales para sistemas de riego. Los surcos de la parcela A (octubre - diciembre 2,005), estaban orientados a favor de la pendiente del terreno, lo cual hacía más rápida y fácil la dispersión de la bacteria dentro de las áreas de producción.

Esta parcela tuvo la característica de estar localizado en la parte baja del terreno en los primeros cuatro surcos de cultivo se estancaba el agua debido a que el terreno en esa zona presentaba baja infiltración, por lo cual ahí se hicieron presentes los primeros focos de infección de la marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum*, siendo en estos surcos en los que se manifestó con mayor intensidad la enfermedad conforme se desarrollaba el cultivo dentro de esta parcela de producción.

Dentro de las características climáticas de la localidad San Antonio, Monjas, Jalapa, fue necesaria la recopilación de información registrada en las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH (Instituto de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología), presentes en el departamento de Jalapa, ya que en este departamento se cuenta con dos estaciones meteorológicas que son: Potrero Carrillo y La Ceibita, Jalapa, el resumen de estas estaciones meteorológicas, se presenta en la gráfica 2, para este departamento, la precipitación promedio es de 1,205.7 milímetros, con temperatura media de 22.58 °C y 80 % de humedad relativa.

El período en el que la parcela A (octubre - diciembre 2,005), estuvo establecida, se muestra en la figura punteada de color amarillo, en la cual coincide con el mes de octubre, el cual es un mes en el que la precipitación pluvial todavía esta presente en esta localidad, además, la enfermedad en esta parcela esta favorecida por la precipitación pluvial debido a que se encuentra en el primer mes de que la plantación fue establecida, siendo este período donde se presenta la mayor incidencia de la enfermedad en los campos de producción. La figura punteada de color violeta, muestra exactamente el período en el cual estuvo establecida la parcela B (julio - septiembre 2,005) en el campo, lo cual coincide con los meses en los cuales la precipitación pluvial es alta, favoreciendo así al desarrollo de la enfermedad en esta área de cultivo.



Gráfica 2. Condiciones climáticas de las estaciones meteorológicas del departamento de Jalapa, a) Estación Potrero Carrillo, Jalapa, b) Estación meteorológica La Ceibita, Jalapa. 2,005. Figura de color violeta indica la parcela B en el campo (julio - septiembre), la figura color amarillo indica el período en el que estuvo la parcela A (octubre - diciembre). Fuente: INSIVUMEH, datos promedio de los años 1990 - 2005 (14).

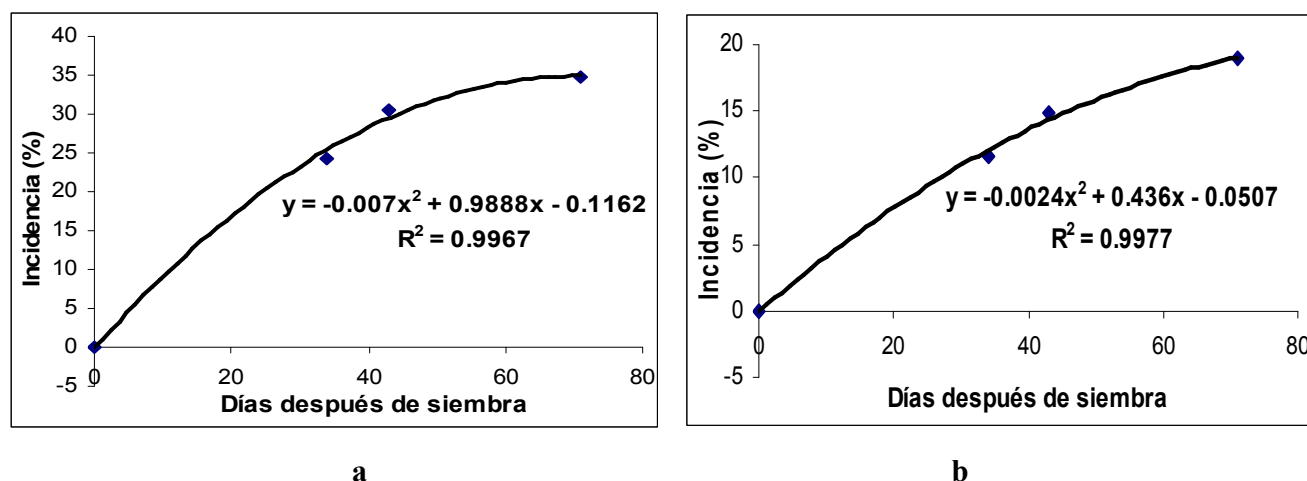
B. DEPARTAMENTO DE JUTIAPA

En la aldea La Esperanza, Agua blanca, Jutiapa, fueron delimitadas dos parcelas, en condiciones de campo abierto, en aquella localidad se realizaron 4 lecturas del avance espacial de la enfermedad en el campo a los 0, 34, 43 y 71 días después de siembra del cultivo.

Los datos obtenidos en la parcela A, fueron analizados mediante la utilización del programa SAS (Statistical Analysis System), siendo el modelo monomolecular ($Y = -0.007X^2 + 0.9888X - 0.1162$), el que se acopló a esta serie de datos, el cual fue acoplado en base al cuadrado medio del error (0.04764), el coeficiente de determinación (0.9374) y gráficos de observado versus predicho.

En la parcela B, estudiada en la misma localidad, también se realizaron 4 lecturas del avance espacial de la enfermedad en el campo a los 0, 34, 43 y 71 días después de siembra del cultivo, debido a que esta parcela fue sembrada en campo definitivo el mismo día que la parcela A, por lo tanto fue el modelo Weibull ($Y = -0.0024X^2 + 0.436X - 0.0507$), el que se acopló a esta serie de datos, este modelo fue seleccionado en base al cuadrado medio del error (0.0095991), el coeficiente de determinación (0.9661) y gráficos de observado versus predicho.

En la gráfica 3, son presentadas las curvas de análisis temporal de la marchitez bacteriana en esta localidad.



Gráfica 3. Curva de progreso de la enfermedad de la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, en la aldea La Esperanza, Agua blanca, Jutiapa, 2005. a) Curva de análisis temporal de la epidemia para la parcela A, b) Curva del análisis temporal de la epidemia de la parcela B. Modelo Weibull.

Dentro de las características más notorias que presentaban las parcelas establecidas en la aldea La Esperanza, Jutiapa, eran que las dos parcelas estaban localizadas en la parte baja de un cerro a los que los agricultores de esa localidad llaman Cerro Colorado a orillas del río España.

