



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO  
POSTGRADO DE FITOSANIDAD  
FITOPATOLOGÍA

## LA MUERTE DESCENDENTE Y NECROSIS FLORAL DEL ZAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) EN GUERRERO, MÉXICO

### ALFONSO VÁSQUEZ LÓPEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2008

La presente tesis titulada: **La muerte descendente y necrosis floral del zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) en Guerrero, México** realizada por el alumno **ALFONSO VÁSQUEZ LÓPEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD  
FITOPATOLOGÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO: \_\_\_\_\_  
**DR. JOSÉ ANTONIO MORA AGUILERA**

ASESOR: \_\_\_\_\_  
**DR. DANIEL TÉLIZ ORTÍZ**

ASESOR: \_\_\_\_\_  
**DRA. ELIZABETH CÁRDENAS SORIANO**

ASESOR: \_\_\_\_\_  
**DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA**

ASESOR: \_\_\_\_\_  
**DR. VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ**



## ***AGRADECIMIENTOS***

**Con profundo respeto al Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas**

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por darme la oportunidad de  
concluir mis estudios Doctorales**

**A la Fundación Produce de Guerrero A. C. por brindarme el apoyo económico para  
culminar satisfactoriamente mi investigación Doctoral.**

**Un sincero reconocimiento a mis profesores:**

**Dr. José Antonio Mora Aguilera**

**Dr. Daniel Téliz Ortíz**

**Dra. Elizabeth Cárdenas Soriano**

**Dr. Prometeo Sánchez García**

**Dr. Víctor A. González Hernández.**

**Por su atención durante el desarrollo de mi investigación**

**Al Dr. Cristian Nava Díaz, Dr. Javier Hernández Morales y al M. C. Jorge Valdez Carrasco  
por todo el apoyo que me brindaron.**

**Al Dr. Rafael Pérez Pacheco. CIIDIR-IPN-OAXACA**

**Por su apoyo y amistad**

**Con gratitud a:**

**Sr. Carmelo H. Ramírez Guerrero**

**Sr. Alfonso Pardo**

**Sr. Germán Cid Gómez**

**Productores de zapote mamey en Alpoyeca, Guerrero, México.**

*DEDICATORIA*

A dos personas excepcionales en mi vida

*Rubí y Linda*

**Este estudio forma parte del proyecto de investigación de zapote mamey en la Cañada de Huamuxtitlán, Guerrero, México, financiado por la Fundación Produce de Guerrero, A. C. bajo la dirección del Dr. Antonio Mora Aguilera.**

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
Objetivos .....	6
Literatura citada .....	7
<b>CAPÍTULO I. ETIOLOGÍA E HISTOPATOLOGÍA DE LA MUERTE DESCENDENTE DE ÁRBOLES DE MAMEY (<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) EN GUERRERO, MÉXICO .....</b>	<b>10</b>
Resumen .....	10
Abstract .....	11
Introducción .....	12
Materiales y métodos .....	13
Resultados y discusión .....	18
Conclusiones .....	29
Literatura citada .....	30
<b>CAPÍTULO II. ETIOLOGÍA Y EPIDEMIOLOGÍA DE LA NECROSIS</b>	

<b>FLORAL DE ÁRBOLES DE MAMEY (<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) EN GUERRERO, MÉXICO .....</b>	<b>34</b>
Resumen .....	34
Abstract .....	36
Introducción .....	38
Materiales y métodos .....	39
Resultados y discusión .....	46
Conclusiones .....	61
Literatura citada .....	61

<b>CAPÍTULO III. MAPAS EDAFOLÓGICOS Y EFECTO NUTRIMENTAL E HÍDRICO EN ÁRBOLES DE MAMEY (<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) EN GUERRERO, MÉXICO .....</b>	
Resumen .....	66
Abstract .....	66
Introducción .....	67
Materiales y métodos .....	68
Resultados y discusión .....	76
Conclusiones .....	80
Literatura citada .....	95
	96

## ÍNDICE DE CUADROS

### CAPÍTULO I

	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b> Severidad de daños en la pulpa de frutos de mamey ( <i>Pouteria sapota</i> ) en madurez fisiológica causados por cinco aislamientos de <i>Lasiodiplodia</i> sp. a 12 días de inoculados por heridas en laboratorio.	<b>19</b>

## CAPÍTULO II

- Cuadro 1.** Modelos epidemiológicos empleados para caracterizar el progreso temporal de incidencia de necrosis floral (*Penicillium olsonii*, *Alternaria alternata* y *Pestalotiopsis paeoniicola*) en 10 árboles de mamey (*Pouteria sapota*) en dos huertos experimentales (HE1 y HE2). Ciclo productivo 2005. Alpoyeca, Guerrero, México. **59**
- Cuadro 2.** Área bajo la curva del progreso de necrosis floral (*Penicillium olsonii*, *Alternaria alternata* y *Pestalotiopsis paeoniicola*) (abcpe) e incidencia final de la enfermedad ( $Y_f$ ) en 10 árboles de mamey (*Pouteria sapota*) de dos huertos experimentales (HE1 y HE2). Ciclo productivo 2005. Alpoyeca, Guerrero, México. **59**

## CAPÍTULO III

- Cuadro 1.** Distribución de árboles y tratamientos experimentales dentro de parcelas con riego tradicional (RT) y controlado (RC) en un huerto experimental de mamey (*P. sapota*). Alpoyeca, Guerrero, México. 2006. **80**
- Cuadro 2.** Efecto de dos técnicas de riego (tradicional y controlado) y cuatro dosis de fertilización en el crecimiento longitudinal (cm) de ramas con crecimiento secundario en un huerto comercial de mamey (*P. sapota*) en Alpoyeca Guerrero, México. 2005-2006. **91**
- Cuadro 3.** Efecto de dos técnicas de riego (tradicional y controlado) y cuatro dosis de fertilización en el número total de hojas en rama experimentales en un huerto comercial de mamey (*P. sapota*) en Alpoyeca Guerrero, México. 2005-2006. **92**
- Cuadro 4.** Efecto de dos técnicas de riego (tradicional y controlado) y cuatro dosis de fertilización en el número de hojas necróticas en ramas experimentales en un huerto comercial de mamey (*P. sapota*) en Alpoyeca Guerrero, México. 2005-2006. **93**
- Cuadro 5.** Efecto comparativo de las técnicas de riego tradicional y controlado en el número y peso de frutos de mamey (*P. sapota*) en la cosecha del ciclo productivo 2005-2006 en un huerto comercial en Alpoyeca, Guerrero. **93**
- Cuadro 6.** Efecto de la interacción entre dos técnicas de riego y cuatro dosis de fertilizantes en el número y peso de frutos de mamey (*P. sapota*) en la cosecha del ciclo productivo 2006 en un huerto comercial en Alpoyeca, **93**

Guerrero.

## ÍNDICE DE FIGURAS

### INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de Alpoyeca, en la montaña baja de Guerrero, México.	<b>3</b>
<b>Figura 2</b> Mapa altitudinal de Alpoyeca, Guerrero, México.	<b>3</b>
<b>Figura 3.</b> Mapa de temperaturas (°C) predominantes en Alpoyeca, Guerrero, México.	<b>4</b>
<b>Figura 4.</b> Distribución geográfica de la precipitación pluvial en Alpoyeca, Guerrero, México.	<b>4</b>

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1.</b> Ramas de mamey ( <i>P. sapota</i> ) con síntomas de muerte descendente. A) Lesión necrótica (Ln) inducida por <i>Lasiodiplodia</i> sp. en una rama con peridermis a 30 d de la inoculación por herida. (B) Testigo: rama con peridermis con un punto necrótico en el sitio con herida. C y D) Muerte de brotes vegetativos, y (E-G) Ramas con crecimiento secundario (peridermis) adyacente al sitio inoculado por herida con síntomas de muerte descendente 24 meses después de la inoculación. Se indican síntomas y heridas de inoculación.	<b>22</b>
---	-----------

**Figura 2.** Corte histológico transversal de una rama sana de mamey (*P. sapota*). A) Peridermis (Pe) con lenticelas (Le); corteza (Co) con un estrato de esclereidas (Es) y de laticíferos (Cl); capa de fibras externas del floema (Fef); floema (Fl); cambium vascular (Cv) y xilema (Xi). B) Células peridérmicas engrosadas periclinal y anticlinalmente con abundantes puntuaciones (Cp). C) Capa de Fef limitando la corteza del floema. D) Fibras del floema (Ff). E) Tubos cribosos (Tc) con células acompañantes (Ca) en floema. F) Vasos del xilema (Vx). G) Tejido médular (Me) con laticíferos (Cl). 26

**Figura 3.** Corte histológico transversal de una rama de mamey (*P. sapota*) con síntomas de muerte descendente. A) fractura de peridermis (Pe) y lenticelas (Le); colapso y necrosis cortical (Co), fibras externas del floema (Fef) y floema (Fl) con grupos de esclereidas (Ge); desprendimiento del floema-xilema (De) y xilema (Xi). B) Colapso y necrosis de células corticales (Co). C) Colapso y necrosis de laticíferos (Cl) en corteza. D) Colapso de Fef. E) Esclereidas (Ge) y cristales rectangulares (Cr) en floema. F) Precipitados granulosos (Pg) en la células de Co y Fl. G) Vasos del xilema (Vx) sin obstrucciones. 28

## CAPÍTULO II

**Figura 1.** Síntomas de necrosis floral en árboles de mamey (*P. sapota*). A) Flores sanas en cojinetes florales. B) Flores con micelio de color verde-gris y abundante esporulación. C) Flores con micelio de color café-oscuro. D) Necrosis de corola, cáliz y pedúnculo floral. E) Pudrición floral avanzada y aglomeración de tejido necrosado. F) Rama reproductiva con abscisión floral severa. Alpayeca, Guerrero, México. Ritmo floral de verano de 2005. 47

**Figura 2.** Verificación patogénica de hongos aislados de flores enfermas de mamey (*P. sapota*). A) Crecimiento micelial de *Penicillium* sp. en pétalos, estambres, ovario y sépalos de flores experimentales a 3 días de la inoculación (ddi). B) Necrosis y abscisión floral por *Penicillium* sp. a 8 ddi. C) Marchitez y necrosis floral inducido por *Alternaria* sp. a 8 ddi. D) Presencia de acérvulos (visibles como puntos negros) y necrosis en flores inoculadas con *Pestalotiopsis* sp. a 8 ddi. E) Flores testigo asperjadas con agua estéril. Alpayeca, Guerrero, México, 2005. 49

- Figura 3.** *Penicillium olsonii*, agente causal de la necrosis floral del mamey (*Pouteria sapota*). A) Micelio y esporas del hongo en el estambre de una flor de mamey 8 d después de la inoculación. B y C) Conidióforos (co) largos y rectos con penicilo (pe) terverticilado. D) Penicilo mostrando las métulas (mt) y fiálides (fi). E) Fiálides rectas con forma de botella (fi). F) Conidios en cadena, elipsoidales y de pared rugosa. G) Esporas sobre el tejido de una antera. H) Germinación de esporas sobre una antera. Fotomicrografías en microscopio de barrido JSM-6390/LGS. 2007. **51**
- Figura 4.** *Pestalotiopsis paeoniicola*, endófito del mamey (*Pouteria sapota*) asociado a la necrosis floral. A) Acérvulos subepidérmicos (ac) del hongo sobre un pétalo a 8 d de su inoculación. B) Esporas maduras (m) e inmaduras (i) dentro de un acérvulo. C) Esporas (fragmosporas) fusiformes o alantoides con tres (ta) y dos (da) apéndices apicales y un apéndice basal (ab). D) Espora con dos apéndices apicales y un apéndice basal. Fotomicrografías en microscopio de barrido JSM-6390/LGS. 2007. **52**
- Figura 5.** Huerto experimental (HE1) con manejo agronómico deficiente. A) Árboles de mamey (*P. sapota*) de aproximadamente 25 m de altura, sin poda y con entrecruzamiento de copas. B) Rama reproductiva con agua libre y abscisión floral. C) Exceso de humedad en las estructuras florales en HE1. Alpayeca, Guerrero, México. 2005. **55**
- Figura 6.** Huerto experimental (HE2). Árboles de aproximadamente 10 m de altura sin entrecruzamiento de copas y adecuada ventilación que posiblemente retrasó el crecimiento de los hongos causales de la necrosis floral. Alpayeca, Guerrero, México. 2005. **56**
- Figura 7.** Curvas del progreso temporal de epidemias de necrosis floral (*Penicillium olsonii*, *Alternaria alternata* y *Pestalotiopsis paeoniicola*) en 10 árboles de mamey (*Pouteria sapota*) en dos huertos experimentales. (A) Huerto experimental 1 (HE1). (B) Huerto experimental 2 (HE2). En cada huerto se evaluaron las epidemias de cinco árboles.  $Y_o$  = Inicio de enfermedad,  $Y_f$  = Incidencia final de la enfermedad. Ciclo productivo 2005-2006. Alpayeca, Guerrero, México. **58**
- Figura 8.** Fluctuación conidial/semana de *Alternaria* spp. y *Pestalotiopsis* spp., temperatura (°C) y humedad relativa (%) registrada en un huerto de **60**

mamey (*Pouteria sapota*) de enero a diciembre de 2007. Alpayeca, Guerrero, México.

### CAPÍTULO III

- Figura 1.** La necrosis marginal del mamey (*Pouteria sapota*). A) Síntomas en campo en hojas en desarrollo de un brote anual. B) Hoja con áreas necróticas inducidas por *Pestalotiposis paeoniicola* (pp). Alpayeca, Guerrero, México. 2005. **73**
- Figura 2.** Contenido de nitrógeno total en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpayeca, Guerrero. 2005. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo. **82**
- Figura 3.** Contenido de fósforo en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpayeca, Guerrero. 2005.. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo. **83**
- Figura 4.** Contenido de potasio en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpayeca, Guerrero. 2005. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo **84**
- Figura 5.** Contenido de Calcio (A) y Magnesio (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpayeca, Guerrero. 2005. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo. **85**
- Figura 6.** Contenido de Hierro (A) y Manganeso (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpayeca, Guerrero. 2005. EDS= efectos despreciables de salinidad; MLS= muy ligeramente salino; Ad= adecuado; Ma= marginal; SS= sin riesgo de sodicidad. **86**
- Figura 7.** Contenido de Zinc (A) y Cobre (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*). Alpayeca, Guerrero. 2005. EDS= efectos despreciables de salinidad; MLS= muy ligeramente salino; Ad= adecuado; Ma= marginal; SS= sin riesgo de sodicidad **87**
- Figura 8.** Contenido de Sodio (A) y valor de pH (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpayeca, Guerrero. 2005.. EDS= efectos despreciables de salinidad; MLS= muy ligeramente salino; Ad= adecuado; Ma= marginal; Malc= medianamente alcalino; SS= sin riesgo de sodicidad. **88**
- Figura 9.** Mapas de Conductividad eléctrica (A) y contenidos de materia orgánica (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), **89**

Alpoyeca, Guerrero. 2005. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo; EDS= efectos despreciables de salinidad; MLS= muy ligeramente salino; Ad= adecuado; Ma= marginal; Malc= medianamente alcalino; SS= sin riesgo de sodicidad.

**Figura 10.** Mapa de la textura del suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpoyeca, Guerrero. 2005. **90**

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En México existen aproximadamente 712 especies frutales pertenecientes a 75 familias y 169 géneros, 620 se cultivan en huertos familiares con baja tecnología o sujetas a recolección. Esta es una de las razones por lo que aún no se determina con certeza el potencial de mercado que pueden tener estos frutales en el ámbito nacional o internacional; sin embargo, existen evidencias de su importancia en la industria alimenticia e industrial (Borys y Borys, 2001).

La familia sapotaceae, originaria de áreas tropicales, incluye aproximadamente 450 especies de árboles y arbustos distribuidas desde el sureste de Estados Unidos, México, América Central hasta Las Antillas y de Sudamérica (Paraguay, Uruguay y Chile) (Pennington, 1990). Algunas especies producen frutos comestibles de importancia económica como el zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn), sapodilla o chicozapote (*Manilkara zapota* (L.) van Royen), caimito (*Pouteria caimito* (Ruiz y Pavón) Raldk) y canistel (*Pouteria campechiana* (H. B. K.) Baehni); estas especies no están emparentadas con zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.), zapote blanco (*Casimiroa edulis* Llave y Lex.) y mamey (*Mammea americana* L.) (Pennington, 1990; Azurdía, 2006).

El zapote mamey tuvo su origen en las zonas tropicales y subtropicales de México y Centroamérica (León, 1987) y se diseminó a toda América tropical y a las Antillas; actualmente se encuentra en México, Centroamérica, Las Antillas, Sudamérica, Filipinas, Cuba y Florida (Ariza *et al.*, 2005).

México es un importante productor de mamey a nivel mundial. En 2006 se cultivaron 1,338 ha con una producción estimada de 12,719 ton. Las entidades federativas con mayor superficie y producción fueron Yucatán (411 ha y 6 280 ton), Guerrero (265 ha y 2,498 ton) y Chiapas (220 ha y 1,039 ton) (SIAP, 2006). En Guerrero, los huertos de mamey se localizan en las regiones geográficas Norte, Centro y Montaña.

En la montaña baja de Guerrero se localiza la región conocida como La Cañada de Huamuxtitlán, conformada por los municipios de Alpoyeca y Huamuxtitlán y representan una de las principales zonas productoras de mamey (*P. sapota*) en México; en 2005 se cultivaron aproximadamente 300 ha con este frutal (GIIIM, 2007), aunque oficialmente se reportaron sólo 58 ha (SIAP, 2006).

Alpoyeca, Gro, zona de estudio en esta investigación, se localiza en las coordenadas geográficas 17°40' N y 98°31' O (Figura 1) con una altitud entre 900 y 1000 m (Figura 2) con clima predominante cálido subhúmedo (Awo), temperatura y precipitación pluvial anual de 22°C y 800 mm (Figuras 3 y 4) (García, 1988). Los suelos son arcillosos o franco-arcillosos con 2 a 7% de materia orgánica, pH alcalino (7.6-8.2) y conductividad eléctrica de 0.20 a 1.54 mmhos cm<sup>-1</sup>. Esta localidad es importante en el ámbito nacional por la superficie cultivada de mamey, calidad de fruta y por abastecer el mercado nacional durante los meses de diciembre a marzo. El cultivo tiene gran potencial de explotación comercial y alta rentabilidad. Sin embargo, su producción de fruta está limitada principalmente por el deficiente manejo agronómico del cultivo; los árboles provienen de semilla lo que significa alta heterogeneidad entre árboles en altura, porte, rendimiento, época de cosecha, características físicas y químicas de los frutos, resistencia a plagas y enfermedades, etc.; además, en los huertos de la región no existen técnicas eficientes

para el control fitosanitario, manejo óptimo del suelo-agua y frutícolas (variedades, propagación, podas, cosecha y postcosecha).

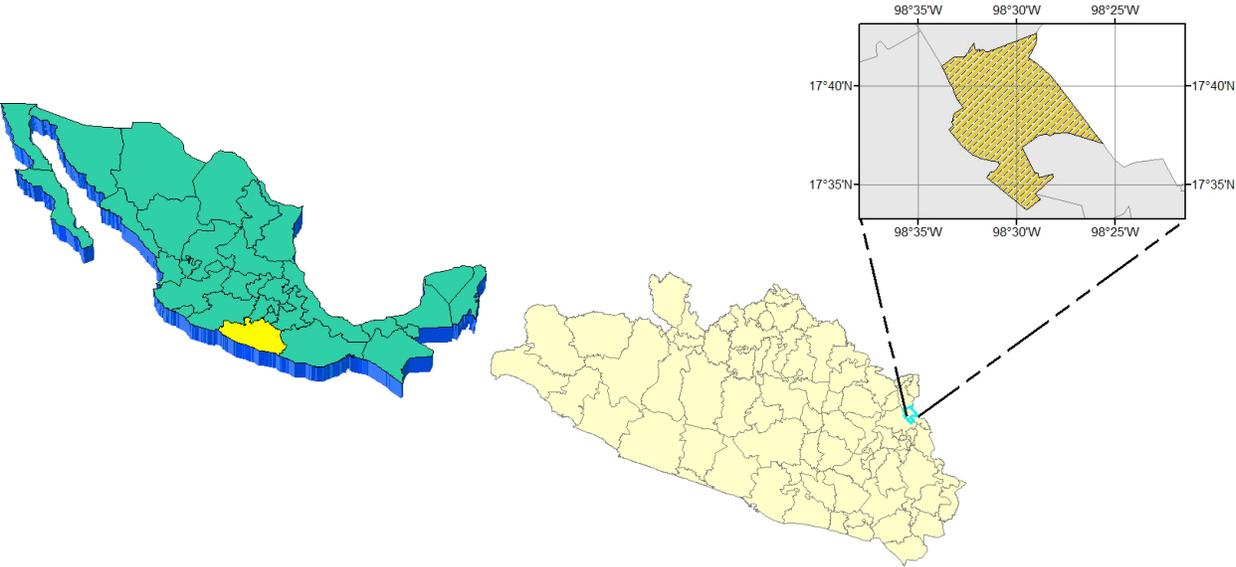


Figura 1. Ubicación geográfica de Alpayeca, en la montaña baja de Guerrero, México.

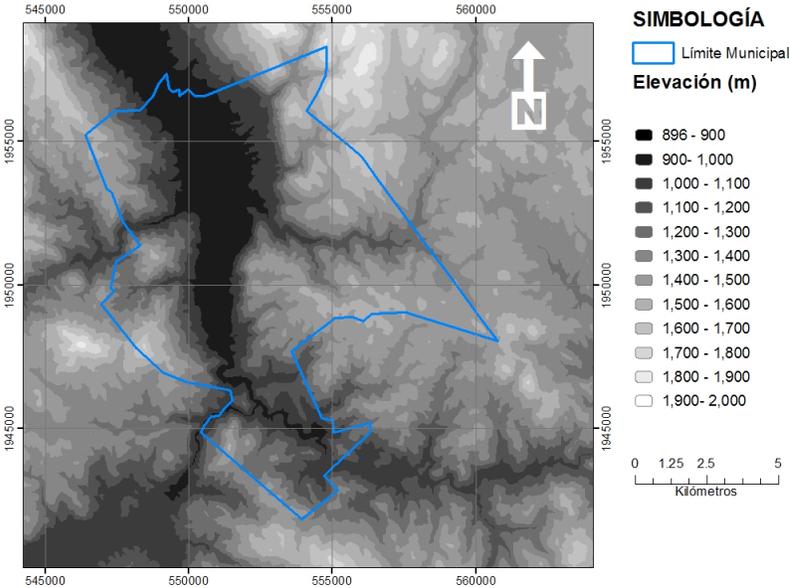


Figura 2. Mapa altitudinal de Alpayeca, Guerrero, México.

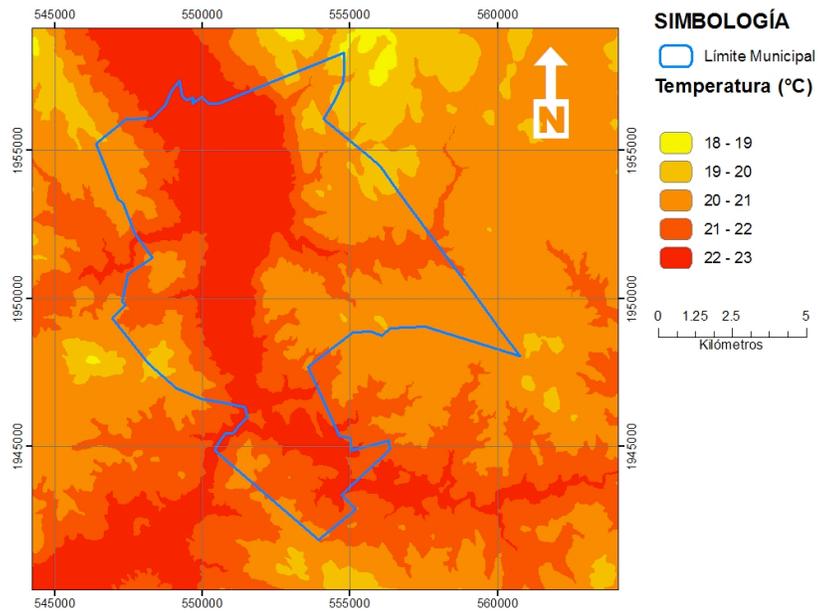


Figura 3. Mapa de temperaturas (°C) predominantes en Alpoeyca, Guerrero, México.

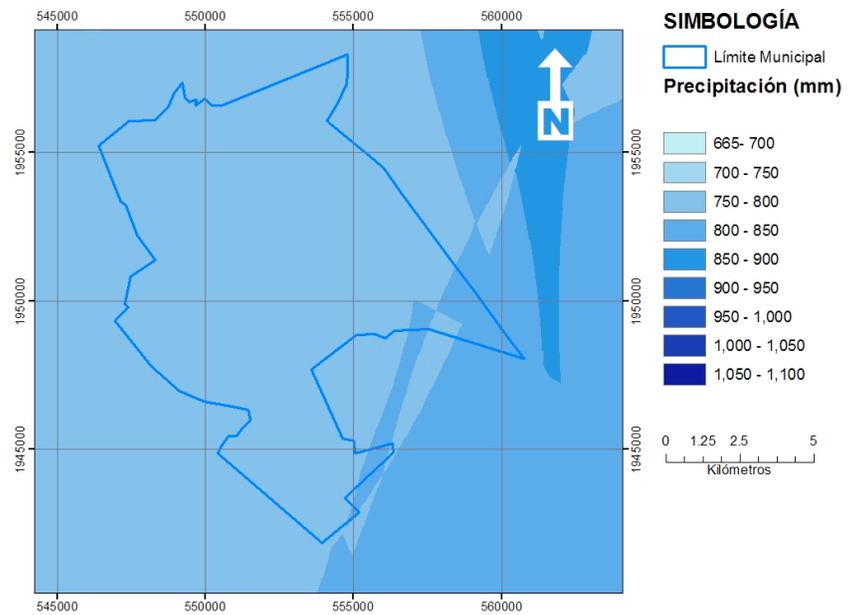


Figura 4. Distribución geográfica de la precipitación pluvial en Alpoeyca, Guerrero, México.

La información científica y técnica relacionada con el manejo agronómico del mamey es escasa a nivel mundial. Se conoce poco acerca de las enfermedades que afectan a este frutal. Patel y Chauhan (1993) y Balerdi *et al.* (1996) asociaron a *Botryosphaeria theobromae* Pat., *Cephaleurus virescens* Kunze (alga roja) y *Corticium* sp. al tizón y muerte de ramas jóvenes (retoños). Álvarez (1997) asoció a *Botryosphaeria* sp. e *Hypoxylon* sp. con el síndrome de muerte descendente, rajadura de corteza y cáncer de tallo en árboles de zapote (*P. sapota*) en Guatemala. En Florida, EE. UU., *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. causa antracnosis en flores, hoja jóvenes y frutos (Morton ,1987). En Cuba y Las Bahamas manchas foliares del mamey pueden ser inducidas por *C. virescens* y *Phyllosticta sapotae*, en Florida EE. UU por *Phyllachora* sp. (Morton ,1987) y en Guatemala por *Septoria* sp. y *Pestalotia* sp. (Barrera, 1996). En el Salvador se encontró a la roya *Uredo sapotae* formando pústulas en el envés de la hoja, enrollamiento y muerte (Balerdi *et al.* (1996). La pudrición de raíz se asoció a *Rhizoctonia* sp., y *Pythium splendens* (Morton, 1987).

Por otro lado, la escasa información disponible acerca de programas de fertilización y riego del cultivo es empírica y varían de una región a otra (Balerdi *et al.*, 1996). Para generar información sobre las necesidades nutrimentales e hídricas del cultivo de mamey en una zona específica es preciso conocer la demanda de nutrimentos y agua por las distintas etapas fenológicas de la planta, así como el estado nutrimental y características físico-químicas del suelo y agua, y al mismo tiempo, determinar el efecto de estos factores sobre variables de vigor y rendimiento de los árboles.

