

Revista Mexicana de Fitopatología  
Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.  
guillermofuentes\_davila@hotmail.com  
ISSN (Versión impresa): 0185-3309  
MÉXICO

2004

Oscar Pérez Hernández / Carlos Cecilio Góngora Canul / María Fátima Medina Lara /  
Carlos Oropeza Salín / José Armando Escamilla Bencomo / Gustavo Mora Aguilera  
PATRÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL AMARILLAMIENTO LETAL EN COCOTERO  
(COCOS NUCIFERA L.) EN YUCATÁN, MÉXICO

*Revista Mexicana de Fitopatología*, julio-diciembre, año/vol. 22, número 002

Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.

Ciudad Obregón, México

pp. 231-238

## Patrón Espacio-Temporal del Amarillamiento Letal en Cocotero (*Cocos nucifera* L.) en Yucatán, México

**Oscar Pérez-Hernández, Carlos Cecilio Góngora-Canul**, Ex-alumnos del Depto. de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carr. México-Texcoco, Chapingo, Edo. de México CP 56230; **María Fátima Medina-Lara, Carlos Oropeza-Salín, y José Armando Escamilla-Bencomo(+)**, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas, 43 No. 130, Col. Chuburná, Mérida, Yucatán CP 97200; y **Gustavo Mora-Aguilera**, Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad, Especialidad de Fitopatología, km 36.5 Carr. México-Texcoco, Montecillo, Edo. de México CP 56230. Correspondencia: cos@cicy.mx

(Recibido: Agosto 04, 2003 Aceptado: Agosto 21, 2003)

Pérez-Hernández, O., Góngora-Canul, C.C., Medina-Lara, M.F., Oropeza-Salín, C., Escamilla-Bencomo, J.A., y Mora-Aguilera, G. 2004. Patrón espacio-temporal del amarillamiento letal en cocotero (*Cocos nucifera* L.) en Yucatán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22:231-238.

**Resumen.** Se estudió el patrón espacio-temporal del amarillamiento letal del cocotero, con el fin de proporcionar bases para sustentar la erradicación de palmas enfermas. El análisis de la incidencia visual y severidad de la enfermedad se realizó en 400 palmas (20 x 20) localizadas en Sisal, Yucatán, México, de julio de 1999 hasta junio del 2000. Adicionalmente, se analizaron datos tomados en 1992 de 35 parcelas (cada una con 10 x 10 palmas) ubicadas a lo largo de un transecto costero de 147 km (Santa Clara-Celestún). La severidad de la enfermedad se evaluó mediante los síntomas visuales de acuerdo a la escala de McCoy, mientras que el análisis espacio-temporal se realizó mensualmente mediante mapas geostatísticos interpolativos, e índices de agregación (Morisita y Lloyd) previa determinación del tamaño óptimo de cuadrante con el método de Greig-Smith. La presencia del fitoplasma y su vector (*Myndus crudus*) se confirmó mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y por trapeo, respectivamente. Los mapas geostatísticos mostraron un patrón espacial aleatorio cuando la plantación tuvo una incidencia menor del 35% y se formaron agregados cuando la enfermedad alcanzó una incidencia mayor que el 35.9%. En contraste, los índices de agregación indicaron la presencia de un patrón espacial aleatorio independientemente del porcentaje de incidencia de la enfermedad. El progreso de la enfermedad tuvo un comportamiento exponencial y un incremento de incidencia de 22% en todo el año de estudio, con una tasa promedio de infección aparente ( $r_E$ ) de 0.077 unidades  $\log \text{mes}^{-1}$  ( $r^2=0.93$ ). En las parcelas del transecto costero, los patrones espaciales

de las palmas enfermas variaron, encontrándose agregación en 11, uniformidad en 21 y aleatoriedad en solamente 3 parcelas. Estos resultados sugieren la erradicación de palmas enfermas individuales, siempre y cuando la detección se realice en la fase inicial de la epidemia, y cuando aún no exista la formación de agregados.

Palabras clave adicionales: Epidemiología, fitoplasma, índices de agregación, *Myndus crudus*.

**Abstract.** A study on temporal-space pattern of coconut lethal yellowing (LY) was carried out in Sisal, Yucatan, Mexico, with the objective to provide basis for eradication of diseased palms. A block of 400 palms (20 x 20) from a plantation of *Cocos nucifera* was selected for monthly inspection of disease incidence and severity of LY from July 1999 through June 2000. In addition, data collected in 1992 from 35 plots (10 x 10 palms each) along a transect of 147 km from Santa Clara to Celestun in the Yucatan Coast was analyzed. Disease severity was measured by visual symptoms according to McCoy's scale, while the spatial pattern was analyzed monthly by geostatistical maps and aggregation index (Morisita's and Lloyd's). Optimal quadrat size was determined by the Greig-Smith's method. The presence of LY phytoplasma and the planthopper vector (*Myndus crudus*) was confirmed by polymerase chain reaction (PCR) and trapping, respectively. Geostatistical maps showed random spatial pattern of diseased palms when disease incidence was below 35%, but an aggregated pattern was revealed when LY was > 35.9%. However aggregation index revealed a random spatial pattern regardless of the percentage of disease incidence. Disease progress was exponential with an increment of 22% through the year. The apparent infection rate was 0.077  $\log$  units  $\text{month}^{-1}$  ( $r^2=0.93$ ). In the coastal transect, the spatial pattern of diseased palms varied; eleven plots had palms in aggregated