Del cerro Colorado, drena agua que finalmente se depositaba en las partes bajas del área de cultivo, donde permanecía encharcado, desarrollándose así condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad ayudando a diseminar la bacteria ya presente en el terreno cultivado, por lo tanto el terreno se mantenía muy húmedo y encharcado en algunas zonas debido a que el agricultor no drenaba su terreno, siendo en estas zonas de encharcamiento en las que se presentó con mayor intensidad la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*.

Posteriormente la escorrentía que se formaba en el terreno cultivado, se dirigía a la corriente del Río España, con ayuda de la pendiente del terreno, lo cual intensifica la presencia de la marchitez bacteriana, puesto que otros agricultores utilizan el agua del río España para regar sus parcelas, logrando así *R. solanacearum*, establecerse en nuevas áreas de producción.

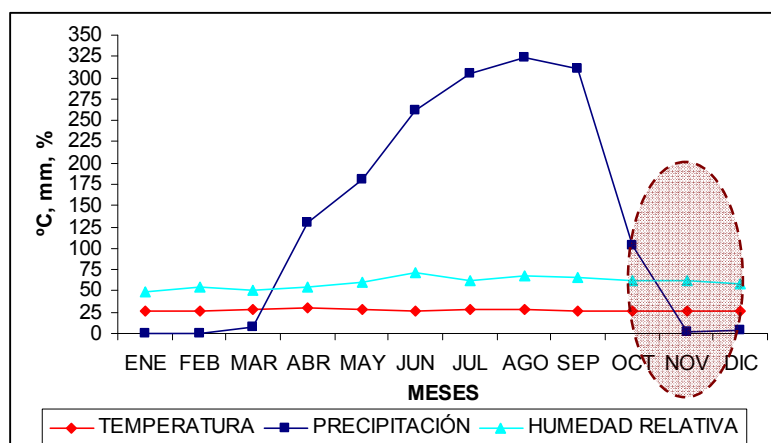
Las mangueras utilizadas para actividades de riego se presentaban en malas condiciones debido al daño causado por roedores además del manejo inadecuado de las mangueras, por lo que existían fugas de agua que posteriormente ayudaron a mantener encharcado el terreno cultivado, lo que es un ambiente favorable para la sobrevivencia de la bacteria en áreas productivas.

Para el estudio de las condiciones climáticas del departamento de Jutiapa fue necesaria la adquisición de los registros climáticos del INSIVUMEH (Instituto de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología), para la estación de Asunción Mita, Jutiapa, la cual es representativa para la aldea La Esperanza debido a la cercanía que esta presentaba con la estación.

La temperatura mínima promedio para este municipio según fuentes del INSIVUMEH, es de 21.6°C y la máxima es 32.5 °C, contando con una precipitación promedio de 1,241.3 milímetros de agua anuales y 66% de humedad relativa. Por lo que esta área, las condiciones climáticas son adecuadas para la presencia de *R. solanacearum*.

En la parcela establecida en la aldea La Esperanza, Agua Blanca, Jutiapa, esta no coincidió con los meses de mayor precipitación, como se representa en la gráfica 4. La figura de color violeta, indica el período en el cual estuvo establecida la parcela en el campo. El factor que favoreció a la marchitez bacteriana en esta localidad fue el mal estado de las mangueras del sistema de riego y la textura del suelo la cual es arcillosa, por lo tanto el poco drenaje del suelo provocó encharcamientos dentro de la zona de producción, lo que resultó ser un ambiente favorable a la bacteria en todo el desarrollo del cultivo como fue indicado con anterioridad.

La gráfica 4, interpreta el comportamiento de los componentes del clima para el municipio de Asunción Mita, Jutiapa, año 2,005.



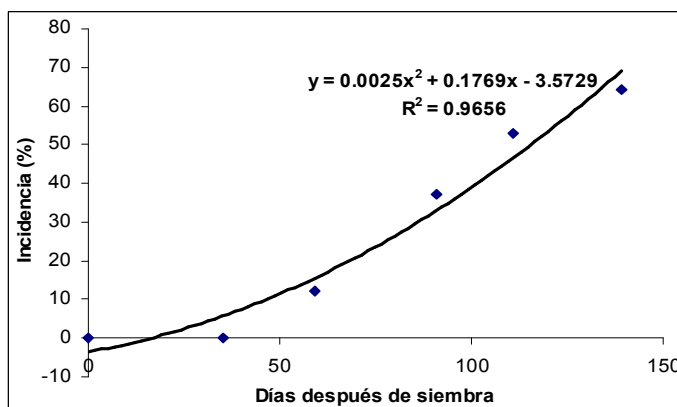
Gráfica 4. Condiciones climáticas de la estación meteorológica del municipio de Asunción Mita, Jutiapa. 2,005. Figura color violeta indica el período en el cual la parcela estuvo establecida en el campo. Fuente: INSIVUMEH, datos promedio de 1990 - 2005 años (14).

C. DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA

De acuerdo al análisis temporal para el conjunto de datos obtenidos en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, localizada en las coordenadas UTM 893424 y 1649610, como fue indicado con anterioridad, esta parcela estaba delimitada bajo condiciones de invernadero, a la cual se le realizaron seis lecturas las cuales fueron al momento de la siembra, luego a los 35, 59, 91, 111 y 139 días después de la siembra, es importante aclarar que el ciclo del cultivo es más prolongado debido a las condiciones climáticas del lugar.

Conforme al análisis de los datos para esta parcela y mediante la utilización del programa SAS (Statistical Analysis System), acoplándose los datos recopilados de esta parcela al modelo Weibull ($Y = 0.0025x^2 + 0.1769x - 3.5729$), basado en el cuadrado medio del error (0.04421), el coeficiente de determinación (0.98) y gráficos de observado versus predicho.

En la gráfica 5, se presenta la curva del análisis temporal de la enfermedad en aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula.



Gráfica 5. Curva de progreso de la enfermedad de la marchitez bacteriana *R. solanacearum*, en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, 2,005. Modelo Weibull.