En Alpoyecá, Gro., los árboles de mamey limitan su producción debido a problemas fitosanitarios y deficiente manejo del suelo y agua. Recientemente se reportaron cuatro

enfermedades importantes en el cultivo. La muerte descendente, asociada *Lasiodiplodia* sp. (Vásquez *et al.*, 2006a), la necrosis floral a *Penicillium* sp., *Alternaria* sp. y *Pestalotiopsis* sp. (Vásquez *et al.*, 2006b), la necrosis marginal de hojas (Vásquez *et al.*, 2006c) y la proliferación vegetativa y floral (*Uredo baruensis*) (Pereyda *et al.*, 2006). Con el propósito de generar información básica acerca de las dos primeras enfermedades y sobre aspectos nutricionales e hídricos de los árboles de mamey se plantearon los siguientes objetivos:

### **Objetivos generales**

- 1) Estudiar dos enfermedades de importancia económica de los árboles de mamey (*P. sapota*), muerte descendente y necrosis floral, en Alpoyeca, Guerrero, México.
- 2) Conocer el efecto del riego y fertilizantes en el vigor y rendimiento de árboles de mamey (*P. sapota*).

### **Objetivos específicos**

- 1) Determinar el agente causal y daños anatómicos inducidos por la enfermedad muerte descendente.
- 2) Determinar los agentes causales de la necrosis floral y su comportamiento epidémico en dos huertos comerciales de mamey e Alpoyeca, Guerrero, México.
- 3) Evaluar el efecto combinado de dos técnicas de riego (tradicional y controlado) y cuatro dosis de fertilizantes en algunos indicadores de vigor y rendimiento de árboles de mamey (*pouteria sapota*).
- 4) Elaboración de cartas edafológicas de las propiedades físicas y químicas del suelo agrícola de la región de estudio.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez V., G. 1997. La muerte descendente y el cáncer del tallo en el zapote. *Tikalia* 15:37-46.
- Ariza F. R., A. Barrios A., R. Cruzaley S., E. Vázquez G., J. A. Osuna G., S. Navarro G., A. Michel A., y M. A. Otero G. 2005. Tecnología de Postcosecha en Mango, Papaya y Sapote Mamey. Libro Técnico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chilpancingo, Guerrero, México. 219 p.
- Azurdia C., E. Martínez, H. Ayala, y V. Martínez. 1997. Sapotáceas del Sur-Occidente de Guatemala. *Ciencia y Tecnología de la Universidad de San Carlos de Guatemala* 1:35-55.
- Azurdia, C. 2006. Tres Especies de Zapote en América Tropical. Southampon Centre for Underutilised Crops, Universidad de Southampon, Southampon, UK. 216 p.
- Balerdi, C. F., J. H. Crane, and I. Maguire. 1996. Mamey sapote growing in the Florida home landscape. Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. (En línea) Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FILES/MG/MG33100.pdf> (Consultado 30 de abril de 2008).
- Barrera, L. 1996. Reconocimiento de plagas y enfermedades en el cultivo de sapotáceas en el sur occidente de Guatemala. *In: Memoria de Investigaciones Aplicadas en Fruticultura. PROFRUTA* (ed.). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. pp: 106-109.
- Borys M. W. and H. L. Borys. 2001. El Potencial Genético Frutícola de la República Mexicana. Fundación Salvador Sánchez Colín. Coatepec Harinas, México. 48 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Ed. Ind. México.
- GIIM (Grupo Interdisciplinario e Interinstitucional de Investigación en Mamey. 2007. El Cultivo del Mamey (Tecnología para Productores). Colegio de Postgraduados, México. 71 p.

- León, J. 1987. Sapotáceas. In: Botánica de los Cultivos Tropicales 2ª ed. León, J. (ed.) Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica. LCCCN: 68-8291.
- Morton, J. 1987. Sapote. In: Fruits of Warm Climates. Morton, J. F (ed.). Miami, FL. pp: 336-346.
- Patel, P. B., and H. L. Chauhan. 1993. Twig blight of sapota caused by *Botryodiplodia theobromae* Pat.: a new record. Indian Journal of Mycology and Plant Pathology 23:219.
- Pennington, T. D. Sapotaceae. 1990. Flora Neotrópica 52:1-771.
- Pereyda H. J., A. Mora A., D. Téliz O., E. Cárdenas S., S. Sandoval I., y P. Sánchez G. 2006. Vegetative and floral proliferation of mamey (*Pouteria sapota*) in Guerrero, Mexico. XXXIII Congreso Nacional de Fitopatología. La Habana, Cuba.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2006. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado en marzo de 2008).
- Vásquez L., A., A. Mora A., D. Téliz O., y E. Cárdenas S. 2006a. Hongos y daños asociados a la muerte descendente del mamey (*Pouteria sapota*) en Guerrero, México. In: Memorias del XXXIII/VIII Congreso Nacional/Internacional de Fitopatología, Manzanillo, Colima, México. Resumen C53.
- Vásquez L., A., A. Mora A., D. Téliz O., y E. Cárdenas S. 2006b. Etiología de la necrosis floral del mamey (*Pouteria sapota*) en Guerrero, México. In: Memorias del XXXIII/VIII Congreso Nacional/Internacional de Fitopatología, Manzanillo, Colima, México. Resumen C52.

Vásquez L.A., Mora A. A., Téliz O. D. y Sánchez G. P. 2006c. Etiología de la necrosis marginal de hojas del mamey (*Pouteria sapota*) en Guerrero, México. XXXIII/VIII Congreso Nacional/Internacional de Fitopatología, Manzanillo, Colima, México. Resumen C51.

**CAPÍTULO I. ETIOLOGÍA E HISTOPATOLOGÍA DE LA MUERTE DESCENDENTE  
DE ÁRBOLES DE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) EN  
GUERRERO, MÉXICO**

**RESUMEN**

El mamey (*P. sapota*) es un cultivo con alta rentabilidad en la montaña baja de Guerrero, México. En Alpayeca, Guerrero, la muerte descendente es una enfermedad de etiología desconocida que se presenta con alta incidencia (80-90%) y reduce la productividad, calidad de la fruta y longevidad de los huertos comerciales. El propósito de este estudio fue determinar la etiología de la enfermedad para facilitar el diseño de estrategias de manejo y aportar evidencias de los daños anatómicos que causa en ramas reproductivas. De ramas enfermas se aisló a *Lasiodiplodia* sp. (58%), *Pestalotiopsis* sp. (21.6%) y *Fusarium* sp. (10.4%) en 2004. La patogenicidad de *Lasiodiplodia* sp. se verificó en campo. El hongo se inoculó en ramas con epidermis y peridermis (con y sin heridas) de árboles de 14 años de edad. Después de 30 días el hongo produjo lesiones necróticas en ramas con peridermis inoculadas por heridas y en 24 meses indujo muerte descendente de brotes vegetativos. Las ramas testigo no presentaron síntomas de la enfermedad. En ramas sintomáticas se observó ruptura de peridermis; colapso y necrosis de células de corteza, floema y laticíferos; y colapso de las fibras externas del floema. En floema se formaron cristales y precipitados granulados; los radios y el parénquima axial se lignificaron, formándose grupos de esclereidas. El cambium vascular colapsó y exhibió necrosis. El xilema y la médula no presentaron daños. La identificación del patógeno se basó en características morfológicas y en la secuencia de las regiones del espacio interno transcrito (ITS1 e ITS2) de los genes ribosomales (rRNA). La secuencia se homologó en 96% con la secuencia de *L. theobromae* depositada en el National Center for Biotechnology Information (acceso EF622073). Este estudio confirma a *Lasiodiplodia theobromae* como agente causal de la muerte descendente de árboles de mamey en Alpayeca, Guerrero.

**Palabras clave:** Zapote-mamey, muerte descendente, postulados de Koch, *Lasiodiplodia theobromae*, histopatología.

**CHAPTER I. ETIOLOGY AND HISTOPATOLOGY OF DIEBACK DISEASE ON  
MAMEY TREES (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn) IN GUERRERO,  
MEXICO**

**ABSTRACT**

Mamey (*P. sapota*) is a crop with high economical potential in Guerrero. In Alpoyecá, Guerrero, Mexico, stem dieback is an important disease with incidence ranging from 80-90%, that reduces yield quality and tree stand. Unfortunately the pathogen that causes stem dieback is unknown. The goal of this research was to identify the causal agent of stem dieback of mamey, provide information that facilitates management, and record anatomical changes induced by the pathogen. In 2004, the following pathogens were isolated from mamey stems: *Lasiodiplodia* sp. (58%), *Pestalotiopsis* sp. (21.6%) and *Fusarium* sp. (10.4%). Pathogenicity of *Lasiodiplodia* sp. was verified under field conditions. This fungi was inoculated on stems (with and without injuries) from 14 year-old trees. Necrotic lesions on stems with peridermis were observed 30 days after inoculation with injuries and 24 months later, *Lasiodiplodia* induced typical symptoms. No symptoms developed on control stems treated with autoclaved distilled water. *Lasiodiplodia*-infected stems showed periderm damage; cortex, phloem and laticifer cells collapsed and died; phloem external fibers collapsed also. Crystals and precipitates were observed in phloem; lignification was observed in radial cells and axial parenchyma, forming sclereids. Vascular cambium collapsed and became necrotic. Xylem was not damaged by the fungi. Pathogen identification was based on morphological characteristics and on sequencing of ITS region (ITS1 and ITS2) in ribosome genes (rRNA). Our sequence had 96% homology to *L. theobromae* (National Center for Biotechnology Information Accession number EF622073). Our results show that *Lasiodiplodia theobromae* is the causal agent of stem dieback disease of mamey in Alpoyecá, Guerrero.

**Key words:** Zapote mamey, dieback, Koch's postulates, *Lasiodiplodia theobromae*, histopathology.

## INTRODUCCIÓN

El mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) se cultivó en 1,338 ha en 12 entidades de la República Mexicana en el año 2006, en el estado de Guerrero se registraron 265 ha con una producción estimada de 2,567 ton. En los municipios de Huamuxtitlán y Alpoyeca, en la Cañada de Huamuxtitlán, Guerrero, se cultivaron 60 ha (SIAP, 2006). En estos municipios, aproximadamente 95% de las familias tienen al mamey como cultivo primario por generar ingresos importantes de noviembre a marzo debido a la precocidad de la producción respecto a otras zonas productoras del país. La producción se destina principalmente a la central de abastos del Distrito Federal. Sin embargo, las limitantes fitosanitarias reducen de manera importante la productividad, calidad de la fruta y longevidad de los huertos comerciales.

Recientemente, en la Cañada de Huamuxtitlán, Guerrero se reportó una enfermedad que causa muerte descendente de ramas estructurales y reproductivas asociada a *Lasiodiplodia* sp. (Vásquez *et al.*, 2006). La muerte de ramas se observó principalmente en árboles mayores de 10 años de edad con una incidencia que fluctuó entre 80 y 90%. La etiología de esta enfermedad en *P. sapota*, a nivel mundial no se ha estudiado con precisión. Álvarez (1997) asoció a *Botryosphaeria* sp. e *Hypoxylon* sp. con el síndrome de muerte descendente, rajadura de corteza y cáncer de tallo en árboles de zapote (*P. sapota*) en Guatemala; mientras que Patel y Chauhan (1993) y Balerdi *et al.* (1996) asociaron a *Botryosphaeria theobromae* Pat. y a *Cephaleurus virescens* Kunze al tizón y muerte de ramas jóvenes (retoños) de *P. sapota*. En la Cañada de Huamuxtitlán es frecuente encontrar a *Lasiodiplodia* sp. como habitante natural de los patosistemas locales en huertos con manejo agronómico deficiente. En este trabajo se propone la hipótesis de que *Lasiodiplodia* sp. induce muerte celular en el tejido infectado de ramas

reproductivas y estructurales de árboles de mamey, condición necesaria para la expresión de síntomas severos de muerte descendente. Los objetivos de este estudio fueron determinar la etiología y los cambios histológicos que inducen la muerte descendente en árboles de mamey en Alpoyecá, Guerrero, México.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Etiología**

#### **Sitio de estudio, muestreo de campo y aislamiento de hongos**

Alpoyecá, Guerrero, México, se ubica en la Cañada de Huamuxtitlán, en las coordenadas geográficas 17°40' N y 98°31' O, a una altitud de 960 m (INEGI, 2006) con temperatura promedio de 25.5°C y precipitación anual de 780 mm. Suelo franco arcilloso con 3% de materia orgánica y pH alcalino (7.6-8.0). En mayo de 2004, mediante muestreos dirigidos, se colectaron ramas reproductivas anuales de 2 cm de diámetro con síntomas de muerte descendente en árboles de mamey de 14 años de edad. Se cortaron cinco trozos de tejido interno de 0.5 cm<sup>3</sup> por rama, se lavaron con agua, desinfectaron con hipoclorito de sodio a 1.0% por 3 min, se lavaron tres veces con agua destilada estéril, se secaron y sembraron en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) (BD Bioxon<sup>®</sup>, Becton Dickinson de México). Las cajas con medio de cultivo se incubaron a 25°C con luz blanca por 3 d. Las colonias fungosas formadas se transfirieron a PDA (BD Bioxon<sup>®</sup>, Becton Dickinson de México) e incubaron a 25°C con luz blanca y purificaron por cultivos monoconidiales.

## **Pruebas de patogenicidad**

**Fase de laboratorio.** Debido al prolongado periodo de incubación de hongos patógenos de la madera y conocida la capacidad de *Lasiodiplodia* sp. para atacar órganos reproductivos, se verificó la severidad de daños causado por 16 aislamientos de *Lasiodiplodia* en frutos de mamey en madurez fisiológica en condiciones de laboratorio. Los aislamientos se obtuvieron en 58% de las ramas muestreadas. Se inoculó un fruto por aislamiento y se incluyeron cuatro testigos. 20 frutos se lavaron y desinfectaron con hipoclorito de sodio a 1.5% por 5 min y lavaron tres veces con agua destilada estéril. La inoculación se hizo por el método de micelio sobrepuesto. Se usaron discos miceliales de 0.5 cm de diámetro de 20 d de edad; el inóculo se depositó en dos sitios sin herida y dos con herida en las secciones apical, central y basal (adyacente al pedúnculo) de cada fruto. Las heridas, realizadas con un bisturí estéril, fueron cortes de 1.0 cm de longitud que atravesaron el epicarpio de los frutos experimentales. En frutos testigo se colocaron discos de PDA sin inóculo. Los frutos se incubaron en cámara húmeda en condiciones de laboratorio ( $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) por 12 d. Se evaluó la severidad de daños estimada por la dimensión (largo, ancho y profundidad) y volumen del área necrótica de las pudriciones fungosas en la pulpa del fruto para seleccionar el aislamiento más agresivo de *Lasiodiplodia* sp., y verificar su patogenicidad en ramas reproductivas anuales.

**Patogenicidad en campo.** En septiembre de 2005 se verificó en campo la patogenicidad del aislamiento de *Lasiodiplodia* seleccionado en laboratorio. En árboles de mamey de 14 años de edad se evaluaron cuatro tratamientos de inoculación: ramas con epidermis con (T1) y sin heridas (T2) y ramas con peridermis con (T3) y sin heridas (T4). Cada tratamiento tuvo 10 repeticiones. La unidad experimental en T1 y T2 fue una rama de 0.5 cm de diámetro con

crecimiento primario menor a un año de edad y en T3 y T4 fue una rama de 2.5 cm de diámetro con crecimiento secundario mayor a un año de edad. Las heridas, realizadas con un bisturí estéril, fueron cortes de 0.5 cm de longitud que atravesaron la peridermis y epidermis de las ramas experimentales. Previo a la inoculación, las ramas se lavaron con agua, desinfectaron con hipoclorito de sodio a 1.0% por 3 min y enjuagaron con agua destilada estéril tres veces. La inoculación se realizó colocando sobre la epidermis y peridermis (con y sin heridas) de cada rama experimental dos discos miceliales de 0.5 cm de diámetro de 20 d de edad. Los discos se depositaron a 10 y 15 cm del ápice de la rama. En ramas testigo se colocaron discos de PDA (BD Bioxon<sup>®</sup>, Becton Dickinson de México) sin inóculo. Las ramas inoculadas y testigo se cubrieron con una bolsa de plástico desinfectada con alcohol al 70% y dentro se colocó un algodón estéril humedecido con agua destilada estéril para aumentar y conservar la humedad relativa durante los primeros 20 d.

La incidencia de muerte descendente (ramas necróticas con muerte parcial o total) por tratamiento se evaluó a los 30 d y 24 meses después de la inoculación y se estimó con la ecuación:  $I_i = \Sigma n_i / N_i$ ; donde:  $I_i$  = incidencia de ramas enfermas en el momento  $i$ ;  $n_i$  = número de ramas enfermas en el momento  $i$ ;  $N_i$  = población total de ramas inoculadas. De tejidos infectados se aisló al hongo en cultivo puro; la colonia y sus estructuras reproductivas se compararon morfológicamente con la colonia inoculada originalmente.

### **Identificación de fitopatógenos**

**Caracterización morfológica.** Una colonia monoconidial de *Lasiodiplodia* sp. se cultivó en PDA al 2% (BD Bioxon<sup>®</sup>, Becton Dickinson de México) a 25°C y luz blanca por 20 d y se identificó con las claves taxonómicas para género de Barnett y Hunter (2006) y para especie las

de Punithalingam (1976) y Burgess *et al.* (2006). Se evaluó: color de la colonia, tipo de micelio y picnidios; color, forma, septación y grosor de pared de 50 conidios inmaduros; color, forma, septación, presencia y disposición de estrías y largo-ancho de 50 conidios maduros.

**Caracterización molecular.** El ADN de *Lasiodiplodia* sp. se obtuvo según la metodología propuesta por Ahrens y Seemüller (1992) y su calidad se evaluó por electroforesis en gel de agarosa al 1% (Agarose Ultra Pure, Invitrogen<sup>®</sup>) y cuantificó en un espectrofotómetro Perkin Elmer<sup>®</sup> (Lambda BIO 10<sup>®</sup>). La amplificación de las regiones ITS1 e ITS2 de los genes ribosomales (rRNA), localizadas entre la subunidad pequeña 18S rRNA-5.8S y la subunidad larga 5.8S-28S rRNA, se realizó mediante la técnica de PCR con los iniciadores universales ITS4 (TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC) e ITS5 (GGA AGT AAA AGT CGT AAC AAG G) (White *et al.*, 1990). La amplificación y visualización de los productos finales se realizó según el protocolo de Ahrens y Seemüller (1992), con modificaciones en las reacciones de PCR cuyo volumen final fue de 25  $\mu$ L [agua ultrapura estéril (13.22  $\mu$ L), solución amortiguadora TBE 1X (2.5  $\mu$ L), MgCl<sub>2</sub> a 2.5 mM (2.08  $\mu$ L), dNTPs a 0.2 mM (2  $\mu$ L), iniciadores ITS4 e ITS5 a 20  $\mu$ mol (2 $\mu$ L de cada uno), DNA polimerasa (Biogenica<sup>®</sup>) a 1U (0.2  $\mu$ L) y muestra problema de ADN a 80 ng (1  $\mu$ L). El producto amplificado se purificó con el kit Wizard (Promega<sup>®</sup>) y secuenció con el Genetic Analyzer modelo 3100<sup>®</sup>, Applied Biosystem<sup>®</sup>. Las secuencias obtenidas se analizaron con el software Lasergene<sup>®</sup> 2001, V5 (DNASTAR<sup>®</sup>, Inc.) y alinearon con la base de datos del banco de genes del Nacional Center for Biotechnology Information (NCBI, 2008) ([www.ncbi.nlm.nih.gov/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/)). De los valores generados, se consideraron las secuencias con valor más alto para su comparación con las secuencias en estudio.

## Histopatología

### Muestreo de campo y preparaciones histológicas

De 25 ramas reproductivas anuales de 2 cm de diámetro con síntomas de muerte descendente por infección natural se obtuvieron trozos transversales de tejido de 1 cm<sup>2</sup> (peridermis-corteza-floema-xilema-médula) y se colocaron en solución fijadora CRAF III [alcohol etílico al 100% (500 mL), ácido acético glacial (50 mL), formaldehído (100 mL) y agua destilada (350 mL)] por 3 d. Las muestras se colectaron en campo antes de separar las ramas del árbol.

De las ramas muestreadas se cortaron nuevos segmentos de 10 cm de longitud para aislamiento de hongos según se indicó en la sección de etiología. La presencia de *Lasioidiplodia* sp. en el tejido enfermo se verificó exhaustivamente y para el estudio histológico se seleccionaron únicamente muestras de ramas donde el hongo se aisló de manera consistente y exclusiva. De estas muestras sólo se seleccionaron cinco para los estudios de histopatología. El material se retiró de la solución fijadora, se lavó con agua por 30 min y deshidrató e infiltró en un procesador automático de tejidos Tissue-Tek<sup>®</sup> II, modelo 4640-B<sup>®</sup>, Sakura Finetechnical co., LTD. Tokio, Japan. La deshidratación se hizo gradualmente con una serie ascendente de alcohol etílico (50%, 70%, 96% y 100%) (4 h/alcohol). El tejido se infiltró por inmersión en etanol absoluto + xileno (1:1), tres veces en xileno y dos veces en parafina (Paraplast<sup>®</sup> marca SIGMA) a 4 h/inmersión. El tejido infiltrado se incluyó en paraplast fundido y se dejó solidificar por 24 h. El tejido incluido se fijó en una pieza de madera (2x1x3 cm) y montó en un microtomo de desplazamiento modelo Spencer 820<sup>®</sup> (American Optical Company) para obtener cortes de 10 mm de espesor; éstos se

colocaron en un baño de flotación con 3.0 g de grenetina a 68°C por 30 seg y montaron en portaobjetos. La técnica de tinción diferencial safranina-verde rápido se realizó de acuerdo con la metodología de Johansen (1940) y Curtis (1986). Las preparaciones se observaron en un microscopio compuesto marca Microstar AO® modelo 1130A.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Descripción de síntomas en campo**

La enfermedad se presentó en árboles mayores de 10 años de edad. Los síntomas iniciaron en hojas jóvenes (apicales) de ramas con crecimiento secundario (peridermis). En la lámina foliar hubo formación de áreas de color rojo, marchitez, necrosis marginal, enrollamiento hacia el haz, muerte y caída prematura de las hojas. El ápice de las ramas mostraron marchitez, necrosis y muerte. La enfermedad descendió hasta la base de la rama anual e invadió ramas secundarias. El tejido interno de las ramas enfermas presentó consistencia corchosa y exhibió necrosis de color café oscuro. Los frutos se momificaron, ennegrecieron y quedaron adheridos. Cuando los daños fueron severos se observó muerte de la mayoría de las ramas o incluso el árbol completo.

### **Etiología**

#### **Hongos aislados**

De 125 secciones de tejido de ramas con peridermis y síntomas de muerte descendente se aisló a *Lasiodiplodia* sp. (58%), *Pestalotiopsis* sp. (21.6%) y *Fusarium* sp. (10.4%). En 10% de las mismas no hubo crecimiento micelial.

## Pruebas de patogenicidad

**Fase de laboratorio.** La severidad de daños en la pulpa de los frutos, causados por los cinco aislamientos más agresivos de *Lasiodiplodia* sp. se indican en el Cuadro 1. *Lasiodiplodia*-1 se seleccionó por su mayor agresividad para las pruebas de patogenicidad en ramas reproductivas en campo. En todos los casos, *Lasiodiplodia* sp. colonizó la pulpa del fruto sólo cuando se inoculó por heridas. El hongo desarrolló abundante micelio algodonoso de color gris en la pulpa. En frutos testigo se observaron áreas necróticas alrededor de las herida debido a la oxidación de la pulpa, pero no hubo crecimiento micelial.

Cuadro 1. Severidad de daños en la pulpa de frutos de mamey (*Pouteria sapota*) en madurez fisiológica causados por cinco aislamientos de *Lasiodiplodia* sp. a 12 días de inoculados por heridas en laboratorio.

Aislamiento del hongo	Área de pudrición	Colonización micelial máxima (cm)			Volumen aproximado (cm <sup>3</sup> ) del área necrótica
		Largo	Ancho	Profundidad	
<i>Lasiodiplodia</i> -1	Ápice	3.4	1.5	0.5	2.55
<i>Lasiodiplodia</i> -2	Pedúnculo	3.0	1.0	0.3	0.90
<i>Lasiodiplodia</i> -3	Ápice	2.3	0.7	0.4	0.64
<i>Lasiodiplodia</i> -4	Pedúnculo	1.0	1.0	0.6	0.60
<i>Lasiodiplodia</i> -5	Pedúnculo	0.9	0.8	0.4	0.28
Testigo	Ápice, centro y pedúnculo	Sin colonización fungosa			-

**Patogenicidad en campo.** Síntomas inducidos por *Lasiodiplodia* sp. se observaron en 20% de las ramas con peridermis infectadas por herida a 30 días de la inoculación, y consistieron de lesiones necróticas de aproximadamente 10 cm de longitud x 1.0 cm de ancho que pudrieron el tejido cortical y profundizaron hacia la médula (Figura 1A); en este periodo no se observaron síntomas típicos de muerte descendente (enrojecimiento del follaje, defoliación, desarrollo escaso y muerte extensiva de ramas). En ramas testigo se produjo un punto necrótico en el sitio donde se

provocó la herida (Figura 1B). A 24 meses de la inoculación, el 60% de las ramas con peridermis inoculadas por herida se marchitaron, necrosaron y murieron incluyendo los brotes vegetativos adyacentes a los sitios inoculados (Figuras 1C-G). La sintomatología reproducida en las ramas experimentales inoculadas fue similar a la que se presentó por infección natural en árboles de mamey en Alpoyecá, Gro. Sólo una de las 10 ramas testigo presentaron síntomas de la enfermedad, lo cual evidenció una infección latente ya preexistente. Debido al lento crecimiento del hongo en tejidos leñosos y a la ausencia de síntomas externos evidentes, en el periodo comprendido entre el mes 2 y 23 después de la inoculación no se evaluó la sintomatología interna de muerte descendente en las ramas inoculadas puesto que la revisión temprana implicaba métodos destructivos.

Los estudios sobre enfermedades de ramas de *P. sapota* son limitados. Álvarez (1997) describió síntomas de muerte descendente, rajadura de corteza y cáncer de tallo en árboles de zapote (*P. sapota*) en Guatemala y los relacionó con *Botryosphaeria* sp. e *Hypoxylon* sp. Por su parte, Patel y Chauhan (1993) y Balerdi *et al.* (1996) indicaron que *Botryodiplodia theobromae* Pat. y *Cephaleurus virescens* Kunze (alga roja) causan tizón y muerte de brotes jóvenes (retoños) de *P. sapota* en la India y EE. UU.

En frutales como el mango se presenta el síndrome de declinamiento que incluye síntomas de muerte descendente de ramas anuales y estructurales con o sin defoliación, canchales y rajadura de tallos y ramas con exudaciones gomosas, decoloración vascular y deficiencias nutrimentales de hojas (Ploetz *et al.*, 1996; Reckhaus y Adamou, 1987) y se ha asociado a: *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc., *Dothiorella dominicana* Petr. y Cif., *L. theobromae*, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler, *Phomopsis* spp., *Hendersonula toruloidea* Nattras,

*Physalospora rhodina* (B. y C.) Cke., *Botryosphaeria ribis* Gross y Duggar, *Diplodia* sp., *Ceratocystis fimbriata* Ellis y Halst. (Álvarez-García y López-García, 1971; Reckhaus y Adamou, 1987; Ramos *et al.*, 1991; Ploetz *et al.*, 1996); *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* Van Hall (Cazorla *et al.*, 1998) y *Hemicriconemoides mangiferae* Siddiqi (McSorley *et al.*, 1980; citados por Ploetz *et al.*, 1996). Síntomas similares se presentan en cítricos (*Citrus* spp) (Davis *et al.*, 1987), manzana (*Malus domestica* Borkh.) y durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch.) (Brown y Britton, 1986).