pattern, 21 with a uniform pattern, and only 3 with a random pattern. These results suggest eradication of individual diseased palms when detection is carried out at the beginning of the epidemic, and when there is not an indication of clustering.

Additional keywords: Epidemiology, phytoplasma, indices of aggregation, *Myndus crudus*.

México ocupa el sexto lugar mundial en producción de coco (*Cocos nucifera* L.) y el primero en América Latina y África. La superficie sembrada en 1995 fue de aproximadamente 174,160 ha distribuidas principalmente en 13 entidades, destacando por su producción, en orden de importancia, Guerrero, Colima y Tabasco. La superficie sembrada se redujo a 153,000 ha (FAOSTAT, 2000) debido principalmente a la enfermedad amarillamiento letal (AL), la cual ha devastado extensas áreas del Golfo de México. Esta enfermedad se observó por primera vez en México en la Isla de Cozumel, Quintana Roo en 1977, pero su presencia fue confirmada cinco años después mediante microscopía electrónica (McCoy *et al.*, 1982). El agente causal se descubrió simultáneamente por tres grupos de investigadores en 1972, al observar mediante el microscopio electrónico, la presencia de fitoplasmas en las células del floema de palmas afectadas (Beakbane *et al.*, 1972; Heinze *et al.*, 1972; Plavsic *et al.*, 1972). El fitoplasma causante del AL es transmitido por la chicharrita *Myndus crudus* Van Duzee (Howard, 1995) y ataca al menos otras 35 especies de palmas (Howard, 1999). En 1990, el gobierno mexicano definió el plan nacional contra el AL y el 28 de julio de 1995, se publicó en el diario oficial de la federación el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-FITO-1995, denominada, "Por la que se establece la campaña contra el amarillamiento letal del cocotero" (Macías-Canales, 1997). Las acciones inmediatas en zonas ya afectadas han consistido en intensas actividades de muestreo, para determinar oportunamente cualquier palma con síntomas sospechosos de AL y proceder a su derribe e incineración (Macías-Canales, 1997). Sin embargo, a pesar del esfuerzo gubernamental por contener la dispersión del patógeno, más de 13,000 ha han sido devastadas en la Península de Yucatán, y alrededor de 650,000 palmeras han sido destruidas por el patógeno (Robert *et al.*, 1991). Estudios preliminares con datos del programa de erradicación en el estado de Tabasco, indican el nulo efecto de la erradicación en el desarrollo de las epidemias. Actualmente, el principal frente de avance de la enfermedad se localiza en el estado de Tabasco, aunque ya se han detectado y confirmado mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) algunos brotes asociados con fitoplasmas en el estado de Oaxaca (Córdova-Lara, 2000), presentando la amenaza de que el patógeno pueda internarse a los estados de la costa del Pacífico, región donde se da la mayor producción de copra del país. El éxito de la erradicación de una enfermedad depende principalmente del método de detección y de las bases epidemiológicas que

soporten el muestreo. Sin embargo, no existe en México ni a nivel mundial, ningún estudio cuantitativo de las epidemias de AL que contribuya a diseñar estrategias para la remoción de palmas enfermas con el fin de disminuir la fuente de inóculo de la enfermedad. En este contexto, este trabajo se planteó con el propósito de determinar el patrón espacio-temporal del AL en una parcela de 400 palmas ubicada en la costa de Yucatán, y el patrón espacial del AL en parcelas de un transecto costero de 147 km (Santa Clara a Celestún) en Yucatán, mediante el empleo de mapas geoestadísticos interpolativos e índices de agregación. De este modo se pretendió contribuir a justificar esquemas y métodos futuros de detección y muestreo, con fines de erradicación de palmas enfermas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización geográfica de la región de estudio.** El área de estudio se localizó en el estado de Yucatán, México. El patrón espacio-temporal se determinó en un bloque de 400 palmas de una plantación localizada en Sisal, Yucatán, ubicada geográficamente a 21°09'47" LN, 90°01'45" de LO, y a 1 msnm. El transecto costero de Santa Clara-Celestún fue de 147 km, con una ubicación geográfica aproximada de 21°24' LN, 89°19' LO y una altura promedio de 5 msnm (García, 1987). De acuerdo a este mismo autor, el clima que predomina en la región es BS (h') w (x') igw" (seco o estepario), que está caracterizado por su régimen de lluvias en verano con un porcentaje de lluvia invernal menor o igual que el anual.