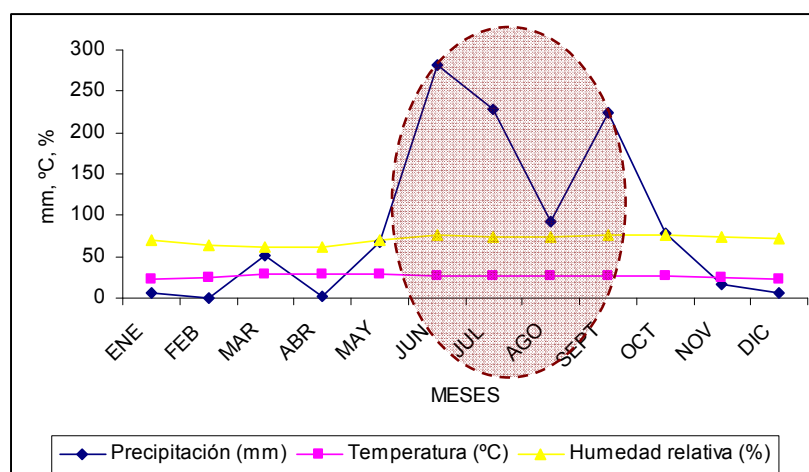
La parcela delimitada en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, como fue especificado que se encontraba bajo condiciones de invernadero a una altitud de 1,146 msnm, la cual estaba ubicada en área de montaña y los surcos de cultivo estaban contruidos perpendicularmente a la pendiente del terreno, el sistema de riego es bajo la tecnología de goteo.

En esta parcela, al momento de aparecer los primeros focos de infección, el agricultor indicó que trataba la manera de no manipular las plantas enfermas y de extraerlas del terreno cultivo, lo cual le era de mucha ayuda puesto que no aceleraba el proceso de infección de las demás plantas.

El factor que ayudó a que en su terreno se dispersara la enfermedad, fue el agua de lluvia y la pendiente, puesto que en una ocasión, el agua de esorrentía ingresó al invernadero pasando sobre la dirección de un foco de infección, y construyéndose una cárcava que atravesó todo los surcos distribuyéndose así la enfermedad en todo el terreno de cultivo.

El resumen de los datos climatológicos esta estación meteorológica, se presenta en la gráfica 6, para este departamento, según fuentes del INSIVUMEH, la temperatura mínima es de 19.6 °C y la máxima 31.6 °C, la precipitación promedio anual es de 963.7 milímetros, presentando una humedad relativa promedio anual de 70 %.

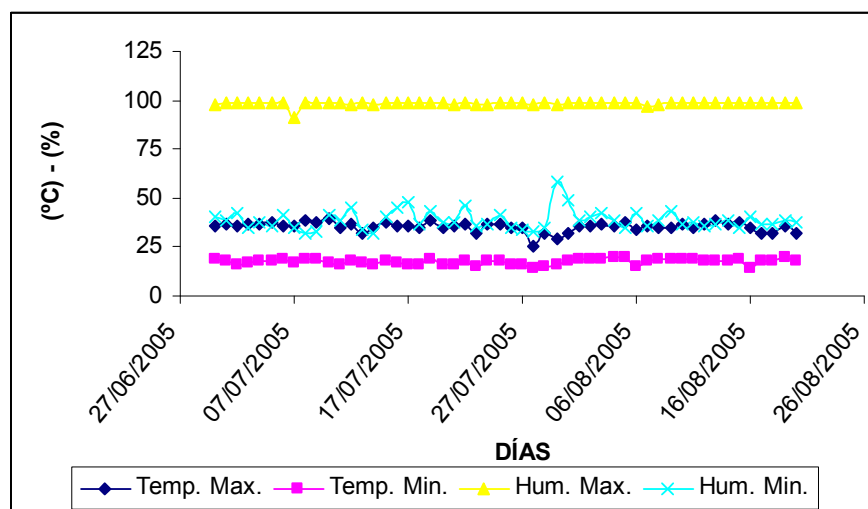
En la gráfica 6, se puede observar el período de mayor precipitación pluvial, este período comprende los meses de junio a octubre, por lo que la parcela establecida en aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, estuvo establecida en esos meses, siendo la precipitación pluvial y la temperatura, los factores que favorecieron a la marchitez bacteriana en esta localidad.



Gráfica 6. Condiciones climáticas de la estación meteorológica del municipio de Jocotán, Chiquimula, 2005. Fuente: INSIVUMEH, datos promedio de 1990 - 2005 años (14).

En esta parcela estudiada, el agricultor contaba con sus propios registros de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero, en esta área de producción la temperatura mínima promedio era de 17.51 °C,

y la máxima promedio 35.37 °C y con una humedad relativa mínima promedio de 38.90 y la máxima de 98.36 %, los datos climáticos, eran registrados diariamente. Las características climáticas que presenta esta área de producción, son favorables para el desarrollo de esta fitobacteria.

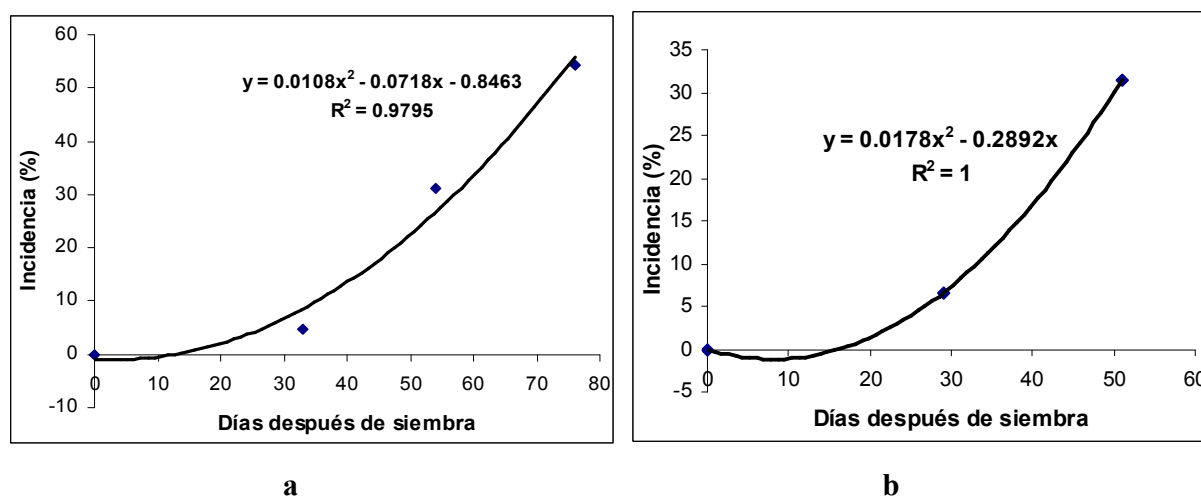


Gráfica 7. Datos climatológicos registrados en la aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula, 2,005.

D. DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO

En la aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso, fueron delimitadas dos parcelas, localizadas en las coordenadas UTM 801517 y 1632834, a la parcela A (abril - julio 2,005), se le practicó cuatro lecturas a partir de la siembra luego a los 33, 54 y 76 días después de siembra del cultivo, estas lecturas fueron de mucha utilidad para el análisis temporal de la epidemia en la localidad mencionada. Los datos obtenidos en la parcela A, fueron analizados mediante la utilización del programa SAS (Statistical Analysis System), siendo el modelo Logístico ($Y = 0.0108X^2 - 0.0718X - 0.8463$), el que se acopló a esta serie de datos, el cual fue acoplado en base al cuadrado medio del error (0.05203), el coeficiente de determinación (0.9717) y gráficos de valores observados versus predicho.

En la parcela B (mayo – julio 2,005), estudiada en la misma localidad, fueron practicadas 3 lecturas de incidencia de la enfermedad, las cuales se realizaron a los 0, 29 y 51 días después de siembra del cultivo, debido a que esta parcela fue sembrada en campo definitivo en diferente fecha que la parcela A, pero el modelo que se acopló para esta otra serie de datos fue también el modelo Logístico ($Y = 0.0178X^2 - 0.2892X$), siempre basado en el cuadrado medio del error (0.0057403), el coeficiente de determinación (0.9994) y gráficos de observado versus predicho. En la gráfica 8, son presentadas las curvas de progreso de la enfermedad de la marchitez bacteriana en esta localidad.



Gráfica 8. Curvas de progreso de la enfermedad de la marchitez bacteriana en la aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso, 2,005. Modelo logístico. a) análisis temporal de la epidemia para la parcela A (abril - julio 2,005). Modelo logístico, b) análisis temporal de la epidemia de la parcela B (mayo - julio 2,005).

En estas parcelas delimitadas en el departamento de El Progreso, fue notorio observar en la parcela A (abril - julio 2,005), que tiene tres pendientes y en el centro del terreno se forma una cárcava que conduce a las parcelas bajas que son utilizadas para actividades de pastoreo y el agua de drenaje proveniente de la cárcava conduce al río que abastece el sistema de riego.

Los surcos cultivados con tomate de dicha parcela, estaban contruidos a favor de la pendiente del terreno, lo cual favoreció la diseminación acelerada de la bacteria en todo el terreno.

La textura del suelo de aquella área de producción, es franco arcillo arenosa y partes arcillosas, por lo tanto el suelo, se mantenía por mas tiempo húmedo en las capas inferiores y fue favorable para la presencia de *R. solanacearum* en esta parcela de producción.

El sistema de riego establecido por el agricultor, fue bajo la tecnología de goteo, el cual es abastecido por un reservorio cubierto con plástico negro para evitar la infiltración y pérdida del líquido, es importante también mencionar que este agricultor regó durante todo el ciclo del cultivo con agua probablemente contaminada con la bacteria debido a que el reservorio era llenado con agua de lluvia que atravesaba otras áreas ya contaminadas con esta fitobacteria.

En esta área de producción fueron observadas dos especies de malezas infectadas por *Ralstonia solanacearum*, verdolaga *Portulaca oleracea* y hierba mora *solanum americanum*, estas malezas presentaban la misma sintomatología que el cultivo establecido (Figura 6-e, f).

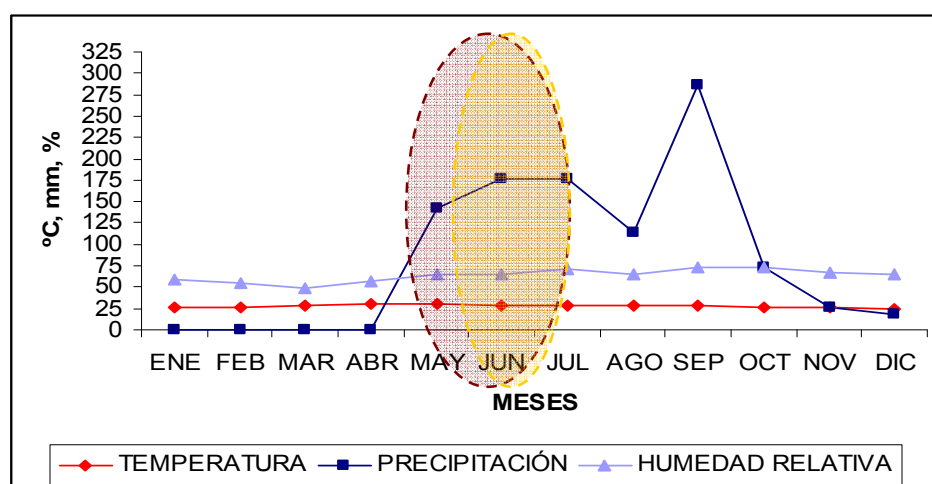
La estación meteorológica que está ubicada en el municipio de Morazán, El Progreso, se tomó como base para fines de análisis de las condiciones climatológicas de la aldea Los Llanos, Sanarate, El Progreso,

debido a la cercanía que existe entre dichos municipios, siendo necesaria la adquisición de los registros climáticos del INSIVUMEH (Instituto de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología).

Según datos de la estación de Morazán, se registra una temperatura mínima promedio de 19.7 y la máxima es 34.3, contando con una precipitación promedio anual de 780.5 milímetros de agua anuales y 62% de humedad relativa, temperatura de suelo 25°C, registrado a las 7:00 horas de la mañana.

En la gráfica 9, es posible observar el comportamiento de los componentes del clima para el municipio de Morazán, El Progreso.

La marchitez bacteriana en esta localidad, fue favorecida por la precipitación pluvial, como se puede observar en la gráfica 9, correspondiendo la figura punteada de color violeta a la parcela B y la de color amarillo a la parcela A, ambas parcelas fueron cultivadas en los meses de abril a agosto.



Gráfica 9. Factores climáticos de la estación meteorológica del municipio de Morazán, El Progreso, 2005. Círculo de color violeta indica la parcela B (mayo – julio 2,005), círculo de color amarillo indica la parcela A (abril - julio 2,005) Fuente: INSIVUMEH, datos promedio de años 1990 - 2005 (14).

6.4 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA MARCHITEZ BACTERIANA EN EL ORIENTE DE GUATEMALA

Para el estudio de la distribución geográfica de la marchitez bacteriana, en la zona oriental de Guatemala, fue necesaria la utilización de un GPS, el cual fue llevado en cada visita de campo a la zona antes mencionada, logrando así registrar la ubicación de las diferentes parcelas que presentaron el problema con la fitobacteria *R. solanacearum*, así como también se registraron las parcelas que no presentaban la marchitez bacteriana.