*L. theobromae* causó infección sólo cuando se inoculó directamente sobre el tejido cortical; su capacidad de penetración por heridas fue mencionado por Ploetz *et al.* (1996) y Pavlic *et al.* (2004). La muerte de ramas se observó hasta los 24 meses después de la inoculación; la tasa de incidencia en campo posiblemente sea limitada por el lento crecimiento e invasión del hongo en el tejido vivo condicionado por su hábito saprófito, ya que primero debe inducir muerte celular, tal como lo hace *Botryosphaeria corticis* en ramas de plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) (Milholland, 1970) y *B. theobromae* en tejidos leñosos de cítricos (Davis *et al.*, 1987). La enfermedad es más frecuente de observar en huertos con manejo agronómico deficiente en la Cañada de Huamuxtitlán, Guerrero. Se ha observado que la muerte descendente de árboles frutales puede resultar de la interacción de *L. theobromae* con estrés hídrico, suelos muy arcillosos, superficiales y con escasa materia orgánica, elevada cantidad de caliza activa, fertilización inadecuada, exceso o falta de riego, sombra intensiva, por alta humedad o entrecruzamiento de copas, presencia de heridas y suelos compactados que complican el desarrollo radicular, nutrición y aireación (Álvarez-García y López-García, 1971; Reckhaus y Adamou, 1987; Agustí, 2003).

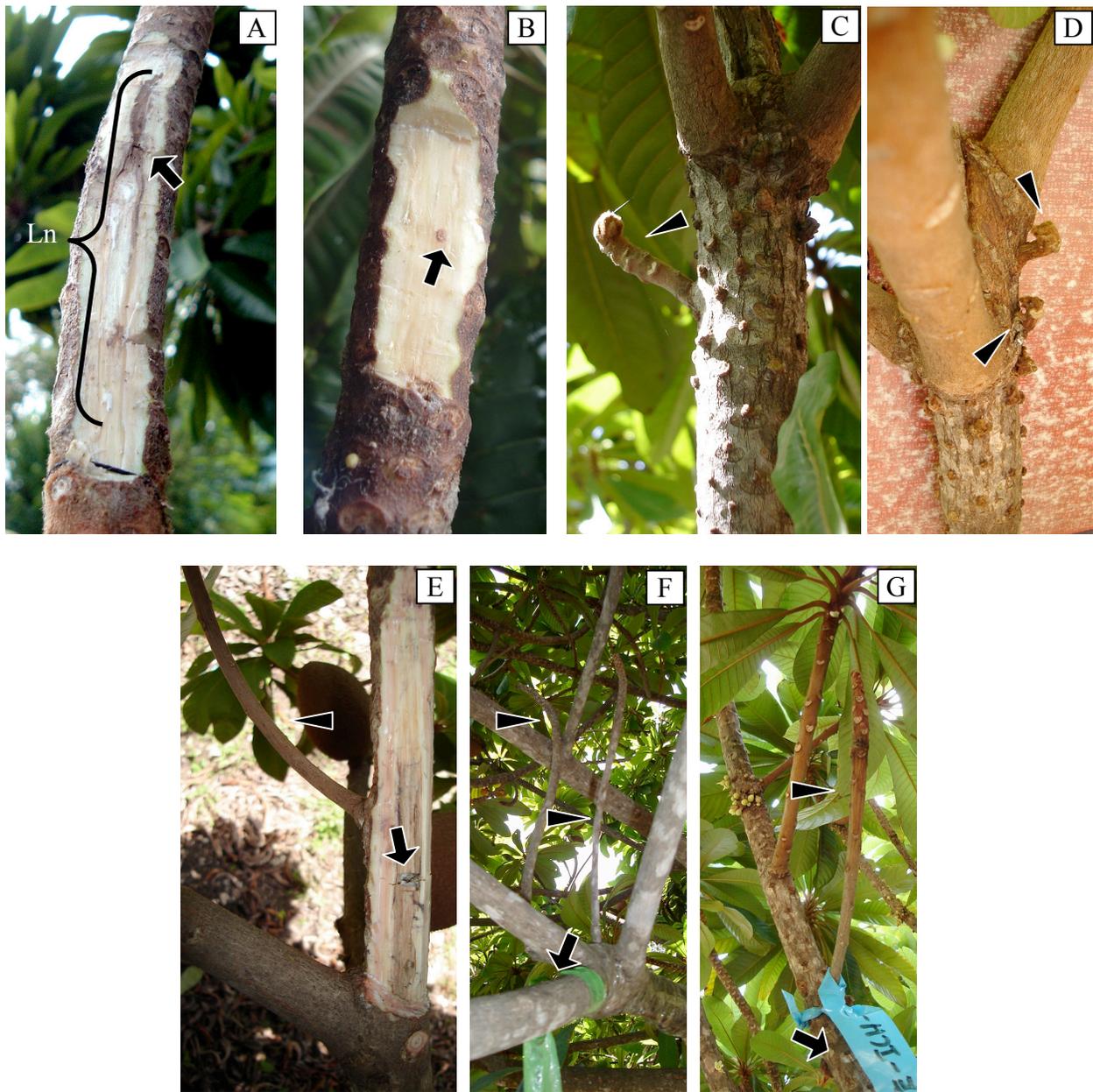


Figura 1. Ramas de mamey (*P. sapota*) con síntomas de muerte descendente. A) Lesión necrótica (Ln) inducida por *Lasiodiplodia* sp. en una rama con peridermis a 30 d de la inoculación por herida. (B) Testigo: rama con peridermis con un punto necrótico en el sitio con herida. C y D) Muerte de brotes vegetativos, y (E-G) Ramas con crecimiento secundario (peridermis) adyacente al sitio inoculado por herida con síntomas de muerte descendente 24 meses después de la inoculación. Se indican síntomas (▶) y heridas de inoculación (➡).

Es posible que en árboles de mamey de Alpoyecá, Gro. las heridas en ramas anuales reproductivas producidas por causas naturales o por herramientas de corte en la cosecha; la alcalinidad del suelo (pH 7.6-8.0) y el desbalance hídrico y nutricional por ausencia de programas de riego y fertilización predispongan a los árboles al desarrollo de la enfermedad. Además, en la zona de estudio, existe un periodo crítico de infección importante ya que *L. theobromae* libera la mayor cantidad de esporas asexuales de abril a noviembre, mismas que se registran en el aire mediante trampas volumétricas (Comunicación personal del Dr. Cristian Nava Díaz, especialista en enfermedades de frutales). Se ha documentado que las esporas de *L. theobromae* pueden dispersarse por gotas de lluvias a distancias cortas y por aire a mayores distancias, tal como sucede en frutales cítricos (Ko, *et al.*, 2004). El impacto negativo de la secadera de ramas sobre la producción de mamey en la Cañada de Huamuxtitlán, Guerrero es significativa ya que con el paso de los años el número de ramas reproductivas y estructurales secas se incrementa y es notorio el efecto depresivo sobre la calidad y cantidad de frutos y en la reducción de la longevidad de los huertos comerciales, como sucede también en cítricos (Agustí, 2003). En este estudio no se verificó la patogenicidad de *Pestalotiopsis* sp. debido a su hábito endófito en los árboles de mamey en la zona de estudio (Gómez, 2008). *Fusarium* sp. no mostró capacidad patogénica cuando se inoculó en tallos con heridas de plántulas de mamey.

### **Identificación morfológica y molecular de *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. y Maubl.**

La colonia en PDA a 30 d de incubación exhibió color oscuro con micelio aéreo y algodonoso. Picnidios ostiolados solos o agregados en tejido estromático. Conidios inmaduros amerosporas, hialinos, elipsoides y aspecto granuloso con grosor de pared < 2  $\mu\text{m}$  y base truncada. Conidios maduros didimosporas de color café oscuro, elipsoides de 19.44-26.73 x

10.21-13.37  $\mu\text{m}$  (promedio 23.07 x 11.84  $\mu\text{m}$ ) de longitud con estrías longitudinales y base truncada. Relación largo/ancho de los conidios 1.95:1. Las características de este aislamiento coincidieron con las reportadas por Punithalingam (1976) y Burgess *et al.* (2006). El análisis molecular confirmó que el hongo causante de la muerte descendente en Alpoyeca, Gro., fue *Lasiodiplodia theobromae*, la homologación con *L. theobromae* depositado en el banco de genes (NCBI) con número de acceso EF622073 fue de 96%. La secuencia parcial del gen 18s ribosomal, la región ITS1, el gen 5.8s, la región ITS2 y la secuencia parcial del gen 28s de *L. theobromae* patogénico en esta investigación se depositó en el NCBI con número de acceso EU564805.

## **Histopatología**

### **Descripción anatómica de ramas asintomáticas**

La peridermis se observó conformada por capas de células parenquimatosas de forma oval, con paredes anticlinales y periclinales engrosadas, lignificadas y abundantes puntuaciones con depósitos de polifenoles (Figuras 2A y 2B) y presencia de lenticelas (Figura 2A). La corteza conformada por células parenquimatosas, inició bajo la peridermis con dos capas continuas de células rectangulares con polifenoles; el resto de la corteza consistió de células isodiamétricas en su mayoría con polifenoles en su interior. En el estrato externo de la corteza se observaron abundantes esclereidas y en el interno se encontraron abundantes laticíferos rodeados por seis a ocho células parenquimatosas pequeñas de forma oval (Figura 2A). La corteza estuvo separada del floema por un estrato discontinuo de fibras externas del floema (Figuras 2A y 2C).

El floema estuvo compuesto por una serie de células dispuestas en planos axial y radial. En el plano axial se encontraron los tubos cribosos con sus células acompañantes; grupos de fibras con células esclerenquimatosas de forma poligonal con paredes gruesas lignificadas y células parenquimatosas con polifenoles (Figuras 2A, 2D y 2E). El plano radial estuvo constituido por células parenquimatosas. Los radios en su mayoría conteniendo polifenoles. El cambium vascular se conformó por células parenquimatosas dando origen al floema y xilema secundario (Figura 2A). En el xilema se observaron el sistema axial y radial. En el primero se identificaron las traqueidas, vasos y fibras constituidas por células muertas con pared gruesa y lignificada, también se identificaron células parenquimatosas (Figura 2F). El sistema radial se conformó por células parenquimatosas con polifenoles en su interior. La médula estuvo formada por células parenquimatosas isodiamétricas, algunas de ellas conteniendo polifenoles y abundantes laticíferos (Figura 2G).

### **Descripción anatómica de ramas sintomáticas**

Las células peridérmicas conservaron las características descritas para el tejido asintomático; excepto que el tejido sufrió fracturas (Figuras 3A y 3B). Las células corticales se deterioraron gradualmente en función del avance de la enfermedad; inicialmente presentaron colapso y necrosis sin lisis celular; las esclereidas y laticíferos conservaron su posición como en el tejido sano. En un estado más avanzado de la enfermedad, los laticíferos colapsaron y necrosaron, no así las esclereidas que conservaron su forma hasta el final de la enfermedad (Figuras 3B y 3C). Las fibras externas del floema colapsaron y perdieron su estructura normal (Figura 3D).

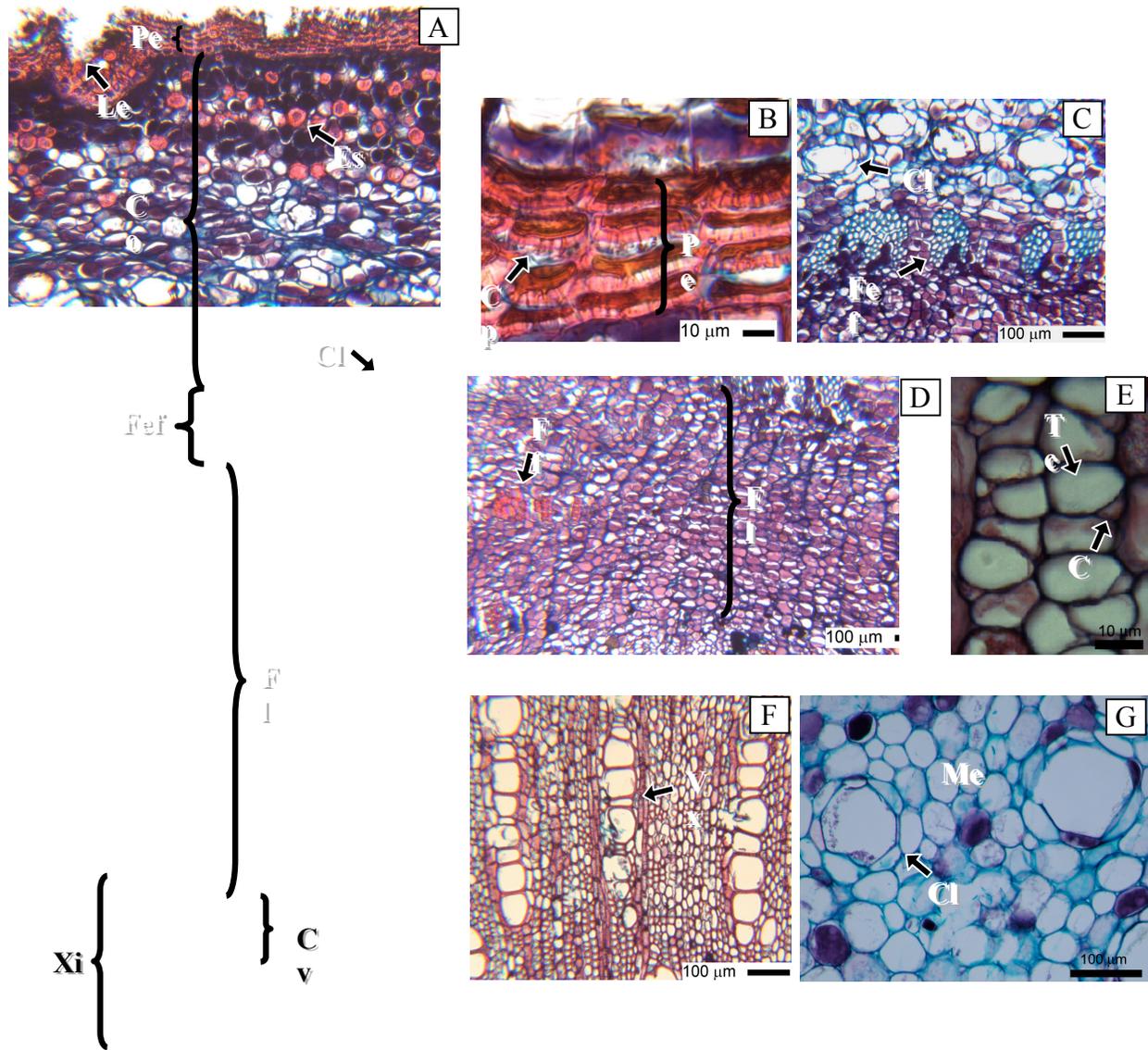


Figura 2. Corte histológico transversal de una rama sana de mamey (*P. sapota*). A) Peridermis (Pe) con lenticelas (Le); corteza (Co) con un estrato de esclereidas (Es) y de laticíferos (Cl); capa de fibras externas del floema (Fef); floema (Fl); cambium vascular (Cv) y xilema (Xi). B) Células peridérmicas engrosadas periclinal y anticlinalmente con abundantes puntuaciones (Cp). C) Capa de Fef limitando la corteza del floema. D) Fibras del floema (Ff). E) Tubos cribosos (Tc) con células acompañantes (Ca) en floema. F) Vasos del xilema (Vx). G) Tejido médular (Me) con laticíferos (Cl).

El daño inicial de las células del floema secundario consistió de colapso y necrosis; sin embargo, se alcanzó a distinguir la individualidad celular; posteriormente, el tejido se necrosó completamente (Figura 3A). Conforme la necrosis aumentó, hubo inducción de cristales rectangulares y precipitados granulosos de color azul debido a la tinción empleada (Figuras 3E y 3F). En etapas finales de la enfermedad el floema secundario alcanzó mayor crecimiento; debido a este fenómeno y a la necrosis del estrato de la corteza, la mayor parte del floema fue ocupado por los radios dilatados cuyas células parenquimatosas sufrieron esclerenquimatización. Lo mismo ocurrió en el parénquima axil donde se formaron grupos de esclereidas (Figuras 3A y 3E) hacia la parte interna del floema funcional que normalmente se encontraron en número escaso. El cambium vascular colapso y exhibió necrosis (Figura 3A). El tejido xilemático conservó su forma y estructura sin observarse obstrucción por oclusiones o sustancias ergásticas en el interior de los vasos. La médula mantuvo las características descritas para el tejido asintomático.

Los estudios histológicos realizados con este hongo en otros hospedantes son escasos. Atia *et al.* (2003), en plantas de uva (*Vitis vinifera* L.) infectadas por *L. theobromae*, observaron sólo algunos síntomas microscópicos similares a los presentados en ramas de mamey: plasmólisis celular en el tejido cortical con una coloración café-oscuro por la producción de taninos, suberina y flobafenes (Brown y Hendrix, 1981). Milholland (1970) inoculó a *Botryosphaeria corticis* en ramas de arándano y después de seis meses observó desorganización de las células parenquimatosas de la corteza, después de un año encontró al hongo confinado a la corteza y floema y 24 meses después documentó la pérdida de estructura de células de la corteza y floema. Estos eventos los atribuyó al lento crecimiento y avance del hongo en el tejido vivo debido a su carácter saprofítico por inducir primero muerte celular.

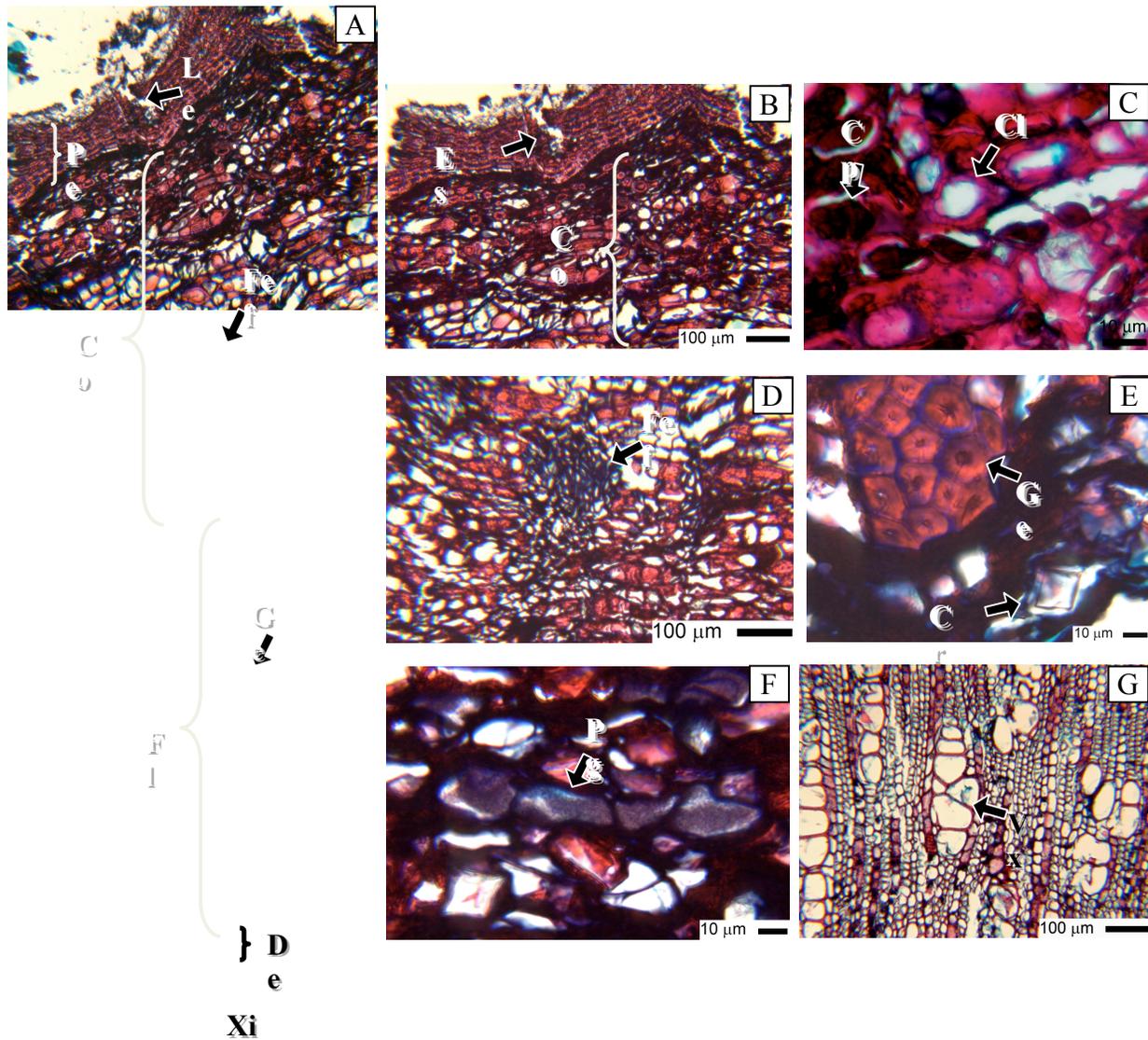


Figura 3. Corte histológico transversal de una rama de mamey (*P. sapota*) con síntomas de muerte descendente. A) fractura de peridermis (Pe) y lenticelas (Le); colapso y necrosis cortical (Co), fibras externas del floema (Fef) y floema (Fl) con grupos de esclereidas (Ge); desprendimiento del floema-xilema (De) y xilema (Xi). B) Colapso y necrosis de células corticales (Co). C) Colapso y necrosis de laticíferos (Cl) en corteza. D) Colapso de Fef. E) Esclereidas (Ge) y cristales rectangulares (Cr) en floema. F) Precipitados granuloso (Pg) en la células de Co y Fl. G) Vasos del xilema (Vx) sin obstrucciones.

Román *et al.* (2004) observaron algunas alteraciones histológicas en los tejidos dañados por la enfermedad conocida como muerte súbita de los cítricos que coinciden con las descritas en este estudio: colapso y necrosis de los tubos cribosos y las células acompañantes del floema funcional, presencia de cristales romboédricos y lignificación en células parenquimatosas del floema. Estos antecedentes sugieren que el colapso y necrosis de los elementos cribosos del floema pueden impedir el flujo de fotoasimilados, y consecuentemente, provocar la muerte de ramas por inanición como sucede en árboles de cítricos con daños en el floema debido al ataque del virus de la tristeza de los cítricos (Lee y Bar-Joseph, 2000).

## CONCLUSIONES

\* Se confirmó a *Lasiodiplodia theobromae* como agente causal de la muerte descendente del mamey (*P. sapota*) en la Cañada de Huamuxtitlán, Guerrero.

\* *L. theobromae* indujo lesiones necróticas internas y externas en ramas de mamey con crecimiento secundario (peridermis) inoculadas por heridas, así como muerte descendente en brotes vegetativos. Se identificaron otros daños anatómicos internos como rompimiento de peridermis, colapso y necrosis de corteza, fibras externas, floema funcional y laticíferos; formación de cristales y precipitados granulosos en corteza y floema. El hongo no mostró capacidad de penetración directa, lo cual confirma su parasitismo débil.

## LITERATURA CITADA

- Agustí M. 2003. Citricultura. Mundi-Prensa. Madrid, España. 422 p.
- Ahrens, U., and E. Seemüller. 1992. Detection de DNA of plant pathogenic mycoplasmalike organisms by polymerase chain reaction that amplifies a sequence of the 16S rRNA gene. *Phytopathology* 82: 828-832.
- Álvarez-García, L. A., and J. López-García. 1971. Gummosis, die-back and fruit rot disease of mango (*Mangifera indica* L.) caused by *Physalospora rhodina* (B. & C.) Cke. in Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 55:435-450.
- Álvarez V., G. 1997. La muerte descendente y el cáncer del tallo en el zapote. *Tikalía* 15:37-46.
- Atia, M. M. M., A. Z. Aly, M. R. A. Tohamy, H. El-Shimy, and M. A. Kamhawy. 2003. Histopathological studies on grapevine die-back. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 110:131-142.
- Balerdi, C. F., J. H. Crane, and I. Maguire. 1996. Mamey sapote growing in the Florida home landscape. Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. (En línea) Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/MG/MG33100.pdf> (Consultado 30 de abril de 2008).
- Barnett, L. H., and B. B. Hunter. 2006. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Fourth Edition. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 218 p.
- Brown, E. A. II., and K. O. Britton. 1986. Botryosphaeria diseases of apple and peach in the southeastern United States. *Plant Disease* 70:480-484.
- Brown, E. A. II., and F. F. Hendrix. 1981. Pathogenicity and histopathology of *Botryosphaeria dothidea* on apple stems. *Phytopathology* 71:375-379.

- Burgess, T. I., P. A. Barber, S. Mohali, G. Pegg, W. de Beer, and M. J. Wingfield. 2006. Three new *Lasiodiplodia* spp. from the tropics, recognized based on DNA sequence comparisons and morphology. *Mycologia* 98:423-435.
- Cazorla F., M., J. A. Torés, L. Olalla, A. Pérez-García, J. M. Farré, and A. de Vicente. 1998. Bacterial apical necrosis of mango in southern Spain: A disease caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. *Phytopathology* 88:614-620.
- Curtis P., J. 1986. *Microtécnica Vegetal*. Trillas, México. 106 p.
- Davis, R. M., C. J. Farrald, and D. Davila. 1987. Botryodiplodia trunk lesions in Texas citrus. *Plant Disease* 71:848-849.
- Gómez J. R. 2008. Manejo postcosecha y hongos asociados a la pudrición del fruto de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) en Guerrero, México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. 94 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2006. Anuario Estadístico de Guerrero. México. 383 p.
- Johansen, D. A. 1940. *Plant Microtechnique*. McGraw Hill, New York, USA. 503 p.
- Ko, W. H., I. T. Wang, and P. J. Ann. 2004. *Lasiodiplodia theobromae* as a causal agent of Kumquat dieback in Taiwan. *Plant Disease* 88:1383.
- Lee, R.F., and Bar-Joseph. 2000. Tristeza. *In: Compendium of citrus diseases 2<sup>a</sup> ed.* Timmer, L.W., S. M. Garnsey, and J. H. Graham (Eds.). APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. pp: 61-63.
- Milholland, R. D. 1970. Histology of Botryosphaeria canker of susceptible and resistant highbush blueberries. *Phytopathology* 60:70-74.
- NCBI (National Center for Biotechnology Information). 2008. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (Consultado 29 de abril de 2008).