**Censo de palmas.** Se seleccionó un bloque de 20 x 20 palmas dentro de una plantación de cocotero del ecotipo Altos del Atlántico, de una edad aproximada de 20 años, en Sisal, Yucatán, región en la que actualmente no se realiza erradicación. Esta plantación no ha recibido manejo agronómico desde hace 5 años y agrupa aproximadamente 4,800 palmeras arregladas en 240 surcos orientados de este a oeste, y cada surco con un promedio de 20 palmas orientadas de norte a sur. En el bloque de 400 palmas se realizaron evaluaciones visuales de la incidencia y severidad de la enfermedad de julio de 1999 a junio del 2000. La medición de la severidad se realizó mediante una adaptación de la escala propuesta por McCoy (1973), la cual consiste de 9 clases numéricas (0 al 8) asignadas según la aparición de síntomas visuales en la palmera. La primera evaluación se realizó en julio de 1999, la segunda en diciembre de 1999, y a partir de este mes, se llevaron a cabo evaluaciones mensuales hasta junio del 2000. Los criterios que se consideraron para la selección de este bloque fueron: bajo número de palmas faltantes o ausentes, alto número de palmas visualmente sanas, y ausencia de focos definidos de amarillamiento letal, según lo describió Góngora-Canul (2000). Adicionalmente se evaluaron los datos de un censo realizado en 1992 en el transecto costero Santa Clara-Celestún, que incluye evaluaciones de 35 parcelas de 100 palmas cada una (10 x 10 palmas), separadas a 2 km de distancia. Se evaluó la

incidencia y severidad del AL de manera similar a las evaluaciones de la plantación.

**Trampeo de homópteros.** Para confirmar la presencia del vector del AL se efectuaron capturas de insectos mediante trampas pegajosas, de color azul, (Cherry y Howard, 1984), las que se colocaron a una altura de 8 a 10 m sobre la superficie del tallo de 24 palmas seleccionadas aleatoriamente en la plantación de Sisal. Las trampas se cambiaron y se revisaron semanalmente durante julio de 1999.

**Colecta de muestras de cocotero para la detección del fitoplasma del AL.** En enero del 2000 se inició el muestreo de tejido vegetal en el bloque de 400 palmas para confirmar la presencia del agente causal mediante la técnica de PCR anidado descrita por Córdova-Lara (2000). El muestreo fue no destructivo, y consistió en tomar muestras de tronco de palmas con un taladro portátil con el que se extrajeron secciones de un volumen de 3 cm<sup>3</sup> a 1.30 m de la superficie del suelo. La detección de fitoplasmas causantes del AL por PCR se realizó en la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas del Centro de Investigación Científica de Yucatán, usando los iniciadores universales de fitoplasmas (P1/P7) para el PCR directo y los iniciadores específicos del fitoplasma del AL (503f/LY16Sr) para el PCR anidado.

**Análisis de la incidencia de la enfermedad.** Los datos de incidencia de la enfermedad en la parcela de 400 palmas se graficaron en el programa Freelance Graphics Lotus®, y se ajustaron al modelo exponencial linealizado ( $\ln y = b_0 + r_E t$ ) para conocer el comportamiento del progreso de la enfermedad, en donde  $y$  = incidencia,  $t$  = tiempo,  $b_0$  es su intercepto, y  $r_E$  es la tasa promedio de infección aparente. El ajuste se realizó mediante un programa elaborado en SAS para Windows Vers. 6.11®.

**Análisis del patrón espacio-temporal en el bloque de 400 palmas.** El patrón espacio-temporal se analizó mediante mapeo e índices de agregación (Morisita y Lloyd). El método de mapeo fue un método geoestadístico interpolativo (Shepard) del programa Surfer Vers. 6.04®, que consistió en mapas tridimensionales y de contorno. Los índices de agregación se calcularon para las evaluaciones de cada mes. El tamaño óptimo de cuadrante (TOC) utilizado para el cálculo de los índices de agregación, se obtuvo mediante el procedimiento de Greig-Smith (1957) en tamaños de bloque de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, y 256 palmas. El TOC se calculó para julio de 1999, y abril y junio del 2000. Debido a que se observó que el resultado no varió para estos meses, no se calculó para los meses restantes. El TOC se identificó gráficamente como el pico más alto de la varianza, que corresponde igualmente al pico más alto del cuadrado medio (Campbell y Madden, 1990). Una vez calculado el TOC se calculó el índice de Morisita y el Lloyd (índice de amanchonamiento o LIP) (Campbell y Madden, 1990).