A estas parcelas se les monitoreaba en cada visita de campo debido a que eran campos de producción propensos a ser infectados por la bacteria. En el mapa 1, son presentadas las diferentes localidades en los departamentos que fueron contemplados en el estudio, así como también los puntos registrados con GPS.

Según Coelho & Nutter, Jr. (1995), implementaron el uso de GPS y tecnología GIS, para la construcción de mapas y la prevalencia de la enfermedad del Moko del banano en la región de Amazonas, Brazil, en la cual la enfermedad del Moko del banano fue encontrada en 5 a 15 municipalidades en la región de Amazonas en 2001 y la incidencia de la enfermedad dentro de estas municipalidades arregladas de 11 a 100%.

En dicho mapa, se pueden apreciar los puntos rojos que presentan las diferentes localidades con presencia de la marchitez bacteriana, así como también los puntos verdes que señalan las diferentes parcelas que fueron registradas y consideradas como áreas libres del patógeno, debido a que no presentaban problemas con la fitobacteria bajo estudio. Esto es importante porque la bacteria *Ralstonia solanacearum* no es un problema generalizado en el oriente de Guatemala. Existen áreas con serios problemas y áreas libres de la enfermedad que deben cuidarse para evitar la entrada de este patógeno. Estas últimas, normalmente están en campos donde los agricultores riegan con agua de pozo o alejadas de ríos.

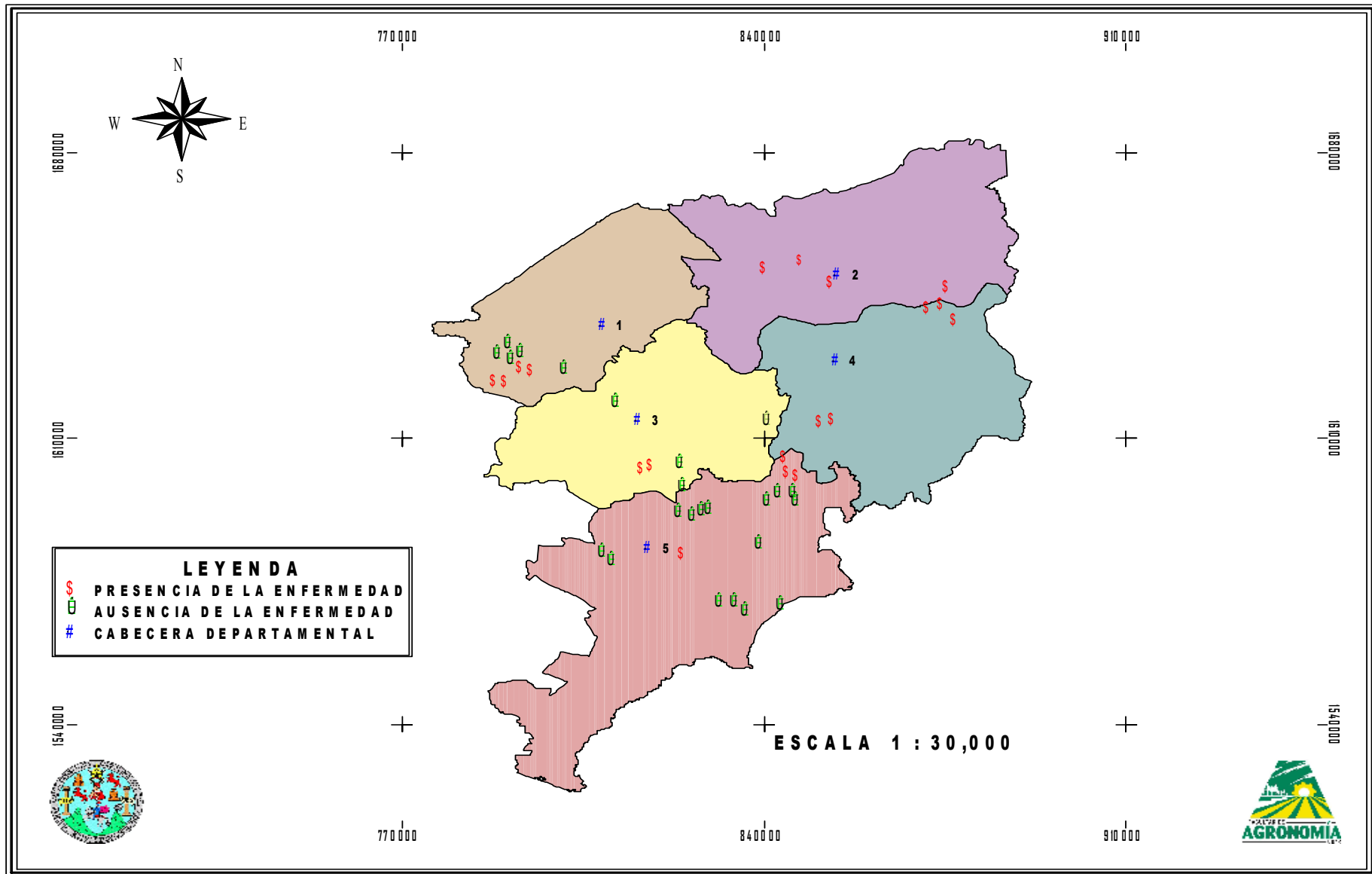
Los puntos registrados con la ayuda de GPS (Maguellan), son presentados en el cuadro 4, y fueron de utilidad para la construcción del presente mapa, desarrollado mediante la ayuda del programa Arcview GIS, el cual es un sistema que provee el análisis y las herramientas de escritorio necesarias para manejar la información geográfica.

Cuadro 4. Listado de localidades registradas con GPS (Maguellan), para el estudio epidemiológico de la marchitez bacteriana *Ralstonia solanacearum*, en el cultivo de tomate *Lycopersicon sculentum* Mill. en el oriente de Guatemala.