- Patel, P. B., and H. L. Chauhan. 1993. Twig blight of sapota caused by *Botryodiplodia theobromae* Pat.: a new record. *Indian Journal of Mycology and Plant Pathology* 23:219.
- Pavlic, D., B. Slippers, T. A. Coutinho, M. Gryenhout, and M. J. Wingfield. 2004. *Lasiodiplodia gonubiensis* sp. nov., a new *Botryosphaeria* anamorph from native *Syzygium cordatum* in South Africa. *Studies in Mycology* 50: 313-322.
- Ploetz, R. C., D. Benscher, A. Vazquez, A. Colls, J. Nagel, and B. Schaffer. 1996. A reexamination of mango decline in Florida. *Plant Disease* 80:664-668.
- Punithalingam, E. 1976. *Botryodiplodia theobromae*. CMI description of pathogenic fungi and bacteria. No. 519. Commonwealth Mycological Institute. Kew, Surrey, England.
- Ramos L., J., S. P. Lara, R. T. Jr. McMillan, and K. R. Narayanan. 1991. Tip dieback of mango (*Mangifera indica*) caused by *Botryosphaeria ribis*. *Plant Disease* 75:315-318.
- Reckhaus, P., and I. Adamou. 1987. Hendersonula dieback of mango in Niger. *Plant Disease* 71:1045.
- Román M., P., M. Cambra, J. Juárez, P. Moreno, N. Durán-Vila, F. A. O. Tanaka, E. Alves, E. W. Kitajina, P. T. Yamamoto, R. B. Bassanezi, D. C. Teixeira, W. C. Jesus Junior, A. J. Ayres, N. Gimenes-Fernandes, F. Rabenstein, L. F. Girotto, and J. M. Bové. 2004. Sudden death of citrus in Brazil: A graft-transmissible bud union disease. *Plant Disease*. 88:453-467.
- SIAP (Servicio de Información y estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2006. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado 26 de abril de 2008).
- Vásquez L., A., A. Mora A., D. Téliz O., y E. Cárdenas S. 2006. Hongos y daños asociados a la muerte descendente del mamey (*Pouteria sapota*) en Guerrero, México. *In: Memorias del*

VIII/XXXIII Congreso Internacional/Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología,  
A. C. Manzanillo, Colima, México. Resumen C53.

White, T. J., T. Bruns, S. Lee, and J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *In*: PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications. Innis, M. A., D. A. Gelfand, J. J. Sninsky, and T. J. White (eds.). Academic Press, San Diego, CA, U.S.A. pp: 315-322.

**CAPÍTULO II. ETIOLOGÍA Y EPIDEMIOLOGÍA DE LA NECROSIS FLORAL DE  
ÁRBOLES DE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) EN GUERRERO,  
MÉXICO**

**RESUMEN**

El mamey (*Pouteria sapota*) es un cultivo con alta rentabilidad en la montaña baja de Guerrero, México. En Alpoyeca, Guerrero, la necrosis floral es una enfermedad de etiología desconocida que se presenta con alta incidencia (80-100%) y reduce la productividad de los huertos comerciales. Los objetivos del presente estudio fueron determinar la etiología y el progreso temporal de la enfermedad con el fin de apoyar estrategias de manejo fitosanitario. De flores necróticas con crecimiento micelial se aisló a *Penicillium olsonii* y *Alternaria alternata* y de flores asintomáticas a *Pestalotiopsis paeoniicola*. La patogenicidad se verificó en ritmos florales de verano e invierno en 2006. *P. olsonii* y *A. alternata*, inoculados en solución conidial ( $1 \times 10^3$  conidios  $\text{mL}^{-1}$ ), produjeron micelio abundante sobre pétalos, estambres, ovario y sépalos a 3 y 5 d después de la inoculación, a 5 y 8 d causaron lesiones necróticas y marchitez y a 12 d pudrición y abscisión floral. *P. paeoniicola* produjo acérvulos y necrosis de pétalos 5 d después de la inoculación. Las flores testigo, asperjadas con agua destilada estéril, desarrollaron acérvulos de *P. paeoniicola* 8 d después en 53% y 33% de las flores de verano e invierno lo cual reflejó infecciones preexistentes. La identificación de los hongos se basó en características morfológicas y en la secuencia de las regiones del espacio interno transcrito (ITS1 e ITS2) de los genes ribosomales (rRNA). Las secuencias experimentales se homologaron en 98, 95 y 97% con las de *Penicillium olsonii* (DQ123662), *Pestalotiopsis paeoniicola* (AY687310) y *Alternaria alternata* (AY714479) depositadas en el Nacional Center for Biotechnology Information. El progreso temporal de la necrosis floral estudiado en 10 árboles de mamey en verano de 2006, inició ( $Y_0$ ) a mediados de junio y terminó a mediados de agosto ( $Y_f = 80-100\%$ ). El 50% de las epidemias se ajustaron a los modelos Gompertz, 30% al logístico y 20% al monomolecular. La incidencia se asoció con la humedad relativa que fluctuó de 65 a 75% ( $r=0.80$ ) y a una velocidad del viento  $\leq 5$   $\text{km h}^{-1}$  ( $r=0.75$ ). La densidad conidial de *Alternaria* sp. y *Pestalotiopsis* sp. se relacionó con la

humedad relativa (70-90%) ( $r_{Alternaria}=0.75$  y  $r_{Pestalotiopsis}=0.80$ ) y a una velocidad del viento  $\leq 5$  km h<sup>-1</sup> para *Alternaria* sp. ( $r_{Alternaria}= 0.70$ ). No se encontró relación significativa de las temperaturas con la densidad conidial ( $r_{Alternaria}= 0.50$  y  $r_{Pestalotiopsis}= 0.65$ ). Las esporas en el aire de *Alternaria* y *Pestalotiopsis* se encontraron en mayor cantidad de abril a noviembre coincidiendo con la floración de verano.

**Palabras clave:** Zapote mamey, *Penicillium olsonii*, *Alternaria alternata* y *Pestalotiopsis paeoniicola*.

**CHAPTER II. ETIOLOGY AND EPIDEMIOLOGY OF MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.)  
H.E. Moore and Stearn) FLORAL NECROSIS IN GUERRERO, MEXICO**

**ABSTRACT**

Mamey (*Pouteria sapota*) is a fruit tree with high economical potential in Guerrero, Mexico. In Alpayeca, Guerrero, floral necrosis is an important disease with incidence that ranges from (80-100%), reducing production of commercial orchards. The objective of this research was to determine the etiology of floral necrosis and quantify the incidence of the disease over time to provide information for its integrated management. From flowers with necrosis symptoms were isolated *Penicillium olsonii* and *Alternaria alternata* and from asymptomatic flowers was isolated *Pestalotiopsis paeoniicola*. Pathogenicity test was carried out during summer and winter 2006. Fungi were inoculated by spraying a suspension with  $1 \times 10^3$  conidia  $\text{mL}^{-1}$ . *P. olsonii* and *A. alternata* produced mycelium on petals, stamen, ovary and sepals 3-5 days after inoculation, floral necrosis after 5-8 days, and floral rot and abscission 12 days after inoculation. *P. paeoniicola* produced acervuli and floral necrosis 5 days after inoculation. Controls were sprayed with autoclaved distilled water. Eight days after control flowers were sprayed, symptoms and acervuli of *P. paeoniicola* were observed in 53% and 33% of treated flowers during summer and winter experiments, respectively. Fungi identification was based on morphological characteristics and secuenciation of ITS region (ITS1 and ITS2) in ribosome genes (rRNA). Our sequences had 98, 95 and 97% homology to *Penicillium olsonii* (Nacional Center for Biotechnology Information Accession number DQ123662), *Pestalotiopsis paeoniicola* (Accession number AY687310) and *Alternaria alternata* (Accession number AY714479), respectively. Floral necrosis disease progress over time was evaluated on 10 mamey trees in summer 2006. The disease started ( $Y_0$ ) by the end of June and ended in the mid of August ( $Y_f = 80-100\%$ ). Disease progress curves were described by Gompertz (50%), logistic (30%) and monomolecular (20%) models. Incidence had a strong correlation ( $r=0.80$ ) to relative humidity that ranged from 65 to 75% and wind  $\leq 5 \text{ km h}^{-1}$  ( $r=0.75$ ). *Alternaria* sp. and *Pestalotiopsis* sp. conidial density show correlation ( $r_{\text{Alternaria}}=0.75$  y  $r_{\text{Pestalotiopsis}}=0.80$ ) to relative humidity (ranged from 70 to 90%) and wind  $\leq 5 \text{ km h}^{-1}$  ( $r_{\text{Alternaria}}=0.70$ ). Our data show no correlation between temperature and conidial density ( $r_{\text{Alternaria}}=0.50$  and

$r_{Pestalotiopsis} = 0.65$ ). *Alternaria* and *Pestalotiopsis* spores were detected in large amounts in the wind during April-November, which is the period of the year were mamey trees blooms. This study allow us to conclude that *Penicillium olsonii*, *Alternaria alternata* and *Pestalotiopsis paeoniicola* are able to induce floral necrosis in mamey in Alpoyeca, Guerrero, México.

**Key words:** Zapote mamey, *Penicillium olsonii*, *Alternaria alternata* and *Pestalotiopsis paeoniicola*.

## INTRODUCCIÓN

El mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) se cultivó en 13 estados de la República Mexicana en 2006, en una superficie de 1,338 ha y con una producción estimada de 12,719 ton. Los estados con mayor superficie cultivada y producción fueron Yucatán (411 ha y 6,280 ton) y Guerrero (265 ha y 2,498 ton) (SIAP, 2006). En los municipios de Huamuxtitlán y Alpoyecá, en la Cañada de Huamuxtitlán en el estado de Guerrero, se estimó una superficie cultivada de aproximadamente 300 ha de mamey en 2005, aunque oficialmente se reportaron sólo 58 ha (SIAP, 2006). Regionalmente, el cultivo de este frutal tiene gran potencial de producción, alta rentabilidad y dinamiza la economía local durante cinco meses del año (diciembre-abril). Sin embargo, problemas fitosanitarios importantes disminuyen significativamente la productividad de los huertos comerciales. En esta investigación se estudió la etiología y progreso temporal de la enfermedad denominada necrosis floral de mamey asociada a *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., y *Pestalotiopsis* sp. en 2006 (Vásquez *et al.*, 2006).

Se han reportado distintas especies de hongos fitopatógenos que causan enfermedades de estructuras florales en mamey y otras especies frutícolas tropicales que coinciden con *P. sapota* en los mismos nichos agroecológicos. *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. se ha asociado a la antracnosis de flores de mamey, caída prematura y manchado de la fruta en Florida, EE.UU. (Morton, 1987; Farr *et al.*, 1989; Balerdi *et al.*, 2005). *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* J.H. Simmonds y *Cladosporium tenuissimum* Cooke causan antracnosis y tizón de inflorescencias de mango (*Mangifera indica* L.) (Arauz, 2000; Guillen, 2002). En cítricos (*Citrus* spp.) *C. acutatum* causa tizón de flores (Wharton y Diéguez-Uribeondo, 2004) y en papayo (*Carica papaya* L.) *C. gloeosporioides* induce necrosis y abscisión floral (De Los Santos *et al.*,

2000). Estos hongos causan lesiones necróticas, aborto de flores y reducen significativamente la producción de frutos, para el caso de la enfermedad en estudio, no se encontraron antecedentes sobre el origen y comportamiento epidémico de esta enfermedad. Conocer el progreso de una enfermedad permite identificar fases epidémicas críticas como procesos de dispersión, periodos de mayor infección y condiciones climáticas que promueven el desarrollo del parásito y la enfermedad, entre otros factores. Estudios de esta naturaleza son necesarios para desarrollar un manejo fitosanitario sustentable y efectivo de la necrosis floral del mamey. Esta investigación confirma la etiología de la enfermedad y determinar algunas fases críticas del desarrollo temporal de esta enfermedad en Alpoyeca, Guerrero, México.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Etiología**

#### **Sitio de estudio, muestreo de campo y aislamiento de hongos**

Alpoyeca, Guerrero, México, se ubica en la Cañada de Huamuxtitlán, en las coordenadas geográficas 17°40' N y 98°31' O, a una altitud de 960 m (INEGI, 2006); su clima es cálido subhúmedo con temperatura y precipitación anual de 22°C y 800-900 mm, y suelos arcillosos o franco-arcillosos con 2 a 7% de materia orgánica, pH alcalino (7.6-8.2) y conductividad eléctrica de 0.20 a 1.54 mmhos/cm. En agosto de 2005, mediante muestreo dirigido, se colectaron 60 flores de mamey con necrosis; 30 de ellas con crecimiento micelial de color verde-grisáceo y abundante esporulación y 30 con crecimiento micelial de color café oscuro; además se recolectaron 30 flores asintomáticas. De cada grupo de flores se obtuvieron 60 secciones de pétalos de 0.5 cm<sup>2</sup>. El tejido se lavó con agua común por 15 minutos, se desinfectó con

hipoclorito de sodio a 1.0% por 3 min, se lavó tres veces con agua destilada estéril, se secó con toallas de papel absorbente y se sembró en cajas de Petri con medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) (BD Bioxon<sup>®</sup>, Becton Dickinson de México). Las cajas de Petri con el medio de cultivo se incubaron a 25°C con luz blanca por 3 d. Las colonias fungosas formadas se transfirieron a PDA (BD Bioxon<sup>®</sup>) e incubaron a 25°C con luz blanca por 10 d; posteriormente se purificaron por cultivos monoconidiales y se preservaron en tubos con arena estéril enriquecida con PDA.

### **Pruebas de patogenicidad**

La capacidad patogénica de *Penicillium* sp., *Alternaria* sp. y *Pestalotiopsis* sp. se verificó en flores de mamey del ciclo de verano 2005 e invierno 2006. En cada ciclo floral se establecieron tres tratamientos de inoculación: *Penicillium* sp. (T1), *Alternaria* sp. (T2) y *Pestalotiopsis* sp. (T3) e incluyó un tratamiento testigo (T4) sin inocular. Cada hongo se inoculó en 60 flores (botones y flores abiertas). La unidad experimental fue una flor. El inóculo se preparó cultivando los hongos en medio de cultivo PDA (BD Bioxon<sup>®</sup>) a 25°C con luz blanca por 10 d. Los conidios se colectaron por frotación con una varilla de vidrio estéril, se depositaron en 10 mL de agua destilada estéril y se ajustaron a una concentración de  $1 \times 10^3$  conidios mL<sup>-1</sup>.

Las flores experimentales por inocular se lavaron con agua destilada estéril, se desinfectaron con hipoclorito de sodio a 0.5% por 2 min y se enjuagaron con agua destilada estéril tres veces. Por cada tratamiento se asperjó 1.0 mL de la solución conidial del hongo correspondiente en 12 grupos de cinco flores. Las 60 flores testigo recibieron sólo agua destilada estéril. Las flores inoculadas y testigo se cubrieron durante los primeros 5 d con una bolsa de plástico desinfectada con alcohol al 70% conteniendo dentro un algodón estéril humedecido con agua destilada estéril para aumentar y conservar la humedad relativa al 100%. La incidencia de la

necrosis floral por tratamiento se estimó con la ecuación:  $I_i = (\sum ni/Ni) \times 100$ ; donde:  $I_i$  = incidencia (%) de flores enfermas en el momento  $i$ ;  $ni$  = número de flores necróticas en el momento  $i$ ;  $Ni$  = población total de flores inoculadas. La evaluación se realizó a 3, 5, 8 y 12 d después de la inoculación. De tejidos infectados se reaislaron a los hongos en cultivo puro; las colonias y sus estructuras reproductivas se compararon morfológicamente con las colonias originalmente inoculadas.

### **Identificación de fitopatógenos**

**Caracterización morfológica.** Colonias monoconidiales de *Penicillium* sp. se cultivaron en extracto de malta (MEA) (Raper y Thom, 1949) y las de *Pestalotiopsis* sp. y *Alternaria* sp. en PDA (BD Bioxon<sup>®</sup>) a 25°C y luz blanca por 20 d e identificaron con las claves taxonómicas para género de Barnett y Hunter (2006). La especie de *Penicillium* se identificó con las referencias de Raper y Thom (1949) y Samson *et al.* (2004) de acuerdo con el color de la colonia; forma de conidióforos y penicilo, largo-ancho de métulas, forma y dimensiones de fialides y conidios. La especie de *Pestalotiopsis* se determinó según la clave de Guba (1961) y Wei *et al.* (2005) considerando color de la colonia, tipo de micelio y acérvulos en medio de cultivo PDA al 2%, forma, septación, color y longitud de 50 conidios; longitud y color de las tres células intermedias; forma de células apical y basal; así como el número y longitud de apéndices apicales y basales. La especie de *Alternaria* se determinó con las claves de Rotem (1994) de acuerdo con el color de la colonia, tipo de micelio en medio de cultivo PDA (BD Bioxon<sup>®</sup>); longitud de 50 conidióforos; ancho, longitud apical, longitud total, número de transeptos y longiseptos de 50 conidios; catenulación de esporas y número de conidios por cadena.

**Caracterización molecular.** El ADN de *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., y *Pestalotiopsis* sp. se obtuvo según la metodología de Ahrens y Seemüller (1992) y su calidad se evaluó por electroforesis en gel de agarosa a 1% (Agarose Ultra Pure, Invitrogen<sup>®</sup>) y se cuantificó en un espectrofotómetro Perkin Elmer<sup>®</sup> (Lambda BIO 10<sup>®</sup>). La amplificación de las regiones ITS1 e ITS2 de los genes ribosomales (rRNA), localizadas entre la subunidad pequeña 18S rRNA-5.8S y la subunidad larga 5.8S-28S rRNA, se efectuó mediante la técnica de PCR utilizando los iniciadores universales ITS4 (TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC) e ITS5 (GGA AGT AAA AGT CGT AAC AAG G) (White *et al.*, 1990). La amplificación y visualización de los productos finales se realizó según el protocolo de Ahrens y Seemüller (1992), con modificaciones en las reacciones de PCR cuyo volumen final fue de 25  $\mu$ L [agua ultrapura estéril (13.22  $\mu$ L), solución amortiguadora TBE 1X (2.5  $\mu$ L), MgCl<sub>2</sub> a 2.5 mM (2.08  $\mu$ L), dNTPs a 0.2 mM (2  $\mu$ L), iniciadores ITS4 e ITS5 a 20  $\mu$ mol (2 $\mu$ L de cada uno), DNA polimerasa (Biogenica<sup>®</sup>) a 1U (0.2  $\mu$ L) y muestra problema de ADN a 80 ng (1  $\mu$ L). El producto amplificado se purificó con el kit Wizard (Promega<sup>®</sup>) y secuenció con el Genetic Analyzer modelo 3100<sup>®</sup>, Applied Biosystem<sup>®</sup>.

Las secuencias obtenidas se analizaron con el software lasergene<sup>®</sup> 2001, V5 (DNASTAR<sup>®</sup>, Inc.) y alinearon con la base de datos del banco de genes del Nacional Center for Biotechnology Information (NCBI) ([www.ncbi.nlm.nih.gov/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/)). De los valores generados, se consideraron las secuencias con valor más alto para su comparación con las secuencias en estudio.

## Epidemiología

### Evaluación de incidencia de la necrosis floral

El progreso temporal de la enfermedad se estudió en dos huertos comerciales de mamey durante la floración de verano en 2005. Los árboles experimentales del huerto 1 (HE1) de aproximadamente 25 años de edad tuvieron un arreglo en marco real a 8 x 8 m, suelo arcilloso con pH=7.7, conductividad eléctrica (CE)=1.37 Mmhos cm<sup>-1</sup> y 3.2% de materia orgánica (MO). En el huerto 2 (HE2) los árboles experimentales 15 años de edad tuvieron una disposición en marco real a 10 x 10 m en un suelo arcilloso con pH=7.9, CE=0.53 Mmhos cm<sup>-1</sup> y 2.1% de MO. En cada huerto se eligieron cinco árboles, y en cada uno, cuatro ramas reproductivas del estrato medio, una por punto cardinal. Se seleccionaron 10 cojinetes florales recién formados por rama. La incidencia de la enfermedad se estimó de mayo a agosto de 2005, en intervalos de 15 d, mediante la ecuación:  $I_i = (\sum n_i / N_i) \times 100$ ; donde:  $I_i$  = incidencia (%) de flores enfermas en el momento  $i$ ;  $n_i$  = número de flores necróticas en el momento  $i$ ;  $N_i$  = población total de flores experimentales.

### Análisis de epidemias

Los datos porcentuales de incidencia se transformaron por el método Haldane (Haldane, 1956), a cada valor se sumó 0.5 y dividió entre 100+1 para evitar la pérdida de datos al obtener logaritmo de cero. Los datos se transformaron con: logaritmo (intensidad),  $\log(1/(1-\text{intensidad}))$ ,  $\log(\text{intensidad}/(1-\text{intensidad}))$  y  $-\log(-\log(\text{intensidad}))$  para estimar el ajuste de esta variable a través del tiempo a los modelos exponencial, monomolecular, logístico y Gompertz (Campbell y Madden, 1990). El modelo matemático con mejor ajuste se seleccionó con base al mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Para comparar las epidemias se homologaron las tasas de

incremento de los modelos monomolecular y logístico con la de Gompertz que describió el mayor número de epidemias. La homologación se realizó mediante la estimación del parámetro *rho* del modelo de Richards (1959):

$$rho = k / ((m \times 2) + 2)$$

donde: *rho* = tasa de homologación entre epidemias. *k* = tasa de incremento de la enfermedad del modelo a homologar; *m* toma valores de 0, 1 y 2 para los modelos monomolecular, Gompertz y logístico, respectivamente. Después se aplicó la fórmula:

$$k_G = rho \times ((m \times 2) + 2)$$

donde  $k_G$  = tasas homologadas al modelo de Gompertz;  $m = 1$  debido a que las tasas de incremento se homologan al modelo Gompertz.

La intensidad de la enfermedad por árbol se estimó mediante el cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (abcpe) obtenida por el método de integración trapezoidal (Campbell y Maden, 1990). Todos los cálculos se hicieron mediante el paquete estadístico SAS v 8.0 (SAS Institute, 1999).

### **Variables climáticas**

En Alpoyeca, Guerrero, aproximadamente a 2.0 km de los huertos experimentales, se instaló una estación meteorológica equipada con una consola y subestación inalámbrica Vantage

Pro<sup>®</sup> modelo 6310 (Davis Instruments<sup>®</sup>) que registró la temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%) y velocidad del viento (km h<sup>-1</sup>) en intervalos de 2 h durante el periodo de estudio. La consola se automatizó con el programa WeatherLink<sup>®</sup> versión 5.4 para Windows (Davis Instruments<sup>®</sup>) y se configuró mediante una computadora portátil en campo. La información meteorológica de la consola se exportó a una hoja de cálculo (Excel<sup>®</sup> de Microsoft<sup>®</sup>) para su análisis.

### **Monitoreo de esporas**

En el huerto experimental HE2, se cuantificó, de enero a diciembre de 2007, la densidad diaria de esporas de *Alternaria* spp. y *Pestalotiopsis* spp. en el aire por medio de una trampa volumétrica tipo Burkard (Gadoury y MacHardy, 1983) modificada por Mora (2000). La trampa se instaló a 1.5 m sobre el nivel del suelo y se ubicó en el centro del huerto. Las esporas succionadas y capturadas por impacto sobre una cinta adhesiva transparente de polipropileno (Contac<sup>®</sup>) se cuantificaron con microscopía de luz de acuerdo con la metodología descrita por Mora (2000). La trampa, con capacidad volumétrica de 2.9 L min<sup>-1</sup>, funcionó diariamente durante las 24 h en el ciclo de estudio.

### **Estudios de correlación**

Se analizó la relación entre el progreso temporal de la enfermedad y la temperatura (°C), humedad relativa (%) y velocidad del viento (km h<sup>-1</sup>) mediante la estimación del coeficiente de correlación de Pearson (*r*). Igualmente se relacionó la densidad conidial de *Alternaria* sp. y *Pestalotiopsis* sp. de enero a diciembre de 2007 con los siguientes intervalos de las variables climáticas: temperatura ( $\leq 19.9$ , 20-25, 25.1-30, 30.1-35,  $\geq 35.1$ ), humedad relativa ( $\leq 50$ , 51-60,

61-70, 71-80, 81-90,  $\geq 91$ ) y velocidad del viento ( $\leq 2$ , 2.1-5,  $\geq 5.1$ ). El análisis se realizó en hojas de cálculo de Excel<sup>®</sup> de Microsoft<sup>®</sup>.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Descripción de síntomas en campo**

Los signos y síntomas de la necrosis en flores con infección natural se observaron aproximadamente 3 d después de la apertura floral (Figura 1A). Las flores presentaron dos tipos de signos: micelio de color verde-grisáceo con esporulación abundante (Figura 1B) y micelio de color café oscuro con esporulación escasa (Figura 1C). En los pétalos se formaron pequeñas lesiones necróticas y mostraron síntomas de marchitez. Posteriormente, los hongos colonizaron sépalos y pedúnculo floral y e indujeron lesiones necróticas que coalescieron (Figura 1D). El agua de lluvia favoreció la pudrición y aglomeración de tejido necrosado (Figura 1E) y abscisión floral (Figura 1F).

### **Etiología**

#### **Hongos aislados**

De 60 secciones de pétalos necróticos con crecimiento micelial de color verde-grisáceo se aisló a *Penicillium* sp. (100%), del mismo número de secciones de pétalos necróticos con micelio café-oscuro se aisló a *Alternaria* sp. (100%). De pétalos de flores asintomáticas se aisló a *Pestalotiopsis* sp. (80%).

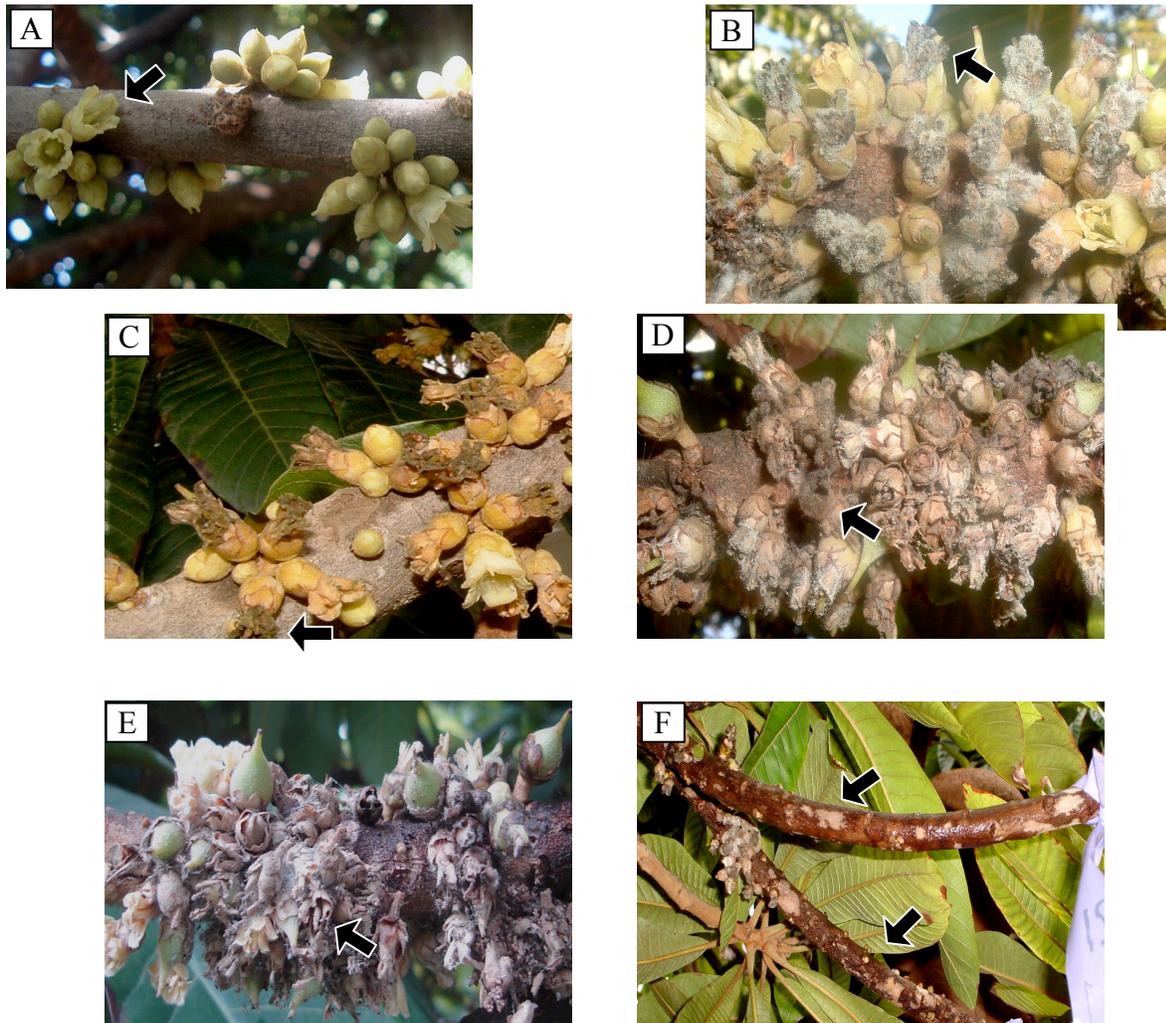


Figura 1. Síntomas de necrosis floral en árboles de mamey (*P. sapota*). A) Flores sanas en cojinetes florales. B) Flores con micelio de color verde-gris y abundante esporulación. C) Flores con micelio de color café-oscuro. D) Necrosis de corola, cáliz y pedúnculo floral. E) Pudrición floral avanzada y aglomeración de tejido necrosado. F) Rama reproductiva con abscisión floral severa. Alpayeca, Guerrero, México. Ritmo floral de verano de 2005.