**Análisis de patrones espaciales en el transecto Santa Clara a Celestún.** El patrón espacial se determinó mediante índices de agregación (Morisita y Lloyd) siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para los datos del bloque de

400 palmas. El TOC también se determinó mediante el método de Greig-Smith.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Trampeo de *Myndus crudus*.** Sólo se capturaron dos especímenes de *M. crudus* en las 24 trampas (julio de 1999). Este número fue ligeramente menor al encontrado por Piña-Quijano (1993) en 4 localidades costeras de Yucatán y se consideró una baja población de insectos. Sin embargo, se confirmó la presencia del vector en la plantación. La baja captura podría atribuirse a que las trampas que se utilizaron se colocaron sobre la superficie del tallo de las palmas (8 a 10 m de altura), más o menos a la mitad de altura entre el suelo y la fronda.

**Detección del fitoplasma del AL por PCR anidado.** De 60 muestras analizadas, 54 fueron negativas y sólo 6 positivas (Fig. 1). La presencia de una banda de 930 pb (carril 3) corresponde a la amplificación positiva o presencia del fitoplasma, mientras que en carril 2 no se detectó su presencia. Las muestras de los carriles 6-8 correspondieron a palmas que presentaron síntomas de AL en diciembre de 1999 y con grados de severidad de 3-5 según la escala de McCoy (1973). Las muestras de los carriles 10, 11 y 14 correspondieron a palmas que no presentaron síntomas visuales (grado de severidad 0), pero que son portadores del fitoplasma y por lo tanto se encuentran en período de incubación. El éxito de la erradicación de la fuente de inóculo en palmas enfermas dependerá de la metodología de detección, mientras que el éxito en la erradicación de la enfermedad dependerá de las detecciones de fitoplasmas por PCR en palmas asintomáticas, además de las bases epidemiológicas que soporten el muestreo. Aunque se derriben todas las palmas visualmente enfermas, quedarán palmas portadoras asintomáticas que podrían contribuir a la diseminación del fitoplasma.

**Incidencia de la enfermedad.** La incidencia del AL en el bloque de 400 palmas se incrementó de 14.02 a 35.9% durante los 12 meses de estudio, representando un incremento de 21.9% anual (Fig. 2). Se presentó mortalidad en 12 palmas durante todo el año. El progreso de la enfermedad tuvo un comportamiento exponencial. Las tasas promedio de infección aparente fue de 0.077 unidades log mes<sup>-1</sup> ( $r^2 = 0.93$ ). Aún cuando el AL está considerado como una enfermedad de rápida diseminación (McCoy *et al.*, 1983), es de particular relevancia señalar que de febrero a mayo (los meses con temperaturas más bajas) el incremento en el porcentaje de incidencia fue de 82%, mientras que de mayo a junio (los meses con más calor) la incidencia se incrementó 4.38%. Este estudio demuestra que la epifítia del AL en Sisal se encontraba en el inicio de su fase exponencial, en contraste con la de Florida, EUA, que mostró un carácter explosivo en la década de los 70s (McCoy, 1973; McCoy *et al.*, 1983).

**Patrón espacio-temporal en el bloque de 400 palmas. Mapeo.** Los mapas geoestadísticos mostraron la presencia de palmas enfermas con un arreglo aleatorio durante 10 meses (de julio, 1999, a abril, 2000). Adicionalmente muestran la

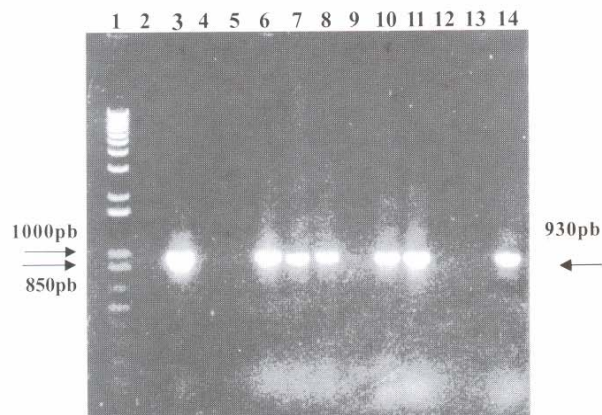


Fig. 1. Detección de fitoplasmas del amarillamiento letal por medio de PCR anidado usando los iniciadores específicos 503f y LY16Sr. El carril 1 es un marcador de peso molecular con banda de 12 Kb. La Banda de 930 pb denota amplificación positiva; Los carriles 2 y 3 fueron testigos negativos y positivo, respectivamente. Los carriles 4 al 14 fueron muestras extraídas de palmas del bloque estudiado. Los carriles 6, 7, 8, 10, 11 y 14 son muestras con resultado positivo al fitoplasma y corresponden a palmas con síntomas de AL.

severidad de los focos, ya que la magnitud de cada pico representa el grado de avance de la enfermedad. En julio de 1999 sólo existió un foco de la enfermedad con un grado de severidad tardío (grado 7) (Fig. 3-A), y para diciembre del mismo año, se observaron cinco nuevos focos esparcidos al azar y a distancias mayores de 24 m, localizados en el interior

de la plantación (de la playa hacia tierra adentro) (Fig. 3-B). Para junio del 2000, los focos individuales empezaron a coalescer formando agregados de 2-3 palmas enfermas. Para esta fecha, el patrón espacial fue agregado, aunque se consideró una agregación baja de palmas enfermas (Fig. 3-C).