LOCALIDAD	COORDENADAS		PRESENCIA DE ENFERMEDAD	AUSENCIA DE ENFERMEDAD
	UTM			
Los Llanos, El Progreso	801517	1632834	X	
Los Llanos, El Progreso	799709	1633609	X	
Aldea San Miguel Conacaste, El Progreso	797194	1639560		X
Aldea San Miguel Conacaste, El Progreso	796222	1637771		X
Aldea El Upayón, El Progreso	798022	1637321		X
Aldea El Upayón, El Progreso	799276	1638119		X
Aldea Los Cerritos, Sansare, El Progreso	810062	1633533		X
Aldea Los Planes, San Antonio la Paz, El Progreso	793598	1628946	X	
Aldea Los Planes, San Antonio la Paz, El Progreso	793464	1629087	X	

LOCALIDAD	COORDENADAS		PRESENCIA DE ENFERMEDAD	AUSENCIA DE ENFERMEDAD
	UTM			
Aldea El Obraje, Monjas, Jalapa	836662	1608455		X
Aldea Chaguite, Monjas, Jalapa	822100	1624970		X
San Antonio, Monjas, Jalapa	827634	1606767	X	
San Antonio, Monjas, Jalapa	830002	1607750	X	
Aldea La Campana, Monjas Jalapa	837695	1601556		X
Aldea Culima, San Luis Jilotepeque, Jalapa	856852	1618745		X
Aldea El Obrajuelo, Agua Blanca, Jutiapa	862829	1600867		X
Aldea La Acequia, Jutiapa	838537	1585364	X	
Aldea La Esperanza, Jutiapa	859456	1608655	X	
Aldea Guayavillas, Agua Blanca, Jutiapa	859168	1600699		X
Aldea La Tuna, Agua Blanca, Jutiapa	857993	1599456		X
Aldea El Tempisque, Agua Blanca, Jutiapa	863459	1604694	X	
Aldea El Tempisque, Agua Blanca, Jutiapa	863326	1604921	X	
Laguna de Retana, El Progreso, Jutiapa	840171	1593991		X
Laguna de Retana, El Progreso, Jutiapa	838650	1594886		X
Laguna de Retana, El Progreso, Jutiapa	841335	1594886		X
Laguna de Retana, El Progreso, Jutiapa	841693	1595468		X
Asunción Mita, Jutiapa	855006	1586953		X
Atescatempa, Jutiapa	851828	1569334		X
San Cristobal, Frontera, Atescatempa, Jutiapa	859863	1570640		X
El Jícaro, Yupiltepeque, Jutiapa	848893	1571768		X
Yupiltepeque, Jutiapa	846298	1571768		X
Aldea El Tobón, Agua Blanca, Jutiapa	863451	1598665		X
Aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula	893424	1649610	X	

LOCALIDAD	COORDENADAS		PRESENCIA DE ENFERMEDAD	AUSENCIA DE ENFERMEDAD
	UTM			
Aldea El Barbasco, Jocotán, Chiquimula	895251	1650594	X	
Aldea La Coronada, Ipala, Chiquimula	868508	1619305	X	
Aldea La Coronada, Ipala, Chiquimula	868790	1619819	X	
La Fragua, Zacapa	871171	1656446	X	
Río Hondo, Zacapa	864054	1662391	X	



Mapa 1. Mapa de los departamentos del oriente de Guatemala. 1. El Progreso, 2. Zacapa, 3. Jalapa, 4. Chiquimula, 5. Jutiapa. Triángulos rojos indican localidades con problemas de *Ralstonia solanacearum*, estrellas verdes son localidades consideradas libres del patógeno, 2,005.

7. CONCLUSIONES

Los principales aspectos epidemiológicos que favorecen la marchitez bacteriana en el cultivo de tomate en zonas productoras del oriente de Guatemala, comprenden la falta de cultivares de tomate resistentes a *Ralstonia solanacearum*. Deficiencias en labores de manejo del cultivo principalmente en el uso y calidad de agua de riego. No implementar la desinfección de herramientas, zapatos, estacas o tutores, automóviles, motocicletas, tractores e implementos de mecanización agrícola. Ausencia de pediluvios en la entrada del área de cultivo, excepto en invernadero. Mal manejo del material vegetal post-cosecha y frutos de rechazo provenientes de plantas infectadas por la bacteria, los cuales en su mayoría son colocados en los extremos de áreas de siembra o a orillas de ríos, factor importante en la contaminación de fuentes de agua para riego. Traslado de material y aperos de labranza de un terreno sin considerar factores de riesgo.

Algunas malezas que crecen dentro de las áreas de cultivo de tomate, favorecen la supervivencia de *Ralstonia solanacearum*. Especies botánicas como verdolaga *Portulaca oleracea* y hierba mora *Solanum americanum* son hospederas sintomáticas en campos de cultivo en el oriente de Guatemala.

La incidencia de la marchitez bacteriana en las diferentes parcelas estudiadas fue variable. Se cuantificó incidencia entre 1.87% hasta 64.46% durante el desarrollo del cultivo. Los valores fueron bajos al inicio y se incrementaron progresivamente. Los síntomas de la enfermedad fueron marchitez de plantas en diferentes etapas de desarrollo del cultivo, necrosis del sistema vascular, proliferación de raíces, enanismo y plantas afectadas en etapa de fructificación producen frutos pequeños no aptos para comercialización.

La distribución espacial de la marchitez bacteriana en el oriente de Guatemala según los índices de dispersión de Lloyd y Morisita, se presenta de manera agregada o en focos en las primeras fases del cultivo que comprende de 15 - 30 días después de siembra y luego se uniformiza con el avance del desarrollo de la enfermedad y ciclo del cultivo.