## Pruebas de patogenicidad

*Penicillium* sp. exhibió micelio de color verde-grisáceo con abundante esporulación en los pétalos, estambres, ovario y sépalos en 60 y 52% de las flores experimentales inoculadas de verano e invierno (V-I) a 3 días de la inoculación (ddi) (Figura 2A). A 5 ddi se observaron lesiones necróticas y marchitez de corola en 80 y 75% de las flores V-I; y a 8 ddi, la incidencia de necrosis y abscisión floral final fue de 95 y 92% (V-I) (Figura 2B). *Alternaria* sp. formó micelio de color café oscuro con esporulación escasa en pétalos, estambres, ovario y sépalos en 45 y 42% de las flores experimentales de V-I a 5 ddi. A 8 ddi causó marchitez y necrosis floral con abundante desarrollo micelial (Figura 2C) y a 12 ddi la incidencia de pudrición y abscisión floral fue de 85 y 76% (V-I). *Pestalotiopsis* sp. produjo acérvulos y necrosó la corola de 55 y 38% de las flores de V-I a 5 ddi; y a 8 ddi, el 70 y 65% de las flores de V-I presentaron necrosis y caída de pétalos con pudrición de cáliz y pedúnculo (Figura 2D). En 53.3% y 33.3% de las flores testigo de verano e invierno hubo formación de acérvulos de *Pestalotiopsis* a ocho ddi (Figura 2E), lo cual evidenció una infección preexistente del hongo debido a su hábito endófito en los árboles de mamey (Gómez, 2008). Los síntomas reproducidos en flores inoculadas fueron similares a los que se presentaron por infección natural en Alpoyecá, Gro.

No se encontraron reportes de *Penicillium* sp., *Alternaria* sp. o *Pestalotiopsis* sp. como patógenos de flores de mamey. En estudios previos, la antracnosis y necrosis de flores de mamey se asociaron con *C. gloeosporioides* en Florida, EE. UU. (Balerdi *et al.*, 2005; Mossler y Nesheim, 2002); el hongo también se asoció a la caída prematura y manchado de fruta y a la momificación de frutos tiernos (Morton, 1987; Farr *et al.*, 1989; Azurdía, 2006), sin embargo, la enfermedad no se consideró de importancia económica.

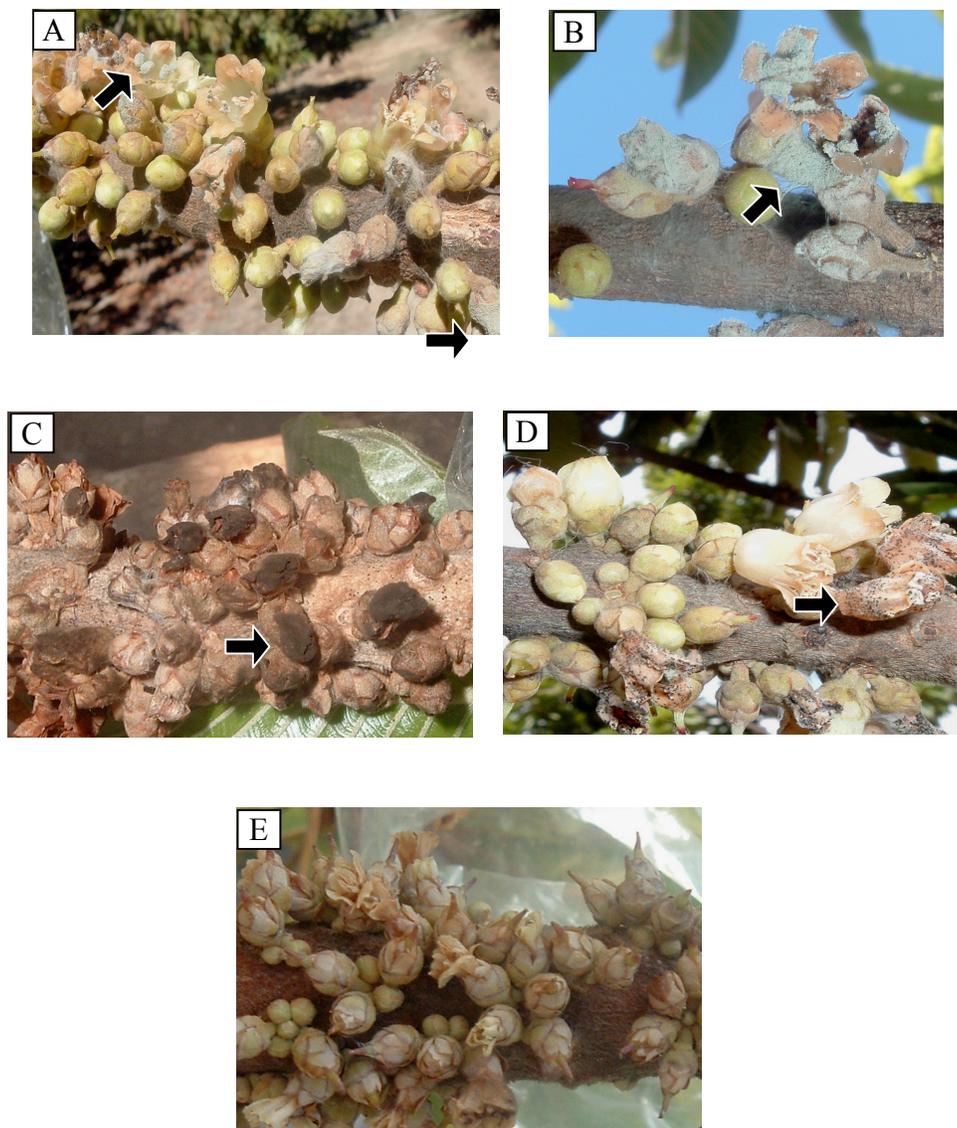


Figura 2. Verificación patogénica de hongos aislados de flores enfermas de mamey (*P. sapota*). A) Crecimiento micelial de *Penicillium* sp. en pétalos, estambres, ovario y sépalos de flores experimentales a 3 días de la inoculación (ddi). B) Necrosis y abscisión floral por *Penicillium* sp. a 8 ddi. C) Marchitez y necrosis floral inducido por *Alternaria* sp. a 8 ddi. D) Presencia de acérvulos (visibles como puntos negros) y necrosis en flores inoculadas con *Pestalotiopsis* sp. a 8 ddi. E) Flores testigo asperjadas con agua estéril. Alpoyecá, Guerrero, México, 2005.

Por otro lado, se ha documentado que *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. tenuissimum* causan antracnosis y tizón en inflorescencias de mango (*Mangifera indica* L.) (Álvarez-García y López-García, 1971; Arauz, 2000; Guillen, 2002). En cítricos (*Citrus* spp.) *C. acutatum* causa tizón floral (Timmer y Brown, 2000; Wharton y Diéguez-Uribeondo, 2004) y en papayo (*Carica papaya* L.) *C. gloeosporioides* provoca necrosis y abscisión floral (De Los Santos *et al.*, 2000).

### **Identificación morfológica y molecular**

***Penicillium olsonii* Bainier y Sartory.** A 10 d de incubación la colonia exhibió color grisáceo con micelio aéreo, algodónoso y septado en medio de cultivo con extracto de malta (MEA), conidióforos largos y rectos, penicilo terverticilado y compacto con métulas de 9-12 x 3.3-5.5  $\mu\text{m}$ . Fiálides en forma de botella con cuello corto de 9.3-9.8 x 2.3-2.6  $\mu\text{m}$ . Conidios (amerosporas) elipsoidales con pared rugosa de 3.4-4 x 2.4-2.9  $\mu\text{m}$ . Las características morfométricas de este aislamiento confirmaron las reportadas por Raper y Thom (1949) y Samson *et al.* (2004) (Figuras 3A-3H).

***Pestalotiopsis paeoniicola* (Tsukamoto y Hino) J. G. Wei y T. Xu.** La colonia en PDA a 15 d de incubación exhibió color blanco con micelio aéreo, algodónoso y septado. Esporodocios negros y esparcidos en el medio de cultivo. Conidios (fragmosporas) de cinco células, fusiformes o alantoides (rectos o ligeramente curvos) de 23.09-26.73 x 6.08-7.29  $\mu\text{m}$  (promedio 25 x 6.91  $\mu\text{m}$ ); tres células intermedias de color café de 14.58 x 17.25  $\mu\text{m}$  (promedio 16.25  $\mu\text{m}$ ); célula apical hialina de forma cónica con 2 ó 3 apéndices hialinos, sin ramificaciones de 18.22 a 27.95  $\mu\text{m}$  (promedio 22.20  $\mu\text{m}$ ). Célula basal hialina de forma cónica de 4.57 a 8.69  $\mu\text{m}$  (promedio 6.88  $\mu\text{m}$ ) con un solo apéndice central hialino y sin ramificaciones. Relación largo/ancho de los

conidios 3.62:1. Las características de este aislamiento verificaron las reportadas por Guba (1961) y Wei *et al.* (2005) (Figuras 4A-4D).

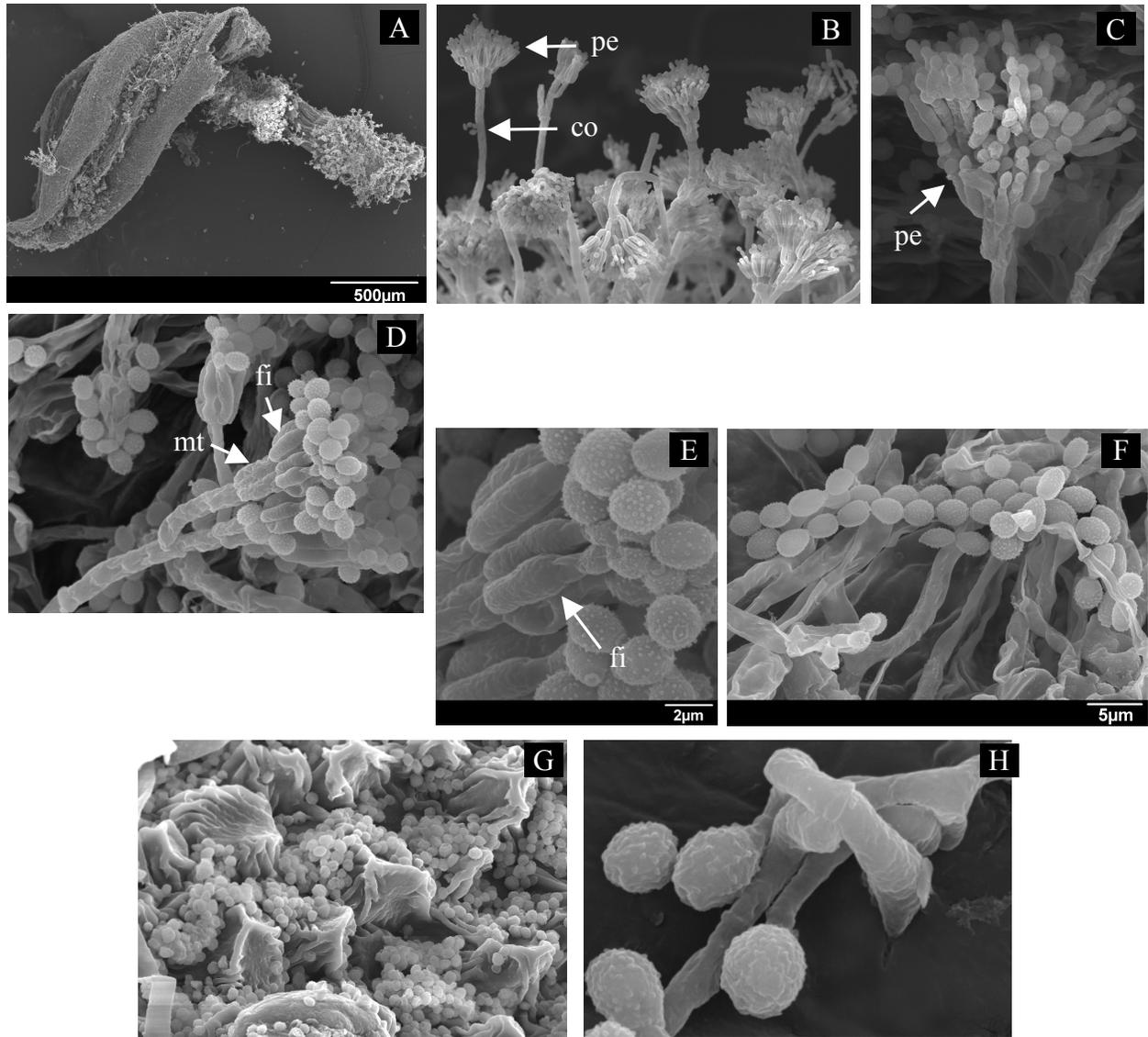


Figura 3. *Penicillium olsonii*, agente causal de la necrosis floral del mamey (*Pouteria sapota*). A) Micelio y esporas del hongo en el estambre de una flor de mamey 8 d después de la inoculación. B y C) Conidióforos (co) largos y rectos con penicilo (pe) terverticilado. D) Penicilo mostrando las métulas (mt) y fiálides (fi). E) Fiálides rectas con forma de botella (fi). F) Conidios en cadena, elipsoidales y de pared rugosa. G) Esporas sobre el tejido de una antera. H) Germinación de esporas sobre una antera. Fotomicrografías en microscopio de barrido JSM-6390/LGS. 2007.

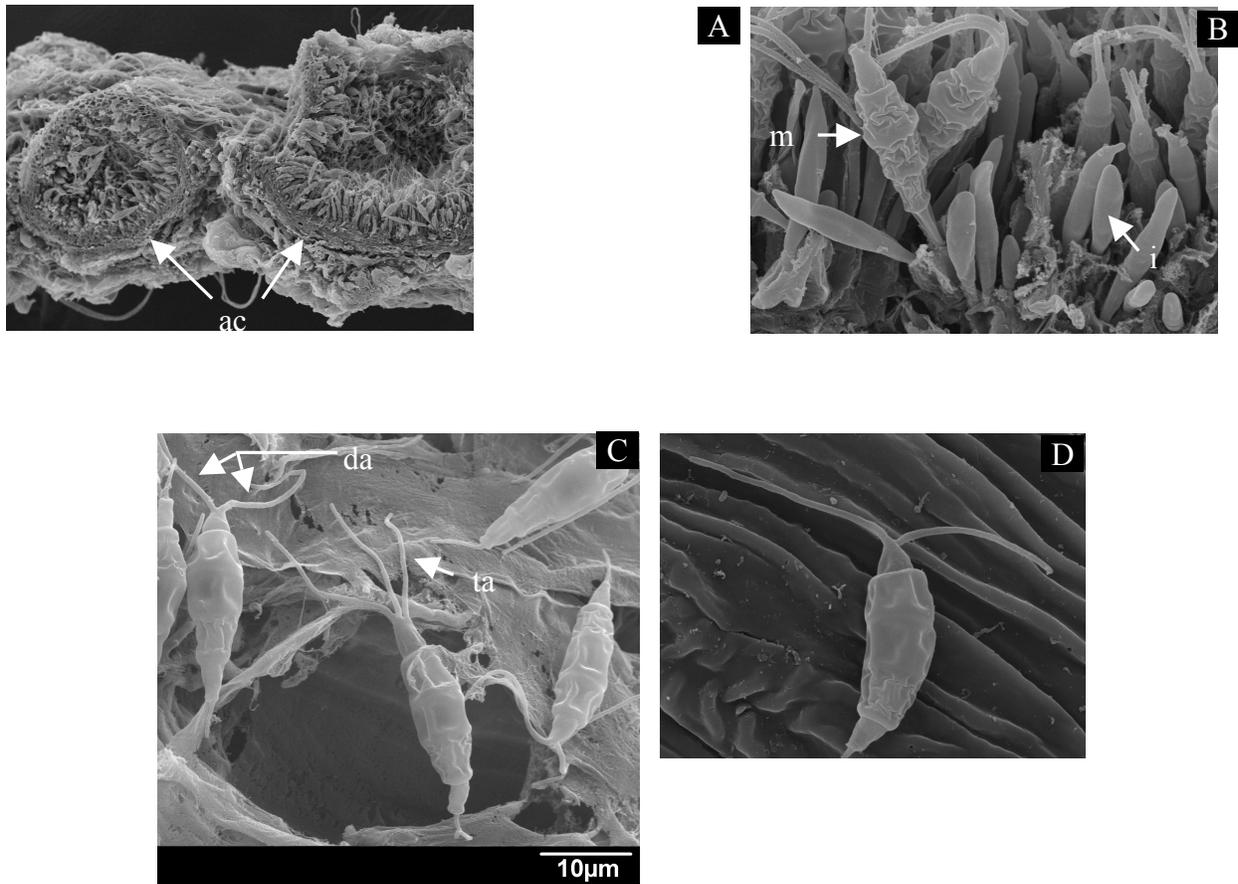


Figura 4. *Pestalotiopsis paeoniicola*, endófito del mamey (*Pouteria sapota*) asociado a la necrosis floral. A) Acérvulos subepidérmicos (ac) del hongo sobre un pétalo a 8 d de su inoculación. B) Esporas maduras (m) e inmaduras (i) dentro de un acérvulo. C) Esporas (fragmosporas) fusiformes o alantoides con tres (ta) y dos (da) apéndices apicales y un apéndice basal (ab). D) Espora con dos apéndices apicales y un apéndice basal. Fotomicrografías en microscopio de barrido JSM-6390/LGS. 2007.

***Alternaria alternata* (Fr.) Keissler.** La colonia en PDA a 15 d de incubación exhibió color café oscuro con micelio aéreo y septado. Conidióforos erectos e individuales de 28.9-49 x 3-3.3 mm. Conidios (dictiosporas) obpiriformes o elipsoides de 22.3-35.7 x 7.3-12.6 µm con longitud apical de 6.6-8.9 µm; 3-5 transeptos, 1-2 longiseptos, catenulados (6 a 10 conidios por cadena). Las características de este aislamiento validan las reportadas por Rotem (1994).

Las secuencias experimentales se homologaron en 98, 95 y 97% con los aislamientos de *Penicillium olsonii* (DQ123662), *Pestalotiopsis paeoniicola* (AY687310) y *Alternaria alternata* (AY714479) depositados en el banco de genes (NCBI, 2008).

## **Epidemiología**

El progreso temporal de epidemias de necrosis floral inició en botones florales a finales de mayo cuando la temperatura media mensual fue de 25-27°C y HR de 55-60%. Las primeras flores necróticas ( $Y_o$ ) en HE1 se presentaron a mediados de junio, 20 d antes que en HE2 (principios de julio). La incidencia en HE1 tuvo un desarrollo rápido ya que en solo quince días incrementó de 0.0% a valores superiores a 50% (Figura 5A), periodo en que la temperatura y HR diurna en Alpoyecá, Gro, oscilaron entre 22-25°C y 60-90%. De manera similar, la incidencia en HE2, en términos generales, alcanzó 30% en la primera quincena de evaluación (Figura 5B) cuando la temperatura y HR media del periodo en la localidad en estudio oscilaron entre 20-22°C y 70-90%. La incidencia final ( $Y_f$ ) se alcanzó a principios y a mediados de agosto, en HE1 todos los árboles experimentales alcanzaron 100% de incidencia (Figura 5A), mientras que en HE2 sólo el 60% de los árboles tuvo una  $Y_f > 92\%$  (Figura 5B, Cuadro 2). La diferencia en la capacidad inductiva entre HE1 y HE2 fueron más notorios al comparar el abcpe, ya que mientras en HE1, la cantidad de enfermedad fluctuó de 3278.25 a 4513.5, en HE2 fluctuó entre 2225.46 y 2694.36 en el 80% de los árboles (Cuadro 2).

El comportamiento distinto de las epidemias en ambos huertos puede explicarse por las condiciones contrastantes de manejo agronómico del cultivo. En HE1 los árboles experimentales

tuvieron aproximadamente 25 m de altura y no recibieron podas de saneamiento por lo que el contacto entre ramas de árboles vecinos impidió la circulación adecuada del aire y probablemente generó un microclima donde la mayor HR favoreció el rápido crecimiento de los hongos. Las ramas reproductivas permanecieron mojadas mayor tiempo en verano en HE1; además tuvieron agua libre (condensada) por un tiempo más prolongado respecto a HE2 (Figura 5). En contraste, en los árboles en HE2 de aproximadamente 10 m de altura no hubo contacto entre ramas de árboles vecinos y posiblemente la mejor ventilación retrasó el crecimiento de los hongos (Figura 6).

### **Análisis de epidemias**

En HE1 el 60% de las epidemias se ajustaron al modelo Gompertz ( $R^2 = 0.93, 0.92$  y  $0.78$ ), 20% al monomolecular ( $R^2 = 0.99$ ) y el 20% restante al logístico ( $R^2 = 0.70$ ) (Cuadro 1). En HE2 el 40% de las epidemias fueron descritas por el modelo de Gompertz ( $R^2 = 0.98$  y  $0.87$ ) igual porcentaje se ajustó al logístico ( $R^2 = 0.94$  y  $0.96$ ), mientras que el 20% fue descrito por el monomolecular ( $R^2 = 0.75$ ) (Cuadro 1, Figura 7). Para comparar las epidemias los valores de la tasa de incremento de los modelos monomolecular y logístico se homologaron a la tasa de incremento del modelo Gompertz. En el Cuadro 1 se muestra el parámetro  $\rho$  y  $k_G$  para cada epidemia. De manera general, la intensidad de enfermedad (abcpe) fue mayor en los árboles experimentales de HE1, en 60% de los árboles el abcpe fue  $> 4000$  y en 40% fluctuó entre 3278.25 y 3922.59, mientras que en HE2 el abcpe fluctuó entre 2225.46 y 2694.36 en el 80% de los árboles y sólo el 20% presentó un ABCPE de 3617.77 (Cuadro 2).

A



Figura 5. Huerto experimental (HE1) con manejo agronómico deficiente. A) Árboles de mamey (*P. sapota*) de aproximadamente 25 m de altura, sin poda y con entrecruzamiento de copas. B) Rama reproductiva con agua libre y abscisión floral. C) Exceso de humedad en las estructuras florales en HE1. Alpoyeca, Guerrero, México. 2005.



Figura 6. Huerto experimental (HE2). Árboles de aproximadamente 10 m de altura sin entrecruzamiento de copas y adecuada ventilación que posiblemente retrasó el crecimiento de los hongos causales de la necrosis floral. Alpoyecá, Guerrero, México. 2005.

### Estudios de correlación

En general, la incidencia de necrosis floral se relacionó con la humedad relativa que osciló entre 65 y 75% ( $r=0.80$ ) y una velocidad del viento  $\leq 5 \text{ km h}^{-1}$  ( $r=0.75$ ). La densidad conidial de *Alternaria* spp. y *Pestalotiopsis* spp. en el aire se asoció con humedad relativa de 70-90% ( $r_{\text{Alternaria}}=0.75$  y  $r_{\text{Pestalotiopsis}}=0.80$ ) y velocidad del viento  $\leq 5 \text{ km h}^{-1}$  para *Alternaria* sp. ( $r_{\text{Alternaria}}=0.70$ ). La temperatura (20-25°C) favoreció a *Pestalotiopsis* sp. ( $r_{\text{Pestalotiopsis}}=0.65$ ), pero tuvo poco impacto sobre *Alternaria* sp. ( $r_{\text{Alternaria}}=0.50$ ).

Los factores ambientales considerados fueron útiles para el estudio epidémico de necrosis floral del mamey y permite conocer los intervalos que favorecen su desarrollo. Por ejemplo, con un enfoque similar, Mora (2000) estudió la epidemiología de la “escoba de bruja” (*Fusarium oxysporum* y *F. subglutinans*) del mango en Michoacán y documentó que la enfermedad se correlacionó con el número de esporas de *Fusarium* spp. y el inóculo en el aire con temperaturas frescas (20 a 26.9°C), humedad relativa mayor a 90%, velocidad del viento  $\leq 10$  km h<sup>-1</sup> y dirección norte del viento. Conocer los factores ambientales que favorecen la esporulación y liberación de esporas ayuda a tomar medidas profilácticas oportunas (aspersión de fungicidas, podas de ventilación, etc.) para proteger temporalmente las etapas más susceptibles de las plantas al reducir la liberación de esporas (Gottwald *et al.*, 1997) y limitar el número de infecciones potenciales.

Se ha documentado que la humedad relativa, temperatura, luz roja e infrarroja, humedad de la hoja, velocidad del viento, vibración de la hoja y periodos de lluvia son los principales factores que intervienen en la liberación de esporas de varias especies de hongos (Gottwald *et al.*, 1997; Timmer *et al.*, 1998). Los estudios sobre *P. olsonii* son escasos, el hongo se ha encontrado en plantas y suelos tropicales, se ha aislado de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero, sobre basidiocarpos, bananas y otros sustratos (Frisvad *et al.*, 2000). No se encontraron estudios para conocer la epidemiología de esta especie de hongo o documentar sus factores de patogenicidad.

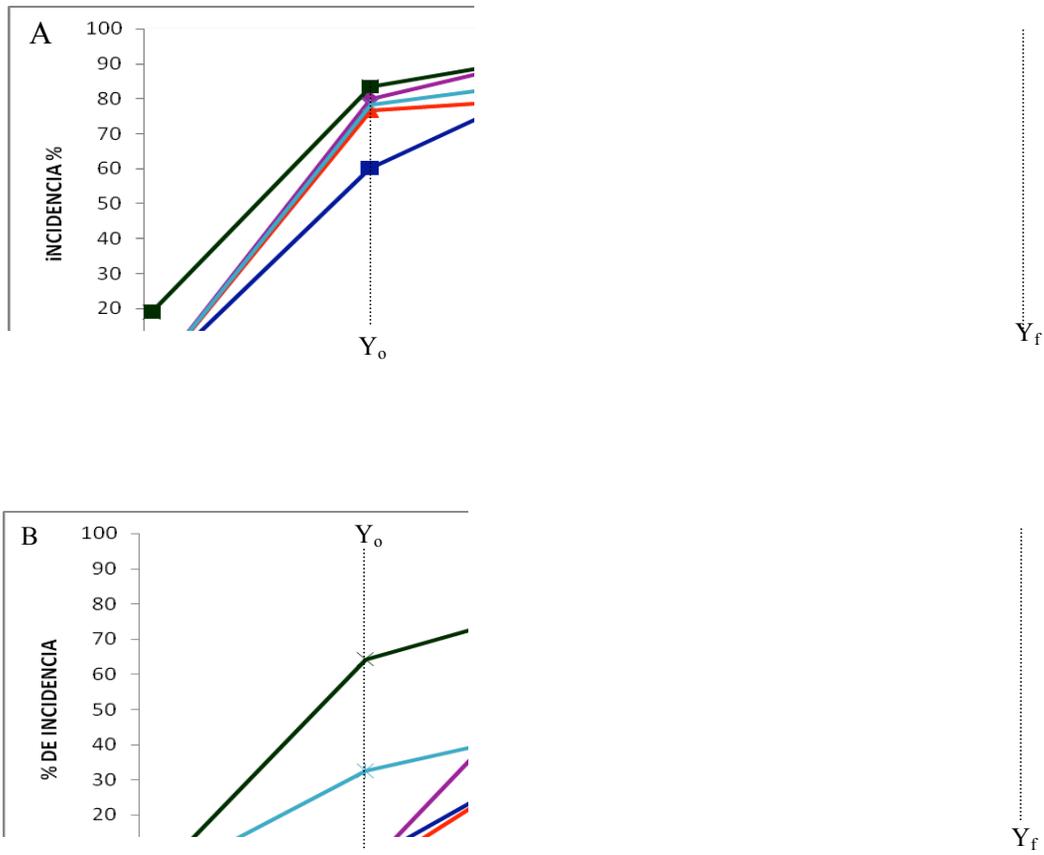


Figura 7. Curvas del progreso temporal de epidemias de necrosis floral (*Penicillium olsonii*, *Alternaria alternata* y *Pestalotiopsis paeoniicola*) en 10 árboles de mamey (*Pouteria sapota*) en dos huertos experimentales. (A) Huerto experimental 1 (HE1). (B) Huerto experimental 2 (HE2). En cada huerto se evaluaron las epidemias de cinco árboles.  $Y_0$  = Inicio de enfermedad,  $Y_f$  = Incidencia final de la enfermedad. Ciclo productivo 2005-2006. Alpoyeca, Guerrero, México.