**Índices de Agregación.** Se determinó que el tamaño óptimo de cuadrante fue de 16 palmas (4 x 4 palmas) (Fig. 4). El TOC fue consistente tanto para la variable de incidencia como para severidad, y fue consistente para los meses de julio de 1999, y abril y junio del 2000. En consecuencia, para el cálculo de los índices de agregación, el bloque de palmas estudiado se dividió en 25 cuadrantes contiguos; cada cuadrante con 16 palmas (4 x 4 palmas). La carencia de variabilidad en el tamaño de cuadrante calculado se atribuyó a un incremento lento de la intensidad de la enfermedad (incidencia y severidad). Adicionalmente, durante los cálculos se observó que cuando se mide cualitativamente una enfermedad, usando una escala de severidad, las variables más adecuadas para obtener el tamaño óptimo de bloque son el número de plantas enfermas por cuadrante, o bien, el número correspondiente a la escala de evaluación. Si se pretende usar como variables la incidencia o la severidad promedio por cuadrante, el tamaño óptimo de cuadrante calculado, utilizando el procedimiento de Greig-Smith, será el tamaño de bloque más pequeño. Los índices de agregación fueron similares en todos los meses de evaluación, con valores en un rango de 1 a 1.03 (Cuadro 1). Tanto para el índice Morisita como para el Lloyd, los resultados demostraron, en términos prácticos, un patrón al azar de palmas enfermas. La aleatoriedad indicada con los índices de agregación, coincidió

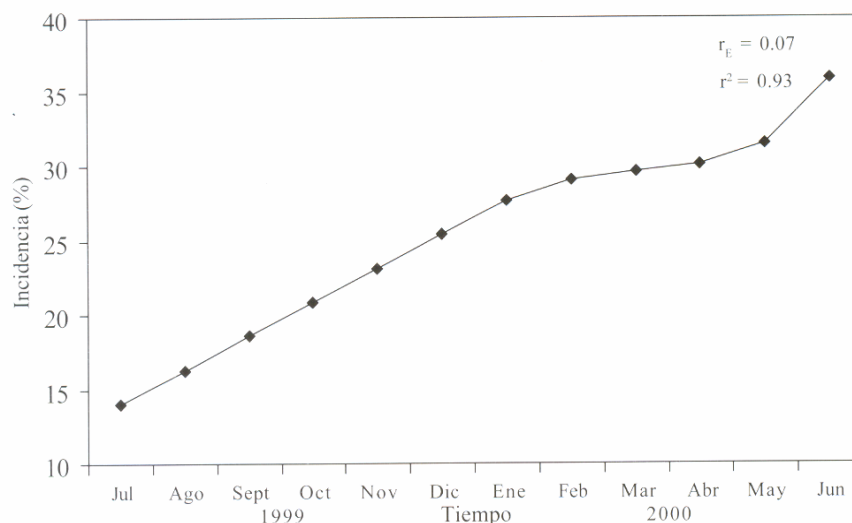


Fig. 2. Incidencia de amarillamiento letal del cocotero de julio de 1999 a junio del 2000 en un bloque de 400 palmas (*Cocos nucifera*) en Sisal, Yucatán, México. Los valores correspondientes a los meses de agosto a noviembre de 1999 se obtuvieron por interpolación. Tasas promedio de infección aparente ( $r_E$ ) y coeficientes de determinación ( $r^2$ ) estimadas con el modelo exponencial ( $\ln y = b_0 + r_E t$ ).