En el análisis temporal de la enfermedad, los modelos que se ajustaron a la serie de datos de incidencia obtenidos en el estudio de la marchitez bacteriana en las diferentes parcelas establecidas en la zona oriental de Guatemala fueron modelo monomolecular, modelo weibull y modelo logístico.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar investigación para el mejoramiento y generación de genotipos de tomate resistentes a la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, como principal alternativa práctica, viable, y económica para solucionar el problema dado que los cultivares utilizados por los agricultores en el oriente de Guatemala en la actualidad (2006) son susceptibles al patógeno.
- En áreas libres de esta fitobacteria, se deben implementar medidas de exclusión, y en áreas con problemas de marchitez bacteriana, realizar manejo integrado de la enfermedad, el cual debe integrar prácticas como, desinfestación continua de implementos agrícolas, construcción de pediluvios en la entrada de la parcela de siembra, evitar traslado de equipo y materiales utilizados en parcelas con presencia de marchitez bacteriana a otras áreas libres de la enfermedad, utilización de plantas sanas en cada ciclo de cultivo, eliminación y quema de plantas infectadas con la bacteria en campos de cultivo, eliminación de restos de cosecha de las parcelas de cultivo, uso de agua de buena calidad para riego, evitar encharcamientos dentro de las parcelas y mantener la plantación libre de plantas hospederas, rotación de cultivos con gramíneas u otra familia diferente a solanáceas uso de injertos con solanáceas resistentes al patógeno y modificación de fechas de siembra, entre otras prácticas, son necesarias y que a corto plazo pueden reducir la enfermedad.
- Instruir a los agricultores en el peligro que representa el tirar material post-cosecha y frutos provenientes de plantas infectadas con la bacteria en ríos, reservorios y otras fuentes de agua. De ser posible, procurar la legislación para evitar mayor diseminación del patógeno.
- No realizar aplicaciones de productos químicos dirigidos a *Ralstonia solanacearum*, debido a que en la actualidad no existen productos específicos para este patógeno.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Agrios, NG. 2002. Fitopatología. 4 ed. México, Limusa. 838 p.
2. Allen, C; Mejía, L. 2004. La marchites bacteriana del tomate causada por *Ralstonia solanacearum*. In Métodos moleculares para diagnóstico de patógenos y mejoramiento para resistencia en vegetales (2004, Guatemala). Memorias. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía CONCYT / SENACIT / USAID. sección 6, 6 p.
3. Amorim, L. 1995. Avaliação das doenças. In Bergamin Filho, A; Kimati, H; Amorin, L. (Eds.). Manual de fitopatología. 3 ed. Brasil, CERES. p. 647-690.
4. Bald, JG. 1937. Investigations on "spotted wilt" of tomatoes: III, infection in field plots. Bull Council Sci Ind. Res. 106:32.
5. Bergamin Filho, A; Amorin, L. 1996. Doenças das plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. Brasil, CERES. 299 p.
6. Buddenhagen, LM; Kelman, A. 1964. Biological and physiological aspects of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. Phytopathology 2:203-30.
7. Campbell, CL; Madden, LV. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. US, Willey Press. 532 p.
8. Campbell, CL; Jacobi, WR; Powel, NT; Main, CE. 1984. Analysis of disease progression and the randomness of occurrence of infected plants during tobacco black shank epidemics. Phytopathology 74:230-235.
9. Campbell, CL; Noe, P. 1985. The spatial analysis of soilborne pathogens and root diseases. Annu. Rev. Phytopathol. 23:127-148.
10. Coelho, RA; Nutter, F.W. Use of GPS and GIS technologies to map the prevalence of Moko disease of banana in the Amazonas region of Brazil (1995). In: Allen, C.; Prior, P. & Hayward, A.C. (Ed.). Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex. APS, Minnesota, p. 431-435.
11. Gilligan, CA. 1982. Statistical analysis of the spatial pattern of *Botrytis fabae* on *Vicia faba*: a methodological study. Trans. Br. Mycol. Soc. 79:193-200.
12. Goto, M. 1992. Fundamentals of bacterial plant pathology. San Diego, US, Academic Press. 342 p.
13. Hayward, AC. 1991. Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. Annu Rev Phytopathology 29:65-87.
14. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2005. Datos meteorológicos de los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa, Jutiapa y Zacapa de los años 1991 al 2004. Guatemala. 1 Hoja electrónica.
15. Juliatti, FC; Santos, MA Dos. 1999. Métodos de avaliação de doenças de plantas induzidas por fungos e por nematóides. Rev. Anual de Patologia de Plantas 7:407-445.

16. Kelman, A. 1953. The bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*, a literature review and bibliography. NC. Agric. Exp. Station. 194 p. (Tech. Bull. 99).
17. _____; Sequeira, L. 1965. Root-to-root spread of *Pseudomonas solanacearum*. Phytopathology 55:304-309.
18. Loarca Marroquín, JL. 1987. Estudio del patosistema *Solanum-Pseudomonas* y alternativas de control químico aplicado a semilla, en dos municipios del departamento de Quetzaltenango. Tesis Ing Agr. Guatemala, USAC. 64 p.
19. 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. Tesis Ing Agr. Guatemala, USAC. 43 p.
20. Mejía, L. 2001. Mosca blanca; resistencia genética en el tomate, a la virosis transmitida por la mosca blanca. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. p. 2-3.
21. Melo, MS De. 1995. Avaliação de plantas cultivadas como hospederas de *Pseudomonas solanacearum* em condições de casa-de-vegetação. Tese MSc. Brasília DF, Brasil, Universidade de Brasília. 51 p.
22. Orozco Miranda, EF. 1997. Colonização de raízes de plantas daninhas por *Ralstonia solanacearum in vitro* e em casa-de-vegetação. Tesis MSc. Brasília DF, Brasil, Universidade de Brasília. 114 p.
23. Palleroni, NJ. *et al.* 1973. Nucleic acid homologies in the genus *Pseudomonas*. Int. J. Syst. Bacteriol 23: 333-339.
24. Pielou, EC. 1977. Mathematical ecology. New York, US, Wiley. 358 p.
25. Robbs, CF. 1960. Tratamento de tubérculos sementes de batatinha. *Solanum tuberosum* con estreptomycin visando o controle de doenças bacterianas: bacterioses fitopatogenas no Brasil. Brasil, Universidade Rural, Instituto de Economia Rural. p. 39-41. (Serie Divulgação de Pesquisas, No.-2).
26. Schieber, E. 1965. Marchitez bacteriana de la papa. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. s.p.
27. Smith, EF. 1986. A bacterial disease of the tomato, egg-plant and irish potato *Bacillus solanacearum* nov. sp.). Phys. and Path. Bul. 12:1-28.
28. Taylor, LR. 1984. Assessing and interpreting the spatial distribution of insect populations. Annu. Rev. Entomol. 29:321-357.
29. Yabuuchi, E. *et al.* 1992. Proposal of *Burkholderia* gen. Nov. and transfer of seven species of the genus *Pseudomonas* homology group II to the new genus with the type species *Burkholderia cepacia* (Palleroni and Holmes 1981). Microbiol. Immunol 36:1251-1275.
30. Zadoks, JC; Schein, RD. 1979. Epidemiology and plant disease management. US, Oxford University Press. 427 p.
31. Zhang, YX; Hua, J; HE, LY. 1993. Effect of infected ground nut seeds on transmission of *Pseudomonas solanacearum*. ACIAR Bacterial Wilt Newsletter 9:9-10.

10. ANEXOS

Anexo 1. Índice de dispersión de Morisita y Lloyd, proveniente del análisis de datos obtenidos de las parcelas delimitadas en la zona oriental de Guatemala 2,005.