Cuadro 1. Modelos epidemiológicos empleados para caracterizar el progreso temporal de incidencia de necrosis floral (*Penicillium olsonii*, *Alternaria alternata* y *Pestalotiopsis paeoniicola*) en 10 árboles de mamey (*Pouteria sapota*) en dos huertos experimentales (HE1 y HE2). Ciclo productivo 2005. Alpoyeca, Guerrero, México.

Huertos	R <sup>2</sup>	Modelo	Ecuaciones	rho	k <sub>G</sub>
<b>HE1</b>					
Árbol 1	0.99	Monomolecular	$\text{Ln}(1/(1-y)) = 0.091 t + 0.140$	0.046	0.182
Árbol 2	0.93	Gompertz	$-\text{Ln}(-\text{ln}(y)) = 0.111 t - 1.496$		
Árbol 3	0.92	Gompertz	$-\text{Ln}(-\text{ln}(y)) = 0.109 t - 1.236$		
Árbol 4	0.70	Logístico	$\text{Ln}(y/(1-y)) = 0.121 t - 3.650$	0.020	0.080
Árbol 5	0.78	Gompertz	$-\text{Ln}(-\text{ln}(y)) = 0.099 t - 1.126$		
<b>HE2</b>					
Árbol 1	0.94	Logístico	$\text{Ln}(y/(1-y)) = 0.178 t - 5.247$	0.030	0.118
Árbol 2	0.96	Logístico	$\text{Ln}(y/(1-y)) = 0.173 t - 5.322$	0.029	0.115
Árbol 3	0.98	Gompertz	$-\text{Ln}(-\text{ln}(y)) = 0.077 t - 1.923$		
Árbol 4	0.75	Monomolecular	$\text{Ln}(1/(1-y)) = 0.036 t + 0.252$	0.018	0.072
Árbol 5	0.87	Gompertz	$-\text{Ln}(-\text{ln}(y)) = 0.048 t - 1.303$		

Cuadro 2. Área bajo la curva del progreso de necrosis floral (*Penicillium olsonii*, *Alternaria alternata* y *Pestalotiopsis paeoniicola*) (abcpe) e incidencia final de la enfermedad (Y<sub>f</sub>) en 10 árboles de mamey (*Pouteria sapota*) de dos huertos experimentales (HE1 y HE2). Ciclo productivo 2005. Alpoyeca, Guerrero, México.

Parámetro	Árboles experimentales en huerto 1 (HE1)					Árboles experimentales en huerto 2 (HE2)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
abcpe	4513.5	3922.59	4212.85	3278.25	4076.43	2694.36	2225.46	2395.90	3617.77	2263.6
Y <sub>f</sub> (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	91.67	100.00	81.18

La producción de esporas de *Alternaria* spp. se genera principalmente en los tejidos enfermos de sus hospedantes y su liberación y dispersión son propiciados por el viento (Rotem, 1994), incremento o decremento de la humedad relativa, breves periodos de lluvia o por la duración e intensidad del rocío (Gottwald *et al.*, 1997). Timmer *et al.* (1998) encontraron

correlación entre la duración de la humedad de la hoja y el número de conidios de *Alternaria* sp. en campo. *A. alternata* es capaz de penetrar por heridas en hojas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y papa (*Solanum tuberosum* L.) y causar lesión (Rotem, 1994). *Alternaria* spp. se considera ambientalmente flexible porque puede producir y liberar conidios en ambientes con alta precipitación o en regiones áridas (Rotem, 1994). En el huerto de mamey monitoreados con una trampa volumétrica en Alpoyeca, Gro. se capturaron esporas de *Alternaria* spp. y *Pestalotiopsis* spp. del aire la mayor parte del año, aunque la mayor esporulación se registró de junio a noviembre (Figura 8), durante toda la floración de verano, por lo que esta etapa fenológica (floración) representa un sustrato altamente favorable para incrementar las poblaciones del hongo (presión de infección), y a la vez, identifica el periodo para ejercer un control químico oportuno y racional.

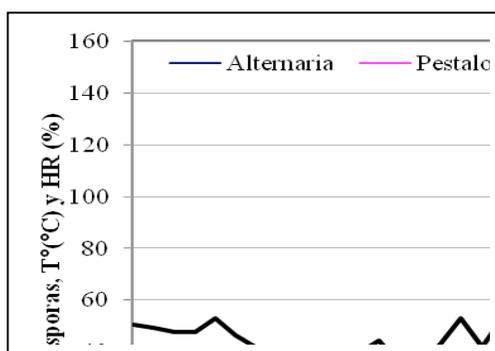


Figura 8. Fluctuación conidial/semana de *Alternaria* spp. y *Pestalotiopsis* spp., temperatura (°C) y humedad relativa (%) registrada en un huerto de mamey (*Pouteria sapota*) de enero a diciembre de 2007. Alpoyeca, Guerrero, México.

## CONCLUSIONES

- *Penicillium olsonii* y *Alternaria alternata* se confirman como agentes causales de la necrosis floral del mamey (*P. sapota*) en México. La enfermedad correlacionó principalmente con la humedad relativa que fluctuó de 65 a 75% ( $r = 0.80$ ) y con una velocidad del viento  $\leq 5 \text{ km h}^{-1}$  ( $r=0.75$ ). La esporulación se asoció con humedad relativa de 70 a 90% ( $r_{\text{Alternaria}}=0.75$  y  $r_{\text{Pestalotiopsis}}=0.80$ ).
- *P. olsonii* y *A. alternata* produjeron estructuras fungosas en pétalos, estambres, ovario, sépalos y pedúnculo floral; posteriormente causaron necrosis y abscisión de flores. La enfermedad inició en mayo y finalizó en agosto. El 50% de las epidemias se ajustaron al modelo Gompertz ( $R^2 = 0.98, 0.93, 0.92, 0.87, 0.78$ ), 30% al modelo logístico ( $R^2 = 0.96, 0.94, 0.70$ ) y 20% al modelo monomolecular ( $R^2 = 0.99, 0.75$ ). *P. paeoniicola* causó necrosis y abscisión de flores, aunque existen evidencias que el hongo tiene hábito endofítico.

## LITERATURA CITADA

- Ahrens, U., and E. Seemüller. 1992. Detection de DNA of plant pathogenic mycoplasma-like organisms by polymerase chain reaction that amplifies a sequence of the 16S rRNA gene. *Phytopathology* 82: 828-832.
- Álvarez-García, L. A., and J. López-García. 1971. Gummosis, die-back and fruit rot disease of mango (*Mangifera indica* L.) caused by *Physalospora rhodina* (B. & C.) Cke. in Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 55:435-450.

- Arauz, L. F. 2000. Mango anthracnose: Economic impact and current options for integrated management. *Plant Disease* 84:600-611.
- Azurdia, C. 2006. Tres Especies de Zapote en América Tropical. Southampton Centre for Underutilised Crops, Universidad de Southampton, Southampton, UK. 216 p.
- Balerdi, C. F., J. H. Crane, and I. Maguire. 2005. Mamey sapote growing in the Florida Home Landscape. Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida U.S.A. Document FC-30. <http://edis.ifas.ufl.edu> (fecha de consulta: Julio 20, 2008).
- Barnett, L. H., and B. B. Hunter. 2006. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Fourth Edition. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 218 p.
- Campbell, C. L., and V. L. Madden 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA. 532 p.
- Cazorla, F. M., J. A. Torés, L. Olalla, A. Pérez-García, J. M. Farré, and A. de Vicente. 1998. Bacterial apical necrosis of mango in southern Spain: A disease caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. *Phytopathology* 88:614-620.
- Dashwood, E. P., and R. A. Fox. 1988. Infection of flowers and fruits of red raspberry by *Botrytis cinerea*. *Plant Pathology* 37:423-430.
- De Los Santos, de la R. F., E. N. Becerra L., R. Mosqueda V., A. Vásquez H. y A. B. Vargas G. 2000. Manual de Producción de Papaya en el Estado de Veracruz. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Folleto Técnico Núm. 17. Veracruz, México. 87 p.
- Farr, D. F., G. F. Bill, G. P. Chamuris, and A. Y. Rossman. 1989. Fungi on Plants and Plant Products in the United States. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 1252 p.
- Fourie, J. F., and G. Holz. 1994. Infection of plum and nectarine flowers by *Botrytis cinerea*. *Plant Pathology* 43:309-315.

- Frisvad, J. C., O. Filtenborg, F. Lund, and R. A. Samson. 2000. The homogeneous species and series in subgenus *Penicillium* are related to mammal nutrition and excretion. *In: Integration of Modern Taxonomic Methods for Penicillium and Aspergillus Classification*. Samson R. A. and J. I. Pitt (eds.). Harwood Academic Publishers. Amsterdam, The Netherlands. pp: 265-283.
- Gadoury, D. M., and W. E. MacHardy. 1983. A 7-day recording volumetric spore trap. *Phytopathology* 73: 1526-1531.
- Gómez J. R. 2008. Manejo postcosecha y hongos asociados a la pudrición del fruto de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) en Guerrero, México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. 94 p.
- Gottwald, T. R., T. M. Trocine, and L. W. Timmer. 1997. A computer-controlled environmental chamber for the study of aerial fungal spore release. *Phytopathology* 87:1078-1084.
- Guba, E. F. 1961. Monograph of Monochaetia and Pestalotia. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA. 342 p.
- Guillén D., D. Téliz, C. Sieve, A. Mora, J. Villanueva, E. Cárdenas, and D. Nieto-Angel. 2002. A new report of *Cladosporium* spp. associated with blight of mango (*Mangifera indica* L.) inflorescences in the pacific coast of México. VII Internacional Mango Symposium. Recife, Brazil. p. 257.
- Haldane, J. B. S. 1956. The estimation and significance of the logarithm of a ratio of frequencies. *Annals of Human Genetics* 20: 309-314.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2006. Anuario Estadístico de Guerrero. México. 383 p.
- Lyman, M. R., K. J. Curry, B. J. Smith, and S. V. Diehl. 2004. Effect of *Cercospora rubi* on blackberry floral bud development. *Plant Disease* 88:195-204.

- Mora, A. A. 2000. Patogénesis y epidemiología de la "escoba de bruja" (*Fusarium subglutinans* (wollemweb & reinking) y *F. oxysporum* (schlecht)) del mango (*Mangifera indica* L.) en Michoacán, México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 107 p.
- Morton, J. 1987. Sapote. *In*: Fruits of Warm Climates. Morton, J. F (ed.). Miami, FL. pp: 336-346.
- Mossler, M. A., and O. N. Nesheim. 2002. Florida crop/pest management profile: mamey sapote and sapodilla. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. University of Florida, Gainesville, Fl. U.S.A. En línea: <http://edis.ifas.ufl.edu> (Consultado en septiembre de 2008).
- NCBI (National Center for Biotechnology Information). 2008. Disponible en: [www.ncbi.nlm.nih.gov/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/) (Consultado en octubre de 2008).
- Raper K. B. and Thom C. 1949. A Manual of the Penicillia. The Williams & Wilkins Company. Baltimore, MD. U. S. A. 875 p.
- Rotem, J. 1994. The Genus *Alternaria*. Biology, Epidemiology, and Pathogenicity. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 326 p.
- Samson, R. A., E. S. Hoekstra, and J. C. Frisvad. 2004. Introduction to Food- and Airborne Fungi, 7th Edition. ASM Press. Utrecht, Netherlands. 389 p.
- SAS Institute. 1999, SAS version 8.0. User's guide: Statistics. Ed. SAS Institute Incorporation, Cary, NC, USA. 1028 p.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2006. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de

Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado en marzo de 2008).

Timmer, L. W., and G. E. Brown. 2000. Biology and control of anthracnose diseases of citrus. *In: Colletotrichum: Host Specificity, Pathology, and Host-Pathogen Interaction*. Prusky, D., S. Freeman, and M. B. Dickman (eds.). The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. pp: 300-316.

Timmer, L. W., Z. Solel, T. R. Gottwald, A. M. Ibañez, and S. E. Zitko. 1998. Environmental factors affecting production, release, and field populations of conidia of *Alternaria alternata*, the cause of brown spot of citrus. *Phytopathology* 88:1218-1223.

Vásquez L., A., A. Mora A., D. Téliz O., y E. Cárdenas S. 2006. Etiología de la necrosis floral del mamey (*Pouteria sapota*) en Guerrero, México. *In: Memorias del VIII/XXXIII Congreso Internacional/Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología*, A. C. Manzanillo, Colima, México. Resumen C52.

Wei, J. G., T. Xu., L. D. Guo, and X. H. Pan. 2005. Endophytic *Pestalotiopsis* species from Southern China. *Mycosystema* 24:481-493.

Wharton, P. S., and J. Diéguez-Uribeondo. 2004. The biology of *Colletotrichum acutatum*. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 61:3-22.

White, T. J., T. Bruns, S. Lee, and J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *In: PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Innis, M. A., D. A. Gelfand, J. J. Sninsky, and T. J. White (eds.). Academic Press, San Diego, CA, U.S.A. pp: 315-322.

**CAPÍTULO III. MAPAS EDAFOLÓGICOS Y EFECTO NUTRIMENTAL E HÍDRICO  
EN ÁRBOLES DE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) EN  
GUERRERO, MÉXICO**

**RESUMEN**

Se evaluó el efecto de dos técnicas de riego (tradicional, RT, y controlado, RC a 20 mbar) y cuatro dosis de fertilizantes (T1=1-1-1, T2=1.5-1.5-1.5, T3=2-2-2 y T0 (testigo) = 0-0-0 N-P-K) en el crecimiento de ramas, número total de hojas y con necrosis marginal; y número y peso de fruto cosechados en el ciclo productivo 2005-2006 de un huerto de mamey (*Pouteria sapota*) en Alpoyeca, Guerrero, México. En 21 muestras de 1.0 kg de suelo se determinó nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, sodio y magnesio intercambiables, hierro, cobre, manganeso y zinc, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y textura. Por cada variable se elaboraron cartas edafológicas digitales con los programas ArcMap<sup>TM</sup> y ArcWiev 8.1<sup>TM</sup> del sistema de información geográfica construidos mediante interpolación de puntos de muestreo. De acuerdo con la Norma Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, el suelo del área de estudio tuvo buena fertilidad general, aunque no específica para el cultivo del mamey. Las diferencias estadísticas en longitud de ramas, número total de hojas y con necrosis marginal no fueron consistentes en las diferentes fechas de evaluación para técnicas de riego, dosis de fertilización e interacciones. El número y peso de frutos fue significativamente mayor en los árboles con riego controlado (123.7 frutos y 69.3 kg) respecto al riego tradicional (81.3 frutos y 47.0 kg). El número y peso de frutos fueron significativamente mayores sólo en las interacciones RCxT1, RCxT2 y RCxT3.

**Palabras clave:** Zapote-mamey, necrosis foliar marginal, mapas edafológicos.

**CHAPTER III. SOIL MAPS AND EFFECT OF NUTRIENT AND IRRIGATION ON  
MAMEY TREES (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) IN GUERRERO,  
MEXICO**

**ABSTRACT**

The effect of two irrigation systems (traditional, RT, and 20-mbar controlled) and four fertilization rates (T1=1-1-1, T2=1.5-1.5-1.5, T3=2-2-2 and T0 (control) = 0-0-0 N-P-K) was evaluated on mamey (*Pouteria sapota*) in Alpoyecá, Guerrero, Mexico, during 2005-2006. Evaluated variables were the followings: branch growth, number of leaves, leaves showing necrosis, fruit number, and fruit weigh. Total nitrogen, phosphorous, potassium, calcium, sodium, exchangeable magnesium, iron, copper, manganese, zinc, pH, electric conductivity, organic matter and soil texture was evaluated from 21 samples of 1.0 kg each taken from the orchard. An interpolative map for each variable was created using ArcMap<sup>TM</sup> and ArcWiev 8.1<sup>TM</sup>. Even though no fertility specifications were found for mamey trees, according to Norma Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 the analyzed soil has good fertility. Significant statistical differences were found on branch growth and number of leaves. Number of leaves showing necrosis was very variable, showing differences in some collection dates under different irrigation systems, fertilization rates and interactions. Fruit number and fruit weigh was significantly different in trees with 20-mbar controlled irrigation (123.7 fruits and 69.3 kg) compared to traditional irrigation (81.3 fruits and 47.0 kg). These variables were significantly different than control in RCxT1, RCxT2 and RcxT3 interactions.

**Key words:** Zapote-mamey, leave necrosis, soil maps.

## INTRODUCCIÓN

La producción de mamey (*Pouteria sapota*) en la Cañada de Huamuxtitlán, en la montaña baja de Guerrero, México está limitada principalmente por el deficiente manejo agronómico del cultivo; los árboles provienen de semilla (reproducción sexual) lo que significa alta heterogeneidad entre plantas en altura, porte, rendimiento, época de cosecha, características físicas y químicas de los frutos, resistencia a plagas y enfermedades, etc.; además, en los huertos de la región no existen técnicas de manejo fitosanitario, programas eficientes de manejo del suelo-agua y frutícolas (variedades, podas, métodos de cosecha y empaque, etc.). Existe necesidad de generar y aplicar tecnología de producción apoyadas en bases biológicas y técnicas para incrementar sustantivamente la productividad de los árboles.

En los últimos 10 años se han realizado estudios relacionados con el mapeo digital de suelos basados en inferencias respecto a su información espacial (Carré *et al.*, 2007). Existen propuestas metodológicas para la cartografía automatizada, pero la mayoría se basa en los factores de formación del suelo. La técnica de Zhu *et al.* (2001) y Qi y Zhu (2003) llamada SoLIM combina el conocimiento de los especialistas de suelos con herramientas de los sistemas de información geográfica, como la teoría de conjuntos difusos, redes neuronales y árboles de decisión; la técnica se fundamenta en la ecuación de formación del suelo y en el modelo paisajista de Hudson (1992). Otra técnica es la SCORPAN de McBratney *et al.* (2003), basada en siete factores de predicción (atributos medidos del suelo, clima, organismos, topografía, material parental, edad, espacio y posición geográfica) y extrapolación de datos de entrenamientos y algoritmos supervisados o no supervisados.

Con el modelo de McBratney *et al.* (2003) pueden inferirse variables categóricas de clases de suelos ( $S_c$ ) como tipo de drenaje, fertilidad y series de suelos, entre otros; así como atributos de suelos ( $S_a$ ): contenido de materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, que en general se refieren a variables continuas. Estas técnicas son importantes para reducir el trabajo de campo y costos, porque sólo se necesita considerar un número mínimo de muestras representativas del área de estudio (Scull *et al.*, 2003). Los mapas generados a través de estas técnicas se constituyen como marco geográfico para varias disciplinas; por ejemplo, en ordenamientos territoriales, planes de irrigación o fertilidad, etc. (Mueller, 2007).

En relación con la cartografía de la fertilidad, existen métodos o algoritmos para interpolación de variables como son el inverso de la distancia (IDW, por sus siglas en inglés), “splines”, “Kriging”, “Co- Kriging”, “cubic splines” y ecuaciones lineales (Triantafilis *et al.*, 2001). De acuerdo con trabajos previos, IDW es el mejor algoritmo para inferir en propiedades como pH, CE, P, K, Ca, Mg, materia orgánica, contenido de arena, limo y arcilla (Mueller *et al.*, 2004; Robinson y Metternicht, 2006). La construcción de una carta edáfica requiere conocer la ubicación (georreferencia) del sitio muestreado, y cuantitativamente, cada propiedad del suelo. Una carta edáfica es una herramienta útil para el diseño de programas de fertilización por su fácil interpretación, rápida construcción, bajo costo y por requerir poco personal.

Para que cualquier agroecosistema alcance un rendimiento cercano al máximo posible es preciso atender sus necesidades nutrimentales básicas desde dos enfoques: a) la concentración mínima u óptima de un nutriente en la parte aérea, órgano o savia de la planta y b) la cantidad de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) que la planta debe contener en cada etapa fenológica. El primer enfoque se

relaciona con la cantidad de materia seca de la planta y, por tanto, depende de la etapa de desarrollo del cultivo y no del rendimiento; el segundo criterio es dependiente del rendimiento máximo posible de obtener bajo una condición dada de planta-clima-suelo (Etchevers, 1999) y requiere que ninguno de los elementos esenciales constituya un factor limitante, lo que exige conocer el rendimiento máximo posible (Galvis *et al.*, 1993). Bajo este esquema, el balance nutrimental es un enfoque útil para recomendar la fertilización de los cultivos, se basa en que la dosis de fertilización depende de la demanda del nutriente por el cultivo, el suministro del mismo por el suelo y su eficiencia de recuperación cuando es aplicado como fertilizante (Volke *et al.*, 1998). La demanda nutrimental de un cultivo aumentará progresivamente con su rendimiento y producción de biomasa (Etchevers, 1999). Rodríguez (citado por Etchevers, 1999) resume el plan de manejo nutrimental de un cultivo en un modelo simplificado:

$$\text{Dosis de} = \frac{\text{Demanda del cultivo - suministro del}}{\text{Eficiencia de recuperación del}}$$

Otros criterios para generar recomendaciones de fertilización se apoyan en la media regional, la estratificación del ambiente en unidades de suelo, clima y manejo, en sus variantes de agrosistemas y agrohabitats, el análisis químico de suelo y planta, y en las funciones generalizadas de producción (Laird, citado por Volke *et al.*, 1998). Las necesidades nutrimentales de un cultivo deben calcularse en función de los rendimientos esperados, si el agroecosistema tiene un potencial de rendimiento alto, las necesidades nutrimentales serán altas y viceversa (Etchevers, 1999). En la actualidad, además de evaluar la capacidad de abastecimiento nutrimental que poseen los suelos y los requerimientos de los cultivos, también se da seguimiento periódico al estado nutrimental de las plantas durante el ciclo de crecimiento para evitar que la nutrición sea un factor limitante para la producción, este último aspecto se atiende sobre todo en

la agricultura de altos insumos o de carácter empresarial (Westerman, Reuter y Robinson citados por Etchevers, 1999). Para verificar que el estado nutrimental de un cultivo sea el ideal en cada etapa de desarrollo, se cuentan con herramientas analíticas para medir concentración de nutrimentos en tejidos vegetales y suelo (Etchevers, 1999).

Se estiman al menos 16 elementos esenciales para el crecimiento y reproducción óptima de las plantas; nueve son macronutrientes [carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) provenientes del agua y del aire; nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) absorbidos del suelo como cationes o aniones], y siete son micronutrientes [hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl)]. Otros elementos esenciales para algunas plantas son el níquel (Ni) y cobalto (Co). En el grupo de elementos benéficos se considera al silicio (Si), sodio (Na), selenio (Se) y vanadio (V) (Huber y Thompson, 2007). Los suelos tienden a ser más deficientes en N, aunque la deficiencia de P también puede ser habitual (Salisbury y Ross, 2000). En menor frecuencia también puede haber déficit de B y Mn. En suelos alcalinos es común observar problemas de abastecimiento de algunos micronutrientes (Etchevers, 1999).

El nitrógeno es fundamental en la nutrición de plantas por formar parte de aminoácidos, proteínas, enzimas, hormonas, fitoalexinas, clorofila, ácidos nucleicos y materiales transportadores de energía como el ADP (adenosín difosfato) y ATP (adenosín trifosfato) y por participar en la formación de células nuevas, como en la formación y desarrollo de raíces para facilitar que alcancen y absorban nutrientes poco movibles, especialmente fósforo. Los órganos de las plantas crecen lentamente si hay deficiencias de N (Salisbury y Ross, 2000).

El P es un componente de biomoléculas importantes de las plantas como ARN, ADN, fosfolípidos de membranas celulares y muchos glucofosfatos que participan en la fotosíntesis, respiración, acumulación de energía y metabolismo energético de la planta (Westwood, 1982). Este elemento se encuentra en cantidades relativamente bajas especialmente en suelos ácidos (Solórzano, 1997). Se absorbe principalmente en forma de aniones monovalentes ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y divalentes ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). El pH del suelo controla la abundancia relativa de estas dos formas: el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  es favorecido por un pH menor a 7, mientras que el  $\text{HPO}_4^{2-}$  lo estará por valores superiores (Salisbury y Ross, 2000). El K es un activador de enzimas importantes en procesos de fotosíntesis, respiración y formación de almidón y proteínas. Además, participa en la apertura y cierre de estomas y coadyuva en el proceso de hidratación de los coloides del citoplasma facilitando que las plantas retengan agua y soporten sequías temporales. También participa en el transporte de productos de fotosíntesis a través del floema, a semillas, tubérculos y frutos, mejorando su tamaño, color y sabor (Azcón-Bieto y Talón, 2000; Salisbury y Ross, 2000).

La nutrición mineral también puede visualizarse como una opción de control cultural importante de enfermedades. Las plantas con nutrición mineral balanceada son más tolerantes a enfermedades por su capacidad para resistir nuevas infecciones y limitan las ya existentes; sin embargo, la deficiencia o exceso de nutrimentos esenciales puede causar enfermedades abióticas (Huber, 1989). Los nutrimentos influyen en el crecimiento y supervivencia de los patógenos dentro de los tejidos del hospedante y en la predisposición, tolerancia y resistencia de los mismos a su ataque. Las plantas enfermas que desarrollan mayor vigor con una nutrición balanceada pueden resistir más el efecto de los patógenos, lo cual se traduce en un mejor rendimiento (Velasco, 1999; Huber y Thompson, 2007).

La necrosis marginal de hojas es un problema fitosanitario severo y común en los árboles de mamey en la Cañada de Huamuxtitlán, Guerrero. La enfermedad se presenta en hojas de aproximadamente 30 días de edad en los meses de diciembre a febrero. Los primeros síntomas aparecen en el ápice o margen de la hoja y consisten de pequeñas quemaduras que avanzan hacia el centro de la hoja, por lo que ésta tiende a enrollarse. La necrosis puede cubrir aproximadamente 50% de la lámina foliar superior sin que afecte el área basal de la hoja. La enfermedad se asocio con *Pestalotiopsis paeoniicola* (Vásquez *et al.*, 2006) (Figura 1a). En un estudio preliminar, *P. paeoniicola* indujo lesiones necróticas en las áreas donde se inoculó el hongo; aunque la etiología aún no es concluyente (datos experimentales del M. C. Alfonso Vásquez López) (Figura 1b). Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que en la enfermedad también participen factores abióticos como exceso o deficiencia de elementos químicos como Na, K y Cl.