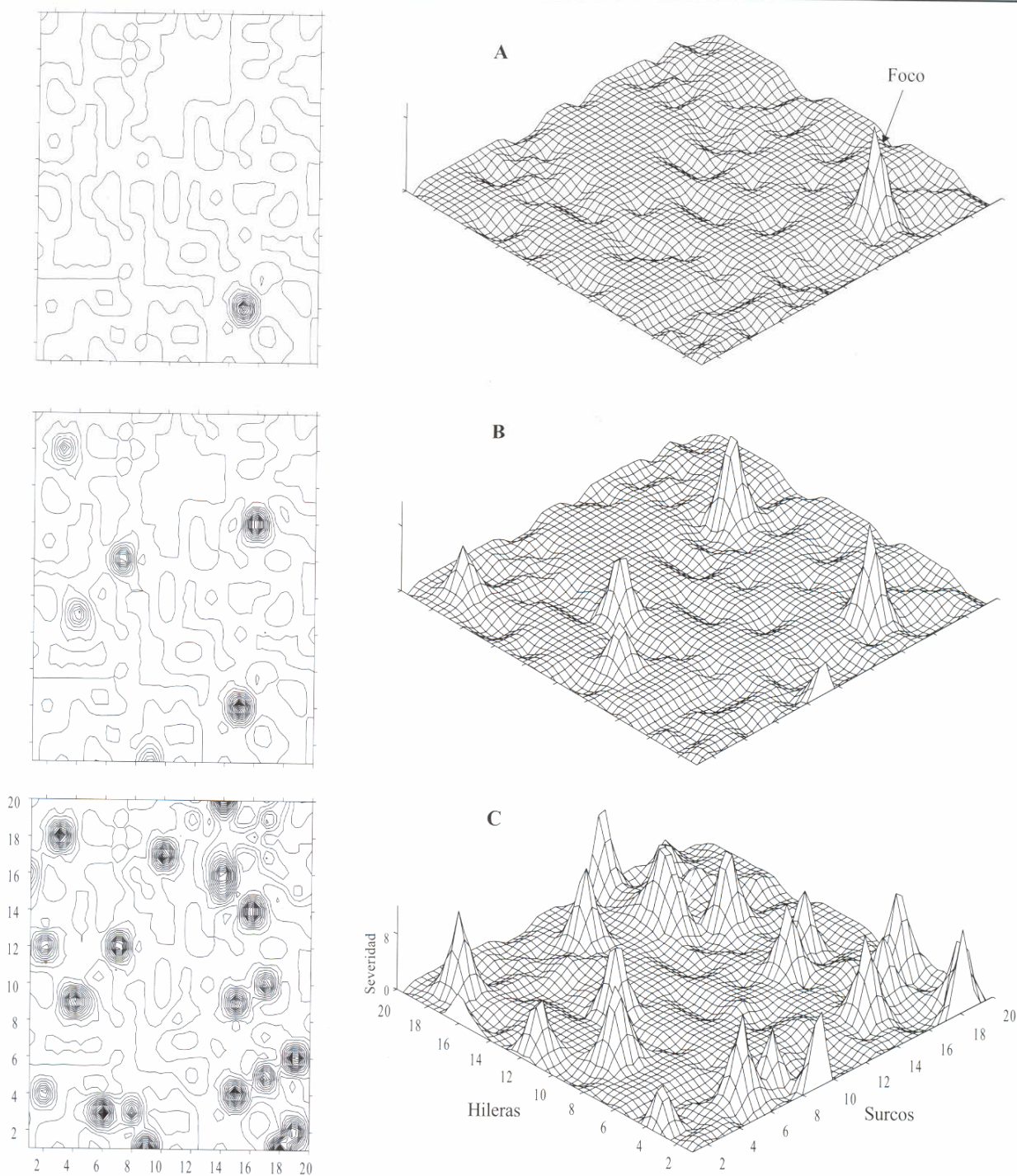


Fig. 3. Comportamiento espacial de la severidad del amarillamiento letal en cocotero (*Cocos nucifera*) en un bloque de 400 palmas en Sisal, Yucatán, México, durante julio (A) y diciembre (B) de 1999, y durante junio (C) del 2000. La severidad de la enfermedad (eje z) se midió con una adaptación de la escala de McCoy.

con los resultados de mapeo de los primeros 10 meses, y se explica que al principio son pocas las palmas que son infectivas, por lo que aún cuando la población del vector sea alta, sólo un bajo número de insectos vectores adquirirán y

transmitirán el patógeno. El patrón agregado que se presenta después (indicado por mapas geoestadísticos) sugiere que el patógeno está dispersándose de palma a palma dentro de la plantación, como consecuencia del incremento del número

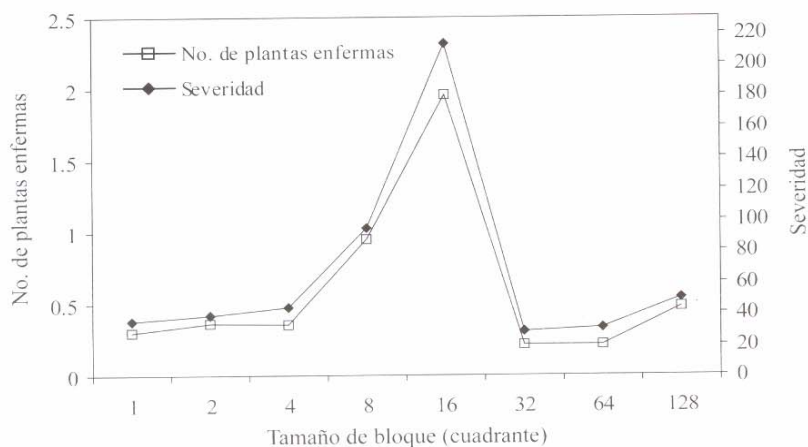


Fig. 4. Cuadrado medio calculado en diferentes tamaños de bloque o cuadrante con las variables: número de plantas enfermas y severidad por bloque, para el mes de abril del 2000. El tamaño óptimo de cuadrante está indicado por el valor más alto del cuadrado medio.