LOCALIDAD	DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA	ÍNDICE		ÍNDICE DE DISPERSIÓN
		MORISITA	LLOYD	
Aldea Sn. Antonio, Monjas, Jalapa	0	*	*	*
	18	1.0667	1.0593	Agregado
	18	2.0000	2.0000	Agregado
	33	1.4316	1.4373	Agregado
	33	1.2632	1.2849	Agregado
	42	1.3079	1.3422	Agregado
	42	0.9839	0.9688	Uniforme
	70	1.2877	1.3218	Agregado
	70	0.9846	0.9700	Uniforme
Aldea Sn. Antonio, Monjas, Jalapa	0	*	*	*
	25	1.7143	1.6667	Agregado
	25	0.6667	0.5556	Uniforme
	46	1.1698	1.2221	Agregado
	46	1.0106	1.0207	Agregado
	74	1.2463	1.3241	Agregado
	74	1.0243	1.0478	Agregado
Aldea La Esperanza, Ipala, Chiquimula.	0	*	*	*
	34	1.0514	1.0983	Agregado
	34	0.9953	0.9908	Uniforme
	34	0.9481	0.9457	Uniforme
	43	1.0040	1.0078	Agregado
	43	1.0112	1.0147	Agregado
	43	0.9921	0.9917	Uniforme
	71	1.0067	1.0131	Agregado
	71	1.0205	1.0271	Agregado
	71	1.0016	1.0016	Agregado

LOCALIDAD	DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA	INDICE		ÍNDICE DE DISPERSIÓN
		MORISITA	LLOYD	
Aldea La Esperanza, Ipala, Chiquimula.	0	*	*	*
	34	1.0455	1.0882	Agregado
	34	1.7053	1.8933	Agregado
	34	1.3905	1.4958	Agregado
	43	1.0529	1.1033	Agregado
	43	1.7826	2.0000	Agregado
	43	1.3333	1.4259	Agregado
	71	1.0649	1.1276	Agregado
	71	1.6533	1.8363	Agregado
	71	1.4180	1.5374	Agregado
Aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula.	0	*	*	*
	35	*	*	*
	59	1.1282	1.1666	Agregado
	91	0.9815	0.9756	Uniforme
	111	1.0164	1.0217	Agregado
	139	0.9946	0.9928	Uniforme
Aldea Los Llanos, El Progreso, Guastatoya	0	*	*	*
	33	0.8000	0.6800	Uniforme
	33	1.3333	1.4148	Agregado
	33	0.5714	0.5714	Uniforme
	33	1.1636	1.1983	Agregado
	54	1.1327	1.2599	Agregado
	54	1.1596	1.3151	Agregado
	54	1.0502	1.0989	Agregado
	54	1.0929	1.1833	Agregado
	76	1.1776	1.3515	Agregado
	76	1.0527	1.1045	Agregado
	76	1.0669	1.0758	Agregado
76	1.1243	1.2463	Agregado	

LOCALIDAD	DÍAS DESPUÉS DE SIEMBRA	INDICE		ÍNDICE DE DISPERSIÓN
		MORISITA	LLOYD	
Aldea Los Llanos, El Progreso, Guastatoya.	0	*	*	*
	29	1.1619	1.3022	Agregado
	29	1.0667	1.0593	Agregado
	51	1.0011	1.0022	Agregado
	51	1.0496	1.0556	Agregado

CRITERIO DE DECISIÓN PARA INDICES DE DISPERSIÓN LLOYD Y MORISITA	
<i>VALOR DEL ÍNDICE</i>	<i>ÍNDICE DE DISPERSIÓN</i>
> 1	AGREGADO
= 1	ALEATORIO
< 1	UNIFORME

Anexo 2. Modelos determinados mediante el programa SAS (Statistical Analysis System), en la distribución temporal de la marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum*, en la zona oriental de Guatemala.

LOCALIDAD	MODELO	Root MSE	R-Square	ADJ R-Sq
Aldea Sn. Antonio, Monjas, Jalapa.	EXPONENCIAL	0.03187	0.8593	0.8123
	➤ MONOMOLECULAR	0.01873	0.9514	0.9352
	LOGISTICO	0.03052	0.8709	0.8279
	WEIBULL	0.02146	0.9336	0.9004
	RICHARDS	0.14710	-1.9988	-2.9983
Aldea Sn. Antonio, Monjas, Jalapa.	EXPONENCIAL	0.06342	0.8558	0.7837
	➤ MONOMOLECULAR	0.05019	0.9097	0.8645
	LOGISTICO	0.05922	0.8742	0.8114
	WEIBULL	0.05887	0.8978	0.7957
	RICHARDS	0.05922	0.8742	0.8114
Aldea La Esperanza, Ipala, Chiquimula.	EXPONENCIAL	0.10107	0.7183	0.5775
	➤ MONOMOLECULAR	0.04764	0.9374	0.9061
	LOGISTICO	0.09306	0.7612	0.6418
	WEIBULL	0.02543	0.8814	0.7627
	RICHARDS	0.09306	0.7612	0.6418
Aldea La Esperanza, Ipala, Chiquimula.	EXPONENCIAL	0.04466	0.7991	0.6987
	MONOMOLECULAR	0.01756	0.9689	0.9534
	LOGISTICO	0.04271	0.8162	0.7243
	➤ WEIBULL	0.0095991	0.9661	0.9323
	RICHARDS	0.04271	0.8162	0.7243
Aldea El Volcán, Jocotán, Chiquimula.	EXPONENCIAL	0.09623	0.9039	0.8798
	MONOMOLECULAR	0.11645	0.8592	0.8240
	LOGISTICO	0.05821	0.9648	0.9560
	➤ WEIBULL	0.04421	0.9800	0.9733
	RICHARDS	0.05821	0.9648	0.9560

AGRICULTOR	MODELO	Root MSE	R-Square	ADJ R-Sq
Aldea Los Llanos, El Progreso, Guastatoya.	EXPONENCIAL	0.07099	0.9473	0.9209
	MONOMOLECULAR	0.13564	0.8075	0.7112
	➤ LOGISTICO	0.05203	0.9717	0.9575
	WEIBULL	0.05230	0.9778	0.9556
	RICHARDS	0.45207	-1.386	-2.2079
Aldea Los Llanos, El Progreso, Guastatoya.	EXPONENCIAL	0.079915	0.9988	0.9977
	MONOMOLECULAR	0.10232	0.8106	0.6212
	➤ LOGISTICO	0.0057403	0.9994	0.9988
	WEIBULL	*	*	*
	RICHARDS	0.34317	-1.1308	-3.2616