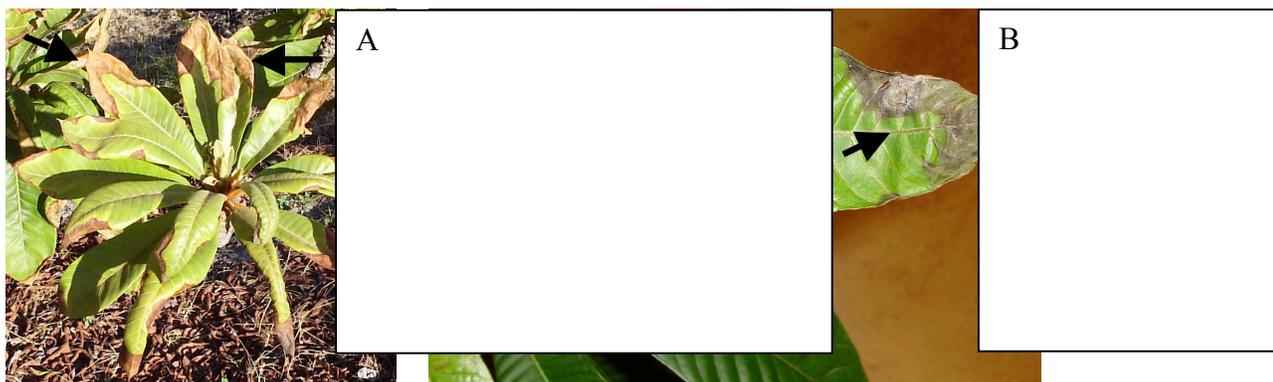


Figura 1. La necrosis marginal del mamey (*Pouteria sapota*). A) Síntomas en campo en hojas en desarrollo de un brote anual. B) Hoja con áreas necróticas inducidas por *Pestalotiopsis paeoniicola* (pp). Alpayeca, Guerrero, México. 2005.

El agua es indispensable para el desarrollo de las plantas, la precipitación pluvial no satisface completamente las necesidades hídricas de un cultivo por lo que es necesario programar riegos. El agua pasa del suelo a las raíces, tallo y hojas a través de un gradiente decreciente de potencial hídrico, finalmente se evapora de las hojas y fluye a la atmósfera en forma de vapor. La disminución en el suministro de agua, reduce el potencial hídrico de las plantas y disminuye la capacidad de transporte de compuestos orgánicos e inorgánicos (Rodríguez *et al.*, 2007). La humedad adecuada del suelo favorece el movimiento y la absorción de nutrientes del suelo por la planta.

Desde la perspectiva agrícola, las principales variables consideradas para clasificar el agua de riego son la concentración de sales y sólidos, contenido relativo de sodio, carbonatos y bicarbonatos, y otros iones específicos como cloro y boro (Castellanos *et al.*, 2000). La relación entre iones condiciona la serie de procesos que pueden ocurrir en el suelo y determina el desarrollo de las plantas en respuestas a relaciones iónicas, presión osmótica, etc. (Singer y Munns, 1999). Las plantas deben mantener un potencial hídrico más negativo que el del medio externo para asegurar la absorción de agua. En medios salinos, el potencial hídrico disminuye por la acumulación de solutos.

Las sales del suelo y agua reducen la disponibilidad del agua a las plantas afectando sus rendimientos. Contenidos relativamente altos de sodio o bajos de calcio reducen la velocidad con que el agua de riego fluye por la superficie del suelo y limita que las raíces no la reciban con suficiencia. Las sales que contribuyen a crear problemas de salinidad son solubles y transportadas fácilmente en el agua; el sodio propicia la dispersión de coloides cuando se pone en contacto con el suelo y desplaza a los cationes divalentes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , lo que tiene un efecto negativo sobre la

estructura del suelo y reduce su capacidad de conducción de agua y aire, además de que afecta la fertilidad del suelo al incrementar el pH y reducir la disponibilidad de Fe y Zn (Castellanos *et al.*, 2000). El carbonato de sodio residual ( $\text{me L}^{-1}$ ) es otro indicador del daño debido al incremento de la concentración de sodio en el suelo por ocasionar precipitación de calcio y magnesio en forma de carbonatos y bicarbonatos (Castellanos *et al.*, 2002).

Los problemas de toxicidad surgen cuando ciertos elementos (iones) del agua o del suelo son absorbidos por las plantas y transportados a las hojas donde se acumulan durante la transpiración; en concentraciones altas provocan daños y reducen rendimientos. Los daños en cultivos sensibles se manifiestan como quemaduras de las puntas y bordes de las hojas y en el área intervenal de las mismas. El sodio y el cloro son los principales iones que absorben las hojas y la toxicidad de uno o ambos puede causar problemas a cultivos sensibles como los cítricos. Otros problemas relacionados con la calidad del agua son el crecimiento vegetativo excesivo, retraso en la maduración de frutos, manchas en hojas y frutos por alto contenido de bicarbonatos, yeso o hierro.

En la Cañada de Huamuxtitlán, Guerrero, es preciso contar con mapas nutrimentales del suelo para apoyar programas de fertilización mineral del mamey. Los objetivos de este estudio fueron estratificar el suelo agrícola de Alpayeca, Guerrero, de acuerdo con sus propiedades físico-químicas para su representación en mapas digitales; así como evaluar el efecto de dos técnicas de riego: tradicional (RT) y controlado (RC) y cuatro dosis de fertilizantes [T1=1-1-1, T2=1.5-1.5-1.5, T3=2-2-2 N-P-K y T0 (testigo)=0-0-0] en el crecimiento de ramas, número total de hojas y con necrosis marginal; y número y peso de fruto cosechados en el ciclo 2005-2006.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Mapeo digital de suelos

#### Área de estudio

El estudio se realizó en Alpoyeca Guerrero (17°40' N y 98°31' O), ubicado en la región de la Cañada de Huamuxtitlán en la montaña baja de Guerrero. La localidad está a una altitud de entre 900 y 1000 m, posee clima predominante cálido subhúmedo (Awo) con temperatura anual de 22°C y precipitación pluvial anual de 800 mm (García, 1988). Los suelos son arcillosos o franco-arcillosos con 2 a 7% de materia orgánica, pH alcalino (7.6-8.2) y conductividad eléctrica de 0.20 a 1.54 mmhos cm<sup>-1</sup>.

#### Muestreo y análisis físico-químico de suelo

En diciembre de 2004 se colectaron 21 muestras de suelo de diferentes huertos de mamey georreferenciados con un GPS (Sistema de Geoposicionamiento Global) versión V, GARMIN™, Olathe KS, EE. UU. con precisión de ± 5 m. La superficie de cada huerto fue de 1.0 ha, en cada uno se muestrearon cinco sitios conforme a un patrón en “W” (Zadoks y Schein, 1979). En cada sitio se obtuvo una submuestra de 1.0 kg de suelo del estrato superior del terreno (0 a 30 cm de profundidad); las submuestras se mezclaron y homogenizaron para obtener una muestra compuesta de 1.0 kg. para su análisis físico y químico. Se determinaron 14 propiedades físico-químicas: N total (%), Microkjeldahl), P (mg kg<sup>-1</sup>, Olsen), K, Ca, Na y Mg intercambiables (Cmol. kg<sup>-1</sup>, método de acetato de amonio y cuantificación por absorción atómica), Fe, Cu, Mn y Zn (mg kg<sup>-1</sup>, por extracto de saturación), pH (potenciómetro, método de extracto de pasta de saturación del suelo 1:2), conductividad eléctrica (dS kg<sup>-1</sup>, extracto de pasta de saturación del

suelo), materia orgánica (%), Walkley y Black), textura (Boyucos). Los análisis se realizaron mediante procedimientos de rutina (Etchevers, 1988) e interpretaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

### **Construcción de cartas edafológicas**

Los mapas de las variables edáficas se construyeron con los programas ArcMap<sup>TM</sup> y ArcView 8.1<sup>TM</sup> del Sistema de Información Geográfica (Chavarría *et al.*, 2000). Se utilizó el método de IDW de ArcGis<sup>®</sup> como algoritmo de interpolación, basado en que “*las cosas que están más cerca entre sí son más semejantes en relación a las que se encuentran a mayor distancia*”. El método asume que el valor de los sitios no muestreados representa un promedio ponderado de la distancia de los valores de los sitios muestreados que se encuentran alrededor (Burrough y McDonnell, 1998). Para obtener el valor de algún sitio sin medir, el modelo IDW asigna un peso a los puntos medidos alrededor del sitio a predecir y éstos serán los que intervendrán de manera más relevante en la construcción del valor definitivo del sitio a predecir que aquellos que se encuentran más lejos. Así, el IDW asume que cada sitio medido tiene una influencia local que disminuye con la distancia (Hunter, 2000). La fórmula general de acuerdo con Burrough y McDonnell (1998) es:

$$\bar{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

donde:  $\bar{Z}(s_0)$  = valor estimado que trata de predecir el punto  $s_0$ .  $N$  = tamaño de la muestra que será usada para la predicción.  $\lambda_i$  = pesos asignados a cada punto medido y que decrecerán con la distancia.  $Z(s_i)$  = valor observado del punto  $s_i$ .

La fórmula para determinar los pesos de los puntos medidos es:

$$\lambda = d_{i_0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i_0}^{-p} \quad \sum_{i=1}^N \lambda = 1,$$

Conforme la distancia se incrementa, los pesos se reducen por el factor de  $p$ . La medida de  $d_{i_0}$  constituye la distancia entre la localización calculada ( $s_0$ ) y la medida ( $s_i$ ). El poder del parámetro  $p$  influye en el peso del valor medido sobre el calculado, de esta manera la distancia se incrementa entre la muestra medida y la calculada y el peso que el punto medido tendrá sobre la predicción decrecerá exponencialmente. Previo a la construcción de las cartas edafológicas se generaron clases edáficas. Cada una se delimitó de acuerdo con los intervalos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. El número de clases para cada propiedad estuvo en función de los intervalos marcados en la Norma.

### **Evaluación nutrimental e hídrica**

El estudio se realizó en un huerto comercial de mamey (*P. sapota*) de aproximadamente 16 años de edad situado en las coordenadas geográficas 17°39'30'' N, 98°30'36'' O en Alpoyecá, Guerrero, México. El suelo del huerto experimental y agua de riego tuvieron un pH alcalino de 7.7 y 7.5 y conductividad eléctrica de 1.2 y 2.2 mmhos  $\text{cm}^{-1}$ . El suelo fue de textura franco-arcilloso con 4.4% de materia orgánica. Dentro del huerto se seleccionaron dos lotes de 20 árboles, uno se regó de forma tradicional (RT) mediante inundación de cajetes durante 8-12 h en intervalos de 8-10 días. En el otro, los riegos controlados (RC) se aplicaron cuando en el suelo se

registró una tensión de extracción de humedad de 20 cbar. En cada lote, la humedad y temperatura del suelo se monitorearon a 25 y 50 cm de profundidad con un tensiómetro y un termómetro marca Davis<sup>®</sup> modelo 6345 colocados en la zona de goteo de un árbol experimental y conectados a una subestación enlazada inalámbricamente a la consola de una estación meteorológica Vantage Pro<sup>®</sup> modelo 6310 (Davis Instruments<sup>®</sup>). La consola y subestación se automatizaron con el software WeatherLink<sup>®</sup> para Windows versión 5.4 (Davis Instruments<sup>®</sup>) mediante una computadora portátil en campo. Los registros se exportaron a una hoja de cálculo (Excel<sup>®</sup> de Microsoft<sup>®</sup>) para su análisis.

Dentro de cada lote se establecieron cuatro tratamientos de fertilización: T1=1-1-1 (N-P-K), T2=1.5, 1.5, 1.5 (N-P-K), T3=2-2-2 (N-P-K) y T0 (testigo)=0-0-0 (N-P-K) cada uno con cinco repeticiones; la unidad experimental fue un árbol de 14-16 años de edad. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental en parcelas divididas donde la parcela grande fue la modalidad de riego (RT y RC) y las parcelas chicas fueron las dosis de fertilizante (Cuadro 1). Se utilizó sulfato de amonio estándar (Sulfamin 45, Agrogen<sup>®</sup>, 21% de N como NH<sub>4</sub>), superfosfato de calcio triple granulado (SQM<sup>®</sup>, 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y sulfato de potasio granulado (SQM<sup>®</sup>, 50% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) como fuentes de N, P y K. Los fertilizantes se aplicaron a 10 cm de profundidad en la zona de goteo de los árboles cada dos meses por 2 años. Después de cada aplicación se suministró un riego. Las variables medidas en cada rama experimental fueron longitud de rama, número total de hojas y con necrosis marginal. Durante la cosecha 2005-2006 se cuantificó el número y peso de los frutos producidos por cada árbol/sección experimental. Los datos de las variables se registraron inmediatamente después de cada aplicación de fertilizantes.

Cuadro 1. Distribución de árboles y tratamientos experimentales dentro de parcelas con riego tradicional (RT) y controlado (RC) en un huerto experimental de mamey (*P. sapota*). Alpayeca, Guerrero, México. 2006.

Riego tradicional (RT)								Riego controlado (RC)					
Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	T05 <sup>w</sup>	Φ	T31	Φ	T22	T25	Φ	Φ
Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	T01	Φ	Φ	Φ
Φ	Φ	Φ	T35	Φ	Φ	T31	T21	Φ	T33	T13	T21	T05	Φ
T01	T33	T14	Φ	T11	Φ	Φ	T32	Φ	T04	Φ	Φ	Φ	T02
T13	T02	T23	T03	Φ	T22	T25		Φ	T35	Φ	T32	T23	Φ
Φ	Φ	Φ	Φ	T24	T04	Φ	Φ	Φ	T14	Φ	T03	T15	Φ
T34	Φ	Φ	T12	Φ	Φ	T15	Φ	Φ	T24	T34	T12	Φ	Φ

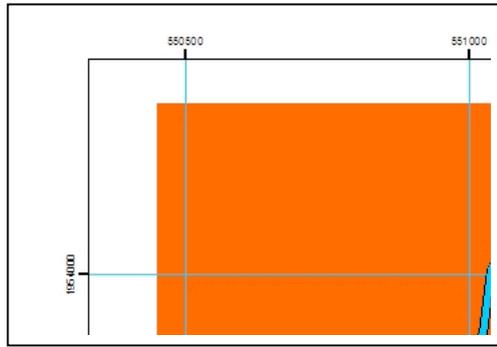
<sup>w</sup>Txy: Tx = Tratamientos (T1, T2, T3 y T0); y = repetición (1, 2, 3, 4, 5); Φ = árboles no experimentales

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Construcciones de cartas edafológicas

Los análisis indicaron que los elementos contenidos en el suelo variaron de medio a alto o adecuados de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Figura 2). Las concentraciones de Fe, Mn (Figura 6) y Cu, Zn (Figura 7) se clasificaron como adecuadas. El N (Figura 2), Ca (Figura 5) y materia orgánica (Figura 9) como altas. Las catalogadas en nivel medio fueron el P (Figura 3), K (Figura 4) y Mg (Figura 5). Se han propuesto clases de suelo y agua para el desarrollo óptimo de determinados cultivos (Sys *et al.*, 1993); pero es inexistente para el cultivo del mamey. Se menciona que el mamey prospera mejor en suelos limo-arenosos, con abundante materia orgánica, bien drenados y con pH de 5.1 a 7.8 (Serafín, 1982); desafortunadamente, esta información es general y sólo puede utilizarse como referencia cualitativa para el establecimiento de plantaciones de mamey en áreas nuevas. La falta de información respecto a las condiciones nutrimentales óptimas para la producción de mamey

limita la discusión de los resultados obtenidos. Se sugiere realizar estudios similares en otras regiones de México donde se cultive comercialmente el mamey; registrando, además, sus niveles de producción y calidad. Cada zona evaluada deberá ser georreferenciada y caracterizada por sus valores climáticos disponibles en bases de datos, para generar mapas digitales que permitan estratificar la calidad y rendimiento de las plantaciones de acuerdo con las condiciones edafológicas y climáticas óptimas.

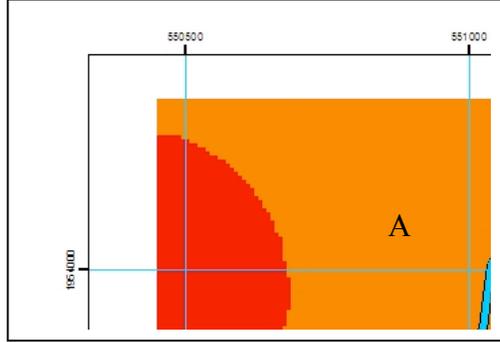


M

MA

A

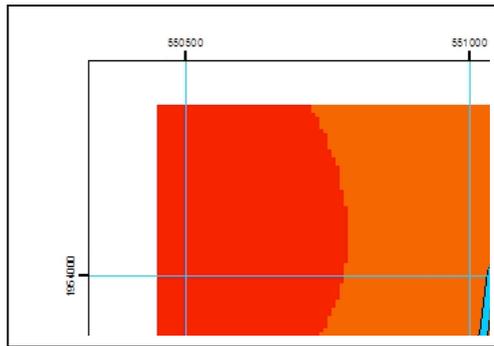
Figura 2. Contenido de nitrógeno total en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpayeca, Guerrero. 2005. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo.



(e) M

B

Figura 3. Contenido de fósforo en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpayeca, Guerrero. 2005.. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo.



B

M

A

Figura 4. Contenido de potasio en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpayeca, Guerrero. 2005. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo.

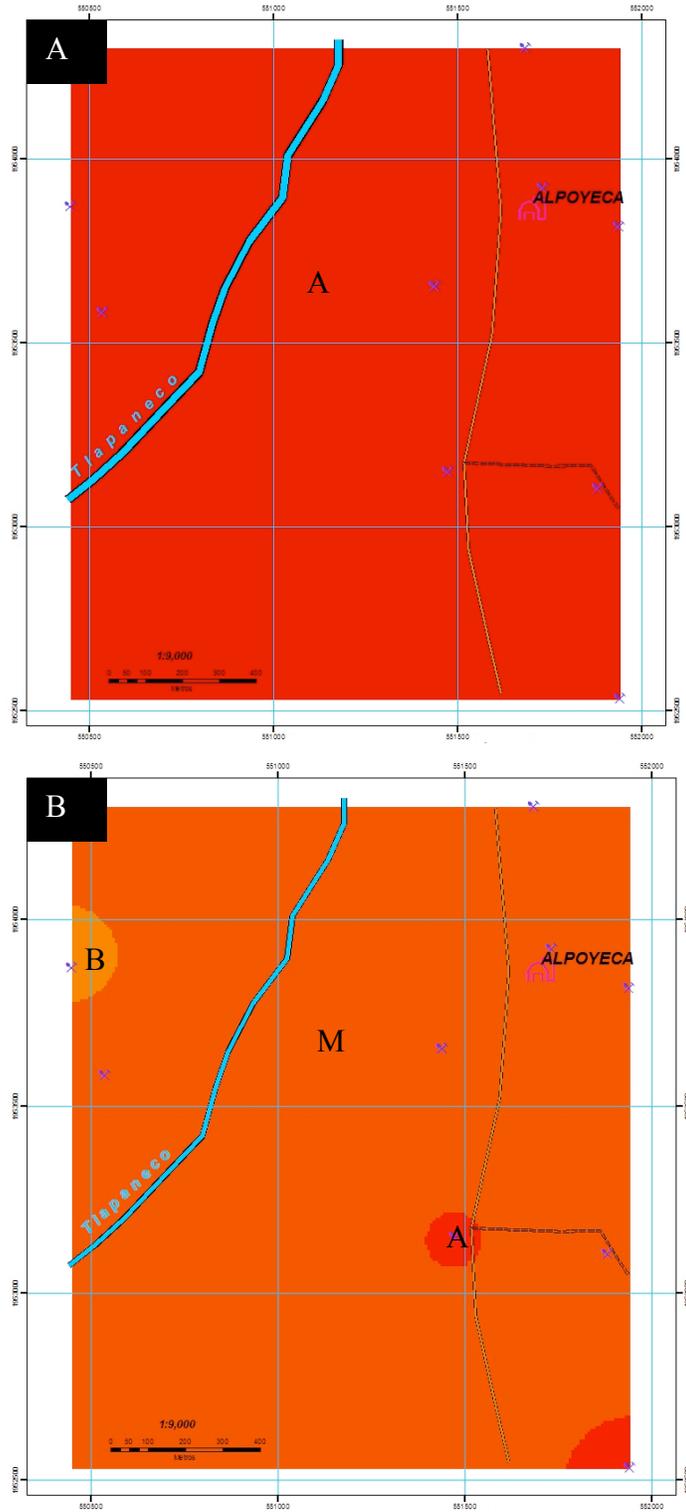


Figura 5. Contenido de Calcio (A) y Magnesio (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpoyecá, Guerrero. 2005. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo.

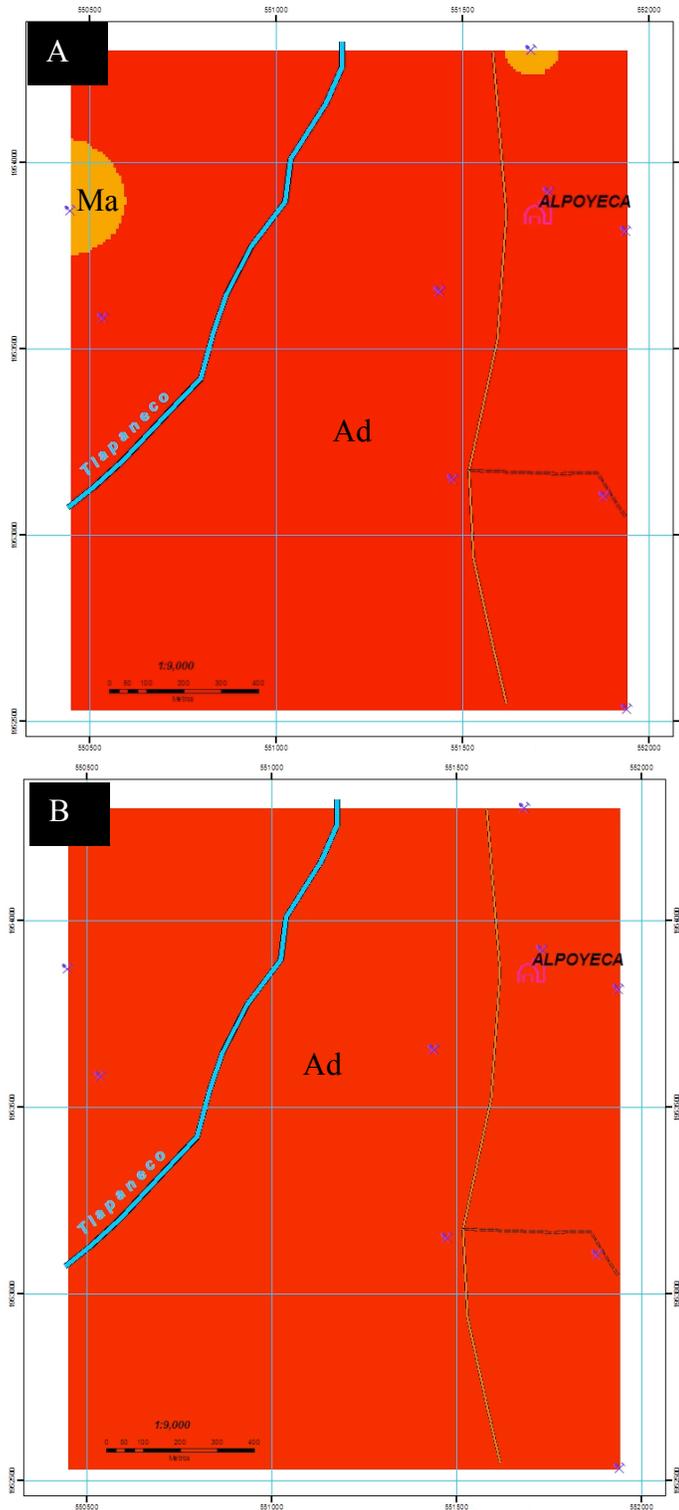


Figura 6. Contenido de Hierro (A) y Manganeseo (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpoyecá, Guerrero. 2005. EDS= efectos despreciables de salinidad; MLS= muy ligeramente salino; Ad= adecuado; Ma= marginal; SS= sin riesgo de sodicidad.

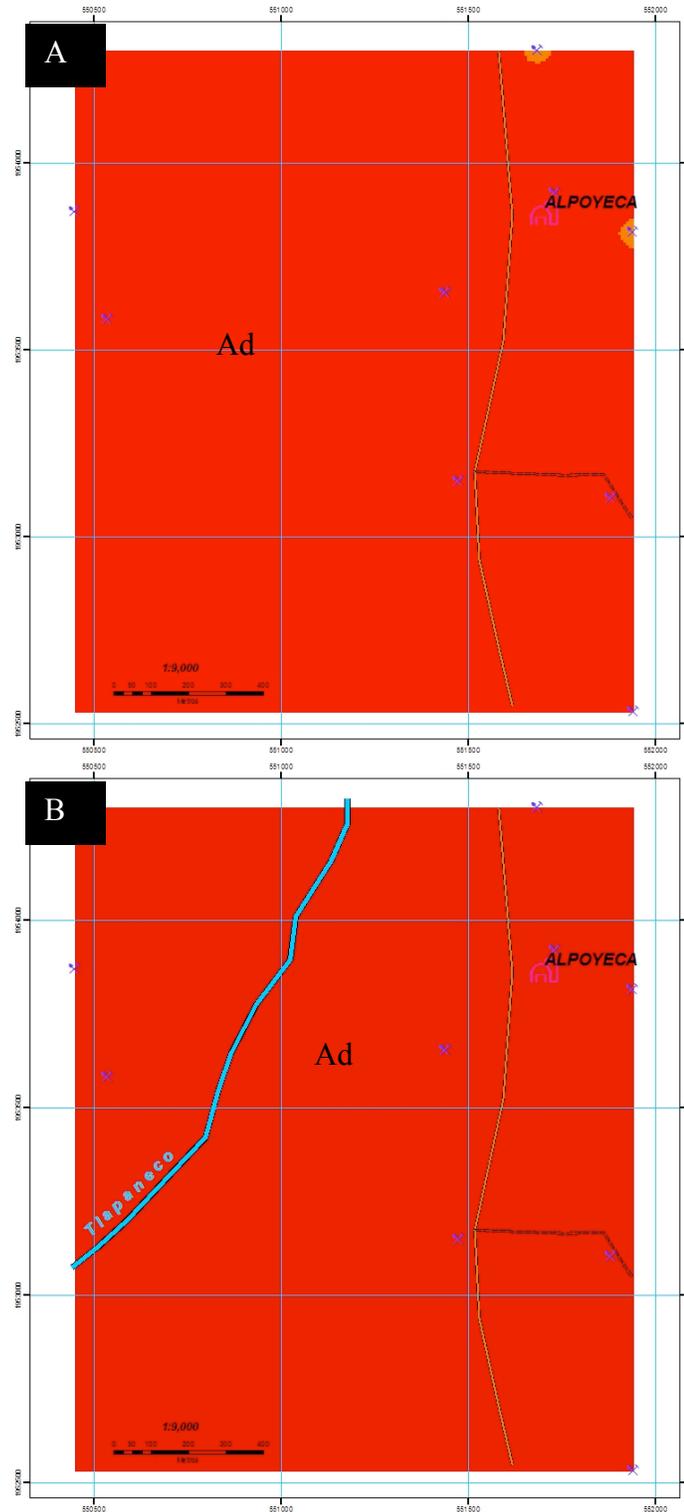


Figura 7. Contenido de Zinc (A) y Cobre (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*). Alpoyecá, Guerrero. 2005. EDS= efectos despreciables de salinidad; MLS= muy ligeramente salino; Ad= adecuado; Ma= marginal; SS= sin riesgo de sodicidad.