de vectores que han adquirido al patógeno. Esto se demuestra con la temporalidad de los grados de severidad de los focos, ya que éstos son de grados más temprano en relación con los focos más antiguos (Fig. 3). A medida que la incidencia de la enfermedad aumenta, el inóculo se incrementa y mayor número de vectores adquieren al patógeno, por lo que las inoculaciones en palmas sanas serán más probables. Estos resultados son los primeros para estudios de AL basados en este tipo de análisis, y muestran su utilidad en el conocimiento de la epidemiología de la enfermedad.

#### Patrones espaciales en el transecto Santa Clara Celestún.

El TOC para el cálculo de los índices de agregación en las 35 parcelas varió considerablemente, existiendo tamaños de 1, 2, 4, 8, 16, y 32, los cuales dieron como resultado diferentes tipos de patrón espacial (Cuadro 2). Debido a que el porcentaje de incidencia de la enfermedad varió considerablemente en las 35 parcelas evaluadas, el TOC se determinó para cada una de ellas. La existencia de diferentes tipos de patrones espaciales estuvo relacionada con el porcentaje de incidencia de la enfermedad en cada una de las parcelas (Cuadro 3). Estos resultados confirman lo encontrado en el bloque de 400 palmas, la existencia eventual de un patrón agregado. Lo anterior muestra que el AL forma agregados, pero éstos están relacionados con los niveles de incidencia

de la enfermedad y son dependientes de un proceso temporal, requiriéndose aproximadamente de un año para su conformación en Sisal, Yucatán, México. Los índices de agregación utilizados en este estudio son los más utilizados en epidemiología para analizar los patrones espaciales de diferentes enfermedades (Gottwald *et al.*, 1996; Hughes y Madden, 1998); sin embargo, la geoestadística emerge como una herramienta poderosa para analizar de manera cuantitativa la distribución de plantas enfermas en una plantación (Nelson *et al.*, 1999).

#### CONCLUSIONES

Los resultados indican que se justifica la erradicación de palmas enfermas individuales en la fase inicial de la epifitía y antes del inicio de formación de agregados. Sin embargo, dependiendo de la intensidad de agregación, los procedimientos de erradicación a nivel parcela y regional deben variar en intensidad y frecuencia. Los estudios espaciales de AL se han restringido al uso de mapas de distribución de plantas enfermas, sin análisis cuantitativos. Este estudio confirma cuantitativamente este aspecto y demuestra la existencia de determinado tipo de patrón espacial en función de los niveles de incidencia de la enfermedad. Estudios sobre distancias de dispersión dentro de parcela,

Cuadro 1. Índices de agregación de Morisita y Lloyd calculados con el número de plantas enfermas con amarillamiento letal en Sisal, Yucatán, México, en un tamaño óptimo de cuadrante de 16. Los valores se obtuvieron para cada mes de evaluación: julio y diciembre de 1999 y enero a junio del 2000.

Índice de agregación	1999		2000					
	Julio	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Morisita	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03
Lloyd	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03

Cuadro 2. Frecuencia de los tipos de patrón espacial encontrados en 35 parcelas para amarillamiento letal del cocotero (*Cocos nucifera*) en el transecto Santa Clara-Celestún, Yucatán, México, determinados con tamaños óptimos de cuadrante calculados con el método de Greig-Smith.

Tipo de patrón espacial	Tamaño óptimo de cuadrante					
	1	2	4	8	16	32
Agregado	0	1	2	1	4	3
Aleatorio o al azar	0	1	1	0	0	1
Uniforme	1	6	13	0	1	0
Total de parcelas	1	8	16	1	5	4

Cuadro 3. Frecuencia de los tipos de patrón espacial encontrados en 35 parcelas para amarillamiento letal del cocotero (*Cocos nucifera*) en el transecto Santa Clara-Celestún, Yucatán, México, en función de tres rangos de incidencia.

Incidencia (%)	Tipo de patrón espacial		
	Agregado	Aleatorio o al azar	Uniforme
0.1-20	7	1	5
21-79	4	2	3
80-100	0	0	13

tamaños de agregados y gradientes de dispersión, permitirán un mejor entendimiento de la epidemiología del AL y aportarán criterios para mejorar su control, particularmente en la erradicación de palmas enfermas.

**Agradecimientos.** Esta investigación fue financiada por el proyecto SISIERRA No. 980107 y 20000701020. Los autores expresan su agradecimiento a Oswaldo Pech y Juan Canché, por el apoyo brindado en campo, y a Ricardo Balam por la ayuda en la detección de los fitoplasmas por PCR. Así mismo reiteran su agradecimiento a la familia Camal Cauich por su apoyo durante nuestra estancia en Sisal.