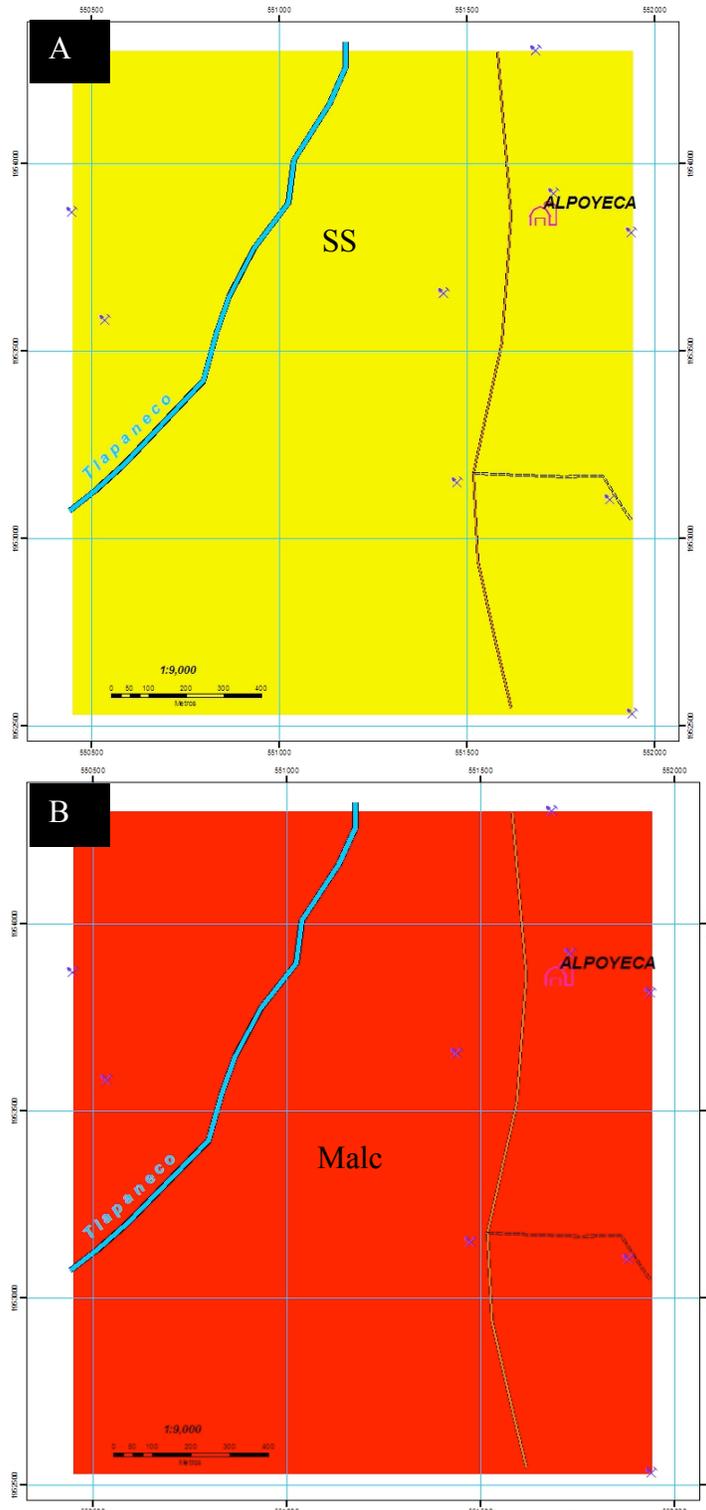


Figura 8. Contenido de Sodio (A) y valor de pH (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpoyecá, Guerrero. 2005.. EDS= efectos despreciables de salinidad; MLS= muy ligeramente salino; Ad= adecuado; Ma= marginal; Malc= medianamente alcalino; SS= sin riesgo de sodicidad.

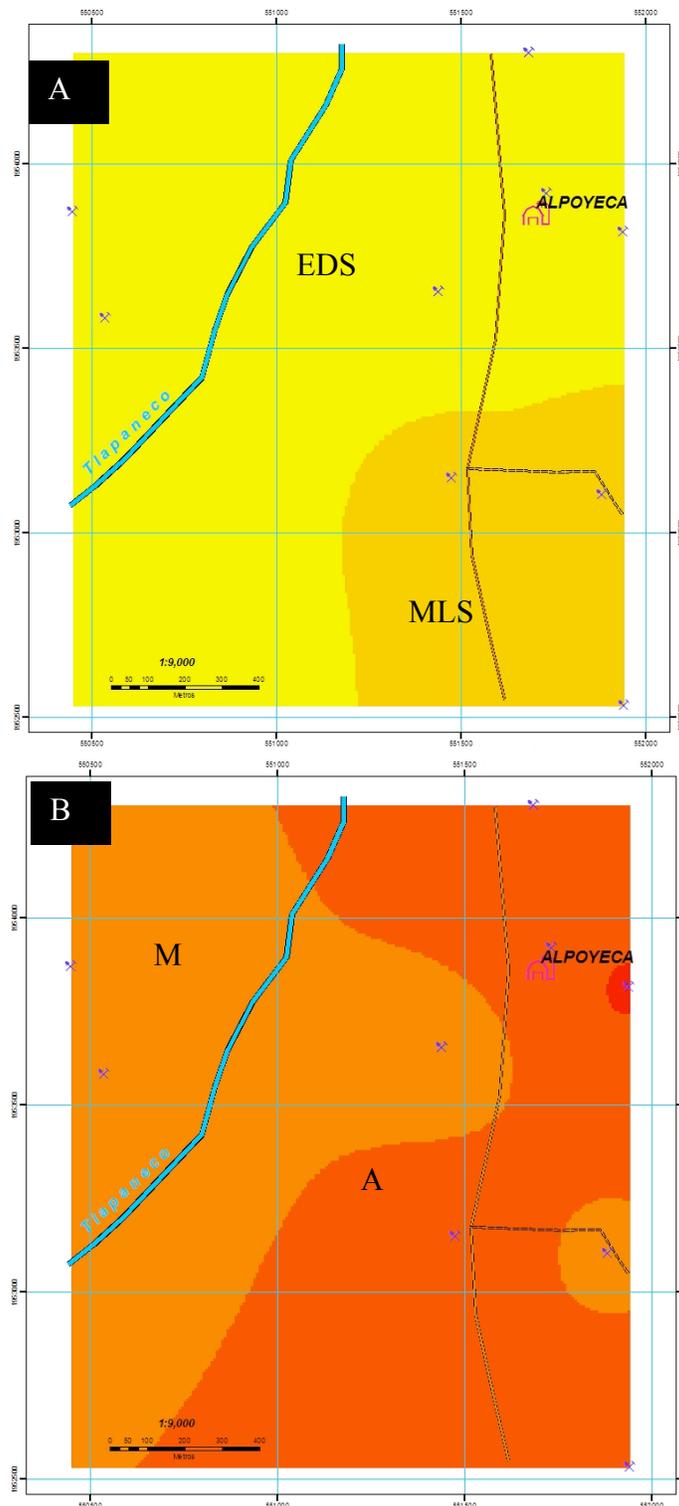


Figura 9. Mapas de Conductividad eléctrica (A) y contenidos de materia orgánica (B) en el suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpoyecá, Guerrero. 2005. MA= muy alto; A= alto; M= medio; B= bajo; EDS= efectos despreciables de salinidad; MLS= muy ligeramente salino; Ad= adecuado; Ma= marginal; Malc= medianamente alcalino; SS= sin riesgo de sodicidad.

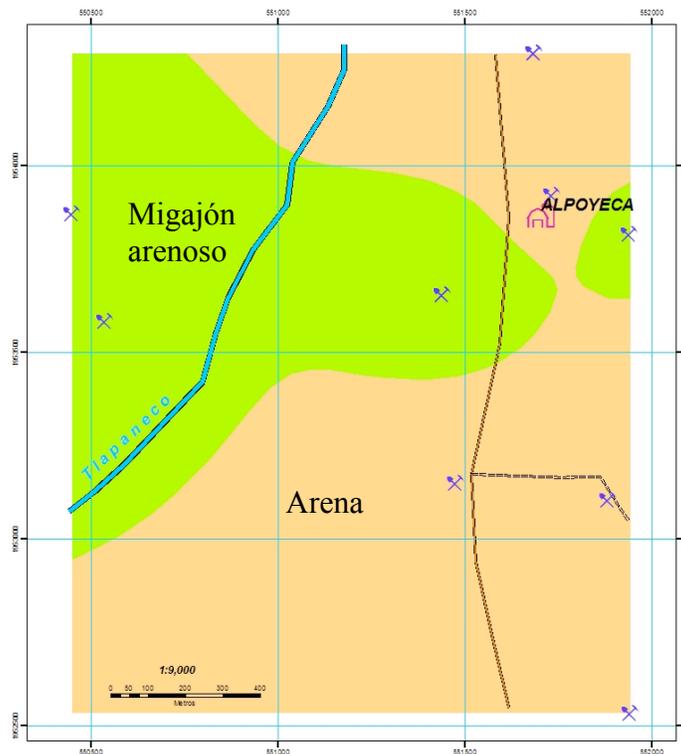


Figura 10. Mapa de la textura del suelo de huertos comerciales de mamey (*Pouteria sapota*), Alpoyecá, Guerrero. 2005.

### Evaluación nutrimental e hídrica

**Longitud de ramas.** Se encontró diferencia significativa ( $P \leq 0.05\%$ ) entre la técnica de riego tradicional (RT) y controlado (RC) en el crecimiento de ramas únicamente para la segunda fecha de evaluación (F2) (Cuadro 2). De manera similar, en el tratamiento de fertilización  $T1_{(1-1-1 \text{ NPK})}$  las ramas tuvieron un crecimiento mayor ( $P \leq 0.05\%$ ) sólo en la segunda y tercera fecha de evaluación (Cuadro 2). En la interacción  $RC \times T1_{(1-1-1 \text{ NPK})}$  las ramas tuvieron un crecimiento significativamente mayor sólo en la segunda, tercera y cuarta fecha de evaluación.

Cuadro 2. Efecto de dos técnicas de riego (tradicional y controlado) y cuatro dosis de fertilización en el crecimiento longitudinal (cm) de ramas con crecimiento secundario en un huerto comercial de mamey (*P. sapota*) en Alpayeca Guerrero, México. 2005-2006.

Técnica de riego	<sup>w</sup> F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Riego controlado	0.0 a	6.0 a	9.6 a	12.4 a	14.0 a	15.1 a	16.2 a	18.0 a
Riego tradicional	0.0 a	5.2 b	9.2 a	11.5 a	12.8 a	14.6 a	15.0 a	17.7 a
<b>Dosis de fertilizantes</b>								
<sup>x</sup> T1 (1-1-1 NPK)	0.0 a	6.7 a	11.3 a	13.5 a	14.7 a	16.1 a	17.1 a	19.0 a
T2 (1.5-1.5-1.5 NPK)	0.0 a	5.3 b	8.3 b	11.2 a	12.7 a	13.9 a	14.8 a	17.2 a
T3 (2-2-2 NPK)	0.0 a	5.2 b	9.3 ab	12.2 a	13.6 a	14.7 a	15.8 a	17.7 a
T4 (0-0-0 NPK)	0.0 a	5.1 b	8.9 b	10.8 a	12.4 a	13.8 a	14.7 a	16.3 a

<sup>w</sup>F<sub>x</sub> = Fechas de evaluación (F1=fecha 1, F2=fecha 2, ..., F8=fecha 8). <sup>x</sup>T<sub>x</sub> = Tratamientos de fertilización (T1=dosis baja, T2=dosis media, T3=dosis alta y T4=testigo).

Medias con letras iguales en la misma columna para técnicas de riego y dosis de fertilizantes son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05%).

**Número total de hojas.** El número de hojas fue mayor ( $P \leq 0.05\%$ ) en ramas de árboles con riego tradicional (20.2 hojas/rama) que con el riego controlado (16.9 hojas/rama) sólo en la segunda fecha de evaluación (F2); en el resto de las fechas no hubo diferencias estadísticas (Cuadro 3). De manera similar, el número de hojas en ramas de árboles que recibieron la dosis alta de fertilizante (T3 = 2-2-2 NPK) fue mayor ( $P \leq 0.05\%$ ) que las otras dosis de fertilizantes únicamente en la fecha ocho de evaluación; en el resto de las evaluaciones no hubo diferencia estadística (Cuadro 3). No se encontraron diferencias estadísticas entre la interacción técnica de riego x dosis de fertilizante para esta variable.

Cuadro 3. Efecto de dos técnicas de riego (tradicional y controlado) y cuatro dosis de fertilización en el número total de hojas en rama experimentales en un huerto comercial de mamey (*P. sapota*) en Alpoyecá Guerrero, México. 2005-2006.

Técnica de riego	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Riego controlado	14.0 a	16.9 b	32.0 a	38.8 a	32.8 a	26.5 a	26.9 a	28.7 a
Riego tradicional	15.5 a	20.2 a	35.6 a	43.1 a	34.2 a	23.3 a	25.0 a	33.1 a
<b>Dosis de fertilizantes</b>								
<sup>x</sup> T1 (1-1-1 NPK)	15.4 a	19.2 a	35.5 a	41.1 a	36.1 a	24.4 a	26.1 a	30.3 a
T2 (1.5-1.5-1.5 NPK)	16.8 a	17.6 a	31.4 a	39.1 a	28.1 a	21.7 a	22.3 a	26.0 a
T3 (2-2-2 NPK)	17.9 a	20.1 a	32.4 a	44.5 a	33.7 a	26.4 a	28.3 a	36.8 a
T4 (0-0-0 NPK)	15.2 a	17.3 a	35.9 a	39.1 a	36.1 a	27.1 a	27.1 a	30.6 a

<sup>w</sup>F<sub>x</sub> = Fechas de evaluación (F1=fecha 1, F2=fecha 2, ..., F8=fecha 8). <sup>x</sup>T<sub>x</sub> = Tratamientos de fertilización (T1=dosis baja, T2=dosis media, T3=dosis alta y T4=testigo).

Medias con letras iguales en la misma columna para técnicas de riego y dosis de fertilizantes son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05%).

**Número de hojas con necrosis marginal.** El número de hojas con necrosis marginal fue mayor ( $P \leq 0.05\%$ ) en ramas de árboles con riego tradicional (1.8 hojas/rama) que en el riego controlado (0.5 hojas/rama), sólo en la segunda fecha de evaluación (F2). En el resto de las evaluaciones no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 4). Del mismo modo, el número de hojas necróticas en ramas de árboles que recibieron la dosis alta de fertilizante (T3 = 2-2-2 NPK) fue mayor ( $P \leq 0.05\%$ ) que en las otras dosis de fertilizantes, únicamente en las fechas de evaluación siete y ocho (Cuadro 4).

**Número y peso de frutos.** En la cosecha del ciclo productivo 2005-2006, el número y peso de frutos en el lote experimental con RC fueron mayores ( $P = 0.05\%$ ) que en RT (Cuadro 5). No se encontraron diferencias estadísticas entre dosis de fertilización, ni debidas a las interacciones RC x T1, RC x T2 y RC x T3, aunque éstas sí difirieron ( $P \leq 0.05\%$ ) del resto de las interacciones (Cuadro 6).

Cuadro 4. Efecto de dos técnicas de riego (tradicional y controlado) y cuatro dosis de fertilización en el número de hojas necróticas en ramas experimentales en un huerto comercial de mamey (*P. sapota*) en Alpoeyca Guerrero, México. 2005-2006.

Técnica de riego	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Riego controlado	1.0 a	0.5 b	3.0 a	6.0 a	1.9 a	0.9 a	2.4 a	1.8 a
Riego tradicional	1.3 a	1.8 a	3.1 a	6.6 a	1.4 a	0.3 a	3.5 a	3.1 a
<b>Dosis de fertilizantes</b>								
<sup>x</sup> T1 (1-1-1 NPK)	1.8 a	2.2 a	3.6 a	5.0 a	1.5 a	0.7 a	3.8 ab	2.6 ab
T2 (1.5-1.5-1.5 NPK)	1.1 a	1.2 a	2.4 a	7.8 a	1.7 a	0.6 a	1.1 b	0.6 b
T3 (2-2-2 NPK)	0.9 a	1.0 a	2.0 a	5.9 a	1.4 a	0.9 a	4.9 a	5.1 a
T4 (0-0-0 NPK)	1.4 a	1.2 a	4.6 a	6.4 a	2.0 a	0.3 a	2.0 ab	1.5 b

<sup>w</sup>F<sub>x</sub> = Fechas de evaluación (F1=fecha 1, F2=fecha 2, ..., F8=fecha 8). <sup>x</sup>T<sub>x</sub> = Tratamientos de fertilización (T1=dosis baja, T2=dosis media, T3=dosis alta y T4=testigo).

Medias con letras iguales en la misma columna para técnicas de riego y dosis de fertilizantes son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05%).

Cuadro 5. Efecto comparativo de las técnicas de riego tradicional y controlado en el número y peso de frutos de mamey (*P. sapota*) en la cosecha del ciclo productivo 2005-2006 en un huerto comercial en Alpoeyca, Guerrero.

Técnica de riego	Número de frutos	Peso de frutos (kg)
Riego controlado	123.7 a	69.3 a
Riego tradicional	81.3 b	47.0 b

<sup>w</sup>F<sub>x</sub> = Fechas de evaluación (F1=fecha 1, F2=fecha 2, ..., F8=fecha 8).

Medias con letras iguales en la misma columna, por tratamiento, son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05%).

Cuadro 6. Efecto de la interacción entre dos técnicas de riego y cuatro dosis de fertilizantes en el número y peso de frutos de mamey (*P. sapota*) en la cosecha del ciclo productivo 2006 en un huerto comercial en Alpoeyca, Guerrero.

Técnica de riego	Dosis de fertilizante (NPK)	Número de frutos	Peso de frutos (kg)
Riego controlado	1-1-1	149.0 a	84.4 a
Riego controlado	1.5-1.5-1.5	120.4 ac	73.8 ab
Riego controlado	2-2-2	139.8 ab	72.8 ab
Riego controlado	0-0-0	85.8 bcd	46.1 b
Riego tradicional	1-1-1	91.6 bd	43.7 b
Riego tradicional	1.5-1.5-1.5	79.2 bcd	50.8 b
Riego tradicional	2-2-2	79.6 bcd	47.7 b
Riego tradicional	0-0-0	75.0 cd	46.0 b

Medias con letras iguales en la misma columna, por tratamiento, son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05%).

En este estudio, las diferencias significativas en el crecimiento de ramas, número total de hojas y con necrosis marginal no fueron consistentes en las diferentes fechas de evaluación. La variación de resultados posiblemente se debió a la heterogeneidad genética de los árboles experimentales. En Alpoyecá, Guerrero, los árboles de mamey provienen de semilla y entre ellos no existe uniformidad en cuanto al tamaño, porte, producción, etc. A pesar que las variables se evaluaron durante un año, los resultados sugieren que el periodo experimental para este tipo de estudios debe ser mayor dos o tres años más debido a lenta respuesta positiva que se observa en frutales leñosos perennes al cambio de manejo nutrimental o hídrico, o ambos. Para estimar adecuadamente posibles efectos experimentales benéficos como los esperados, en estudios posteriores se sugiere considerar la uniformidad genética de los árboles, mayor periodo de estudio (2 ó 3 ciclos productivos), incluyendo el diagnóstico nutrimental foliar y del suelo y medición de otras variables fisiológicas como tasas de fotosíntesis y respiración que en este trabajo no se consideraron.

Como complemento de este experimento, en Alpoyecá, Guerrero, Vallejo (2007) encontró que la fertilización combinada con riego controlado a 20 mbar mejoraron la apariencia física de la pulpa y redujeron la pérdida de peso por transpiración, y los frutos de árboles fertilizados exhibieron mayor concentración de carotenoides (mejor color). Debido a la alta variabilidad genética de los árboles experimentales de mamey (de pié franco) en la localidad de estudio no fue posible determinar los efectos del riego y fertilización en la incidencia de pudriciones postcosecha del zapote mamey. La variación genética de los árboles se constituye como una limitante importante para evaluar adecuadamente el efecto experimental de tratamientos. De manera similar, Santamaría (2006), consignó la ausencia de diferencias estadísticas en el contenido de macros y micronutrientes en hojas y suelo entre tratamientos de fertilizantes en el

mismo huerto experimental estudiado. En contraste, el riego controlado aumentó la concentración de fósforo disponible.

La uniformidad genética de las unidades experimentales y periodos de evaluación más prolongados son factores que evidenciarán con mayor precisión las bondades de la fertilización mineral, tipos y frecuencias de riegos, tal como muestran estudios similares realizados en papaya (*Carica papaya* L.) variedad Maradol. En este cultivo se determinó que el riego por goteo combinado con la aplicación de fertilizantes N-P-K mejoraron el crecimiento, rendimiento, eficiencia del uso del agua y rentabilidad (Mellado-Vázquez *et al.*, 2005).

## CONCLUSIONES

- Se elaboraron cartas edafológicas de fácil interpretación y bajo costo para N, P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y textura, mismas que se constituyen como una herramienta útil para conocer y representar el estado nutrimental del suelo y facilitar el diseño de estrategias de fertilización del mamey en Alpoyeca, Guerrero, México.
- El riego y la fertilización no mostraron un efecto benéfico consistente en el crecimiento de ramas, número total de hojas y con necrosis marginal.
- En el ciclo productivo 2005-2006, la interacción del riego controlado con las dosis de fertilizantes tuvo un efecto benéfico en el peso y número de frutos en comparación con el riego tradicional y dosis de fertilizantes.

## LITERATURA CITADA

- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de la Fisiología Vegetal. 1ª ed. Editorial McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España. 536 p.
- Burrough, P. A. and R. McDonell. 1998. Principles of geographical information system. Claredon Press Oxford. Nueva York. 333 p.
- Carré, F. A., T. M. McBratney, and L. Montanarella. 2007. Digital soil assessments: Beyond DSM. *Geoderma* 142: 69-79.
- Castellanos J. Z., A. Ortega G., O. A. Grajeda, A. Vázquez A., S. Villalobos, J. J. Muñoz R., B. Zamudio, J. G. Martínez, B. Hurtado, P. Vargas, and S. A. Enríquez. 2002. Changes in the quality of groundwater for agricultural use in Guanajuato. *Terra* 20: 161-170.
- Castellanos J. Z., B. Hurtado, S. Villalobos, V. Badillo, P. Vargas, y S. A. Enríquez. 2000. Características físicas y químicas del suelo en el estado d Guanajuato. Reporte Técnico del proyecto 47/99 de la Fundación Guanajuato Produce, A. C. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Celaya, Guanajuato, México.
- Chavarría, H. J., G. Cruz C. y C. A. Ortiz S. 2000. Manual para la Elaboración y Edición de Mapas en Arcview 8.1™. Instituto de Recursos Naturales-Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. México. 115 p.
- Etchevers, B. J. D. 1988. Interpretación de los análisis químicos de suelo. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Etchevers, B. J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra* 17:209-219.
- Galvis, S. A., D. J. Etchervers, y J. Rodríguez S. 1993. Estimación de los rendimientos máximos alcanzables de maíz en áreas de temporal del estado de Tlaxcala. *Terra* 11:93-99.

- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Ed. Ind. México.
- Huber, D. M. 1989. Introduction. *In*: A. W. Engelhard (ed). Soilborne Plant Pathogen: Management of Disease with Macro and Microelements. APS Press. St. Paul, Minnesota. pp: 1-8.
- Huber, D. M., and I. A. Thompson. 2007. Nitrogen and plant disease. *In*: Mineral Nutrition and Plant Disease. Datnoff L. E., W. H. Elmer and D. M. Huber (eds.). APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. pp: 31-44.
- Hudson, D. B. 1992. The soil survey as paradigm-based science. *Soil Sci. Am. J.* 56: 836-841.
- Hunter, G. 2000. Modeling forest stand structure using geostatics, geographic information systems, and remote sensing. Tesis Doctoral. Department of Forest Sciences, Colorado State University.
- MacBratney, B. A., M. L. Mendonça-Santos, and B. Minasny. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.
- Mellado-Vázquez A., V. Volke-Haller, M. Tapia-Vargas, P. Sánchez-García y A. Quevedo-Nolasco. 2005. Respuesta del papayo al riego y a la fertilización N-P-K en un vertisol. *Terra Latinoamericana* 23:137-144.
- Mueller, G. T. 2007. Map Quality Assessment for Site-Specific Fertility Management. *In*: GIS Applications in Agriculture. F. J. Pierce and David Clay (eds.). CRC Press. Boca Raton, FL. pp: 103-120.
- Mueller, G. T., B. N. Pusuluri, K. K. Mathias, L. P. Cornelius, I. R. Barnhisel, and A. S. Shearer. 2004. Map Quality for Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighted Interpolation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:2042–2047.

- NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificaciones de suelos. Estudios, muestro y análisis. Diario Oficial de la Federación del 23 de abril de 2003.
- Qi, F., and A. X. Zhu. 2003. Knowledge discovery form soil maps using inductive learning. *Int. J. Inform. Geographical Sci.*, 17: 771-795.
- Robinson, P. T., and G. Metternicht. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniquesfor mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50: 97–108.
- Rodríguez M. Ma. De las N., L. I. Trejo-Téllez, y G. Alcántar G. 2007. Acceso, absorción y transporte nutrimental. *In: Nutrición de Cultivos*. Alcántar G. G., y Trejo-Téllez, L. I. (Coords.). Mundi-Prensa, México. pp: 159-199.
- Santamaría D. K. 2006. Estudio nutrimental del zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) en Alpoyecá, Guerrero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, México.
- Salisbury, F. B., and C. W. Ross. 2000. *Fisiología de las Plantas 1. Células, agua, soluciones y superficies*. Editorial Paraninfo Thomson Learning. Madrid, España. 305 p.
- Scull, P., J. Franklin, O. A. Chadwick, and D. McArthur. 2003, Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography* 27:171-197.
- Serafín, G. J. 1982. Selección de tipos criollos de mamey (*Calocarpum mammosum* L.). B. Sc. Tesis. Universidad Autónoma de México. México, D. F.
- Singer M. J., and D. N. Munns. 1999. *Soils: An Introduction*. 4th ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Solórzano, P. P. R. 1997. Fertilidad de suelos, su manejo en la producción agrícola. *Rev. Facultad de Agronomía (Maracay)* 51:57-142.
- Sys, C. I., E. Van Ranst, J. Debaveye, and F. Beernatert. 1993. *Land Evaluation III: Crop Requirements*. ITC. Agricultural Publications No. 7. Brussels, Belgium. 199 p.

- Triantafyllidis, J., A. I. O. Odeh, and B. A. McBratney. 2001. Five Geostatistical Models to Predict Soil Salinity from Electromagnetic Induction Data Across Irrigated Cotton. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:869–878 .
- Vallejo P. M. R. 2007. Efecto del riego y fertilización en la calidad postcosecha e incidencia de pudriciones del zapote mamey (*Pouteria Sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) en Alpoyecá, Guerrero, México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. México.
- Vásquez, L. A., A. Mora A., D. Téliz O., y P. Sánchez G. 2006. Etiología de la necrosis marginal de hojas del mamey (*Pouteria sapota*) en Guerrero, México. XXXIII/VIII Congreso Nacional/Internacional de Fitopatología, Manzanillo, Colima, México. Resumen C51.
- Velasco V. V. A. 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. *Terra* 17:193-200.
- Volke, H. V., J. D. Etchevers, A. Sanjuan R. y T. Silva P. 1998. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. *Terra* 16:80-91.
- Westwood, M. N. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 461 p.
- Zadoks, J. C. and R. D. Schein. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford University Press. New York, USA. 427 p.
- Zhu, X. A., B. Hudson, J. Burt, K. Lubich, and D. Simonson. 2001. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Sci. Am. J.* 65: 1463-1472.