**LITERATURA CITADA**

Beakbane, A., Slater, C., and Posnette, A. 1972. Mycoplasma in phloem of coconut *Cocos nucifera* L. with lethal yellowing disease. *Journal of Horticultural Science*. 47:265-267.

Campbell, C.L., and Madden, L.V. 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley and Sons. New York, USA. 532 p.

Cherry, R.H., and Howard, F.W. 1984. Sampling for adults of the planthopper *Myndus crudus*, a vector of lethal yellowing of palms. *Tropical Pest Management* 30:22-25.

Córdova-Lara, I.I. 2000. Estudio sobre la Distribución Intraplanta y Dispersión del Amarillamiento Letal en el Cocotero mediante el uso de la Reacción en Cadena de la Polimerasa. Tesis de Maestría en Ciencias y Biotecnología de Plantas. Centro de Investigación Científica de Yucatán

(CICY). Mérida, Yucatán, México. 59 p.

Dabek, A.J. 1975. The incubation period, rate of transmission and effect on growth of coconut lethal yellowing disease in Jamaica. *Phytopathologische Zeitschrift* 84:1-9.

FAOSTAT. 2000. Estadísticas de Producción de Cocotero de 1990-1999. Disponible en línea: <http://apps.fao.org>

García, M.E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climatológica de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a ed. UNAM. México, D.F. 217 p.

Góngora-Canul, C.C. 2000. Gradientes de Diseminación y Patrones Espaciales del Amarillamiento Letal en Cocotero (*Cocos nucifera* L.) en Yucatán y Campeche, México. Tesis Ing. Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 184 p.

Gottwald, T.R., Cambra, M., Moreno, P., Camarasa, E., and Piquer, J. 1996. Spatial and temporal analyses of citrus tristeza in Eastern Spain. *Phytopathology*. 86:45-55.

Greig-Smith, M.A. 1957. *Quantitative Plant Ecology*. Academic Press, New York, USA. 198 p.

Heinze, K., Schüiling, M., and Ronney, D. 1972. The possible cause of lethal yellowing disease of coconut. *FAO Plant Protection. Bulletin* 20:58-68.

Howard, F.W. 1995. Lethal yellowing vector studies. I. Methods of experimental transmission. pp. 43-57. In: C. Oropeza, F.W. Howard, and G.R. Ashburner (eds.). *Lethal Yellowing: Research and Practical Aspects*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 250 p.

Howard, F.W. 1999. Evaluation of dicotyledonous herbaceous plants as hosts of *Myndus crudus* (Homoptera: Auchenorrhyncha: Cixiidae). *Plantations Recherche Developpement* 6:95-99.

Hughes, G., and Madden, L.V. 1998. Comment-Using spatial and temporal patterns of *Armillaria* root disease to formulate management recommendations for Ontario's black spruce (*Picea mariana*) seed orchards. *Canadian Journal of Forest Research* 28:154-158.

Macías-Canales, P. 1997. Acciones y estrategias generales de la campaña nacional contra el amarillamiento letal del cocotero en México. pp. 133-148. En: C. Mendoza (ed.). Simposio "Plagas de Cultivos tropicales". Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, Edo. de México. 313 p.

McCoy, R.E. 1973. Effect of varios antibiotics on development of lethal yellowing in coconut palm. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 86:503-506.

McCoy, R.E., Howard, F.W., Tsai, J.H., Donselman, H.M., Thomas, D.L., Basham, H.G., Atilano, R.A., Eskafi, F.M., Britt, L., and Collins, M.E. 1983. Lethal Yellowing of Palms. *University of Florida Agricultural Experiment Stations Bulletin* 834. Gainesville, Florida, USA. 100 p.

McCoy, R.E., Norris, R.C., Vieyra, G., and Delgado, S.G.



1982. Lethal Yellowing Disease of Coconut Palms. FAO Plant Protection Bulletin 30:79-80.
- Nelson, M.R., Orum, T.V., Jaime-Garcia, R., and Nadeem, A. 1999. Application of geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and management. Plant Disease 83:308-319.
- Piña-Quijano, P.E. 1993. Estudio Poblacional de *Myndus crudus* Van Duzee (*Homoptera: Cixiidae*) Vector del Amarillamiento Letal del Cocotero en el Estado de Yucatán. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Mérida, Yucatán, México. 76 p.
- Plavsic-Banjac, B., Hunt, P., and Maramorosch, K. 1972. Mycoplasma-like bodies associated with lethal yellowing disease of coconut palms. Phytopathology 62:298-299.
- Robert, M., Loyola, V.M., and Zizumbo, D. 1991. Lethal Yellowing in Mexico. Bulletin BuroTrop (Bureau for the Development of Research on Tropical Perennial Oil Crops) 1:13-15.