

Análisis y comparación de las curvas de desarrollo y la distribución espacial del síndrome del anillo rojo/hoja pequeña (*Bursaphelenchus cocophillus* Cobb), y la pudrición basal corchosa (*Ustulina deusta* (Hoffm. Ex Fr.) en palma aceitera

Rony Barbosa¹ y Carlos Chinchilla²

Resumen

Se estudió el comportamiento epidemiológico de dos enfermedades (el anillo rojo y la pudrición basal corchosa) en dos plantaciones de palma aceitera en Costa Rica (Coto y Quepos en la costa Pacífica), y una en la costa Atlántica en Honduras. Los datos de incidencia fueron ajustados utilizando las ecuaciones monomolecular, logística y Gompertz. En Honduras, el síntoma prevalente causado por el nematodo *Bursaphelenchus cocophilus* es conocido como hoja pequeña (forma crónica de la enfermedad), mientras que en Costa Rica, los síntomas clásicos (forma aguda que causa la muerte de la palma en pocos meses) son más comunes. En Honduras, el progreso de la enfermedad en el tiempo fue descrito satisfactoriamente con el modelo monomolecular (R^2 : 0.82-0.99), mientras que en Costa Rica, la ecuación de Gompertz permitió un mejor ajuste de los datos (R^2 : 0.79-0.98).

La interacción genotipo/ambiente/patógeno que determina las diferencias en sintomatología del anillo rojo (hoja pequeña vs. síntomas clásicos), no ha sido explicada satisfactoriamente, pero las diferencias en el comportamiento epidemiológico (enfermedad de ciclo simple vs. de ciclo múltiple) pueden ser parcialmente entendidas considerando el comportamiento del insecto vector (*Rhynchophorus palmarum*), y la habilidad de la palma de "regular" la multiplicación del nematodo en el tejido.

En el caso de la pudrición basal corchosa asociada al hongo *Ustulina deusta*, el modelo monomolecular dio el mejor ajuste (R^2 : 0.87-0.98) en todas las localidades.

La aplicación de los principios de la geoestadística a estos datos permitió obtener un buen estimado del tipo y los cambios en la dependencia espacial, y la estructura de las enfermedades en un plantación de palma aceitera. Los variogramas experimentales para los datos sobre incidencia del anillo rojo parecen ser anisotrópicos, e indican que las palmas afectadas estaban fuertemente agregadas. En el caso de la pudrición basal corchosa, los variogramas (isotrópicos) también indican una fuerte agregación de palmas afectadas. Los modelos esféricos y exponenciales fueron los que mejor se ajustaron a los datos en cada enfermedad respectivamente.

¹ Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, CIGRAS; 2. Consultor para ASD, cmlchinchilla@asd-cr.com

Introducción

Cuando se registra el cambio en la incidencia en el tiempo de una enfermedad en una población de plantas, las tendencias se pueden expresar por medio de una curva de desarrollo de la enfermedad. Esta es una estrategia útil para estudiar las epifitias, ya que dicha curva integra los efectos del hospedero, del patógeno y del ambiente que ocurren durante la epifitia. El análisis de la curva de incremento de incidencia en el tiempo permite conocer mejor la enfermedad, y desarrollar formas más eficientes de control (Van der Plank 1963, Madden 1980, Campbell y Madden 1990).

La descripción del progreso de una enfermedad en el tiempo puede dividirse en dos categorías con significado biológico: patógenos con una multiplicación efectiva del inóculo (enfermedades policíclicas), y patógenos sin una multiplicación efectiva del inóculo (enfermedades monocíclicas) durante una estación o ciclo del cultivo. Van der Plank (1963) propuso los modelos logístico y monomolecular para describir las enfermedades policíclicas y monocíclicas respectivamente. No obstante, al extenderse este concepto indiscriminadamente pueden cometerse errores: a) utilizar el modelo logístico solo para enfermedades foliares, y el monomolecular para enfermedades de las raíces, y b) llegar a conclusiones acerca de la naturaleza del patosistema basándose en cual modelo ajusta mejor los datos (Pfender 1982, Campbell y Madden 1990).

Una herramienta para describir el patrón de distribución espacial de una enfermedad es la geoestadística, la cual es un método de análisis espacial que considera la posición de la muestra. La geoestadística se basa en la teoría de las variables regionalizadas, y la única premisa que requiere es que la varianza de la diferencia entre muestras sea una función de la distancia que las separa. La variabilidad espacial se mide al determinar el promedio de los valores de las diferencias al cuadrado entre parejas de muestras separadas por una distancia dada.

La geoestadística fue introducida por los geólogos para cuantificar la dependencia espacial (autocorrelación) de yacimientos de oro, y ha sido aplicada en agroforestería, agronomía, entomología y fitopatología (Burgess et al. 1981, Chellemi et al. 1988, Delaville et al. 1996, Lecoustre y Reffye 1986, Schotzko y O'Keeffe 1990, van de Lande 1993, Webster y Boag 1992).

La pudrición basal corchosa (PBC) es causada por el hongo *Ustilina deusta* (Hoffm. ex. Fr.) Lind (Martín 1970, C. M.I. 1972) y fue descrita por Thompson (1963) en Malasia. Aún cuando las pudriciones en la base del tronco pueden ser bastante extensivas, normalmente no es posible detectar síntomas externos visibles en el follaje o efectos claros negativos en la producción. En algunas plantas, las hojas más jóvenes son amarillentas y ocurre una quebradura de los peciolos de las hojas más viejas. Eventualmente aparecen los esporocarpos en la base del tronco, y éste es normalmente el criterio más utilizado para diagnosticar la enfermedad (Turner 1981, Chinchilla y Richardson, 1988).

La enfermedad progresa más rápidamente en palmas entre los 9 y 11 años de edad, y no se han encontrado palmas enfermas antes de los seis años en Centroamérica (Umaña y Chinchilla 1991) y cuatro años en Malasia (Thompson 1963).

El síndrome del anillo rojo/hoja pequeña (AR/HP) en palma aceitera fue el mayor problema fitosanitario de este cultivo en Centro América, pero un efectivo manejo integrado logró reducir significativamente la incidencia. El manejo incluye la reducción de las fuentes de inóculo del nematodo agente causal (*Bursaphelenchus cocophyllus* Cobb.) y de la población de insecto vector, *Rhynchophorus palmarum* (Oehlschlager et al. 2002, Chinchilla 2003). El papel de otros vectores o medios de transmisión como la poda o a través del suelo se considera que no ocurre o tiene poca importancia práctica (Bulgarelli et al.1998, Fenwick 1968, Schuiling y van Dinther 1981).

La manifestación aguda o clásica de la enfermedad incluye un ‘amarillamiento’ y secamiento de las hojas que progresa de las más viejas hacia las más jóvenes. Las hojas más jóvenes, además de presentar un color verde pálido, pueden ser de menor longitud. Al seccionar el tronco, puede aparecer cerca de la periferia, un anillo de tejido de color pardo, crema o rosado de pocos centímetros de grosor. El tejido descolorido puede o no formar un anillo, y en algunas ocasiones pueden aparecer simples manchas distribuidas sin patrón claro en el tronco. La variación en sintomatología de esta enfermedad fue descrita por Chinchilla (1992). A este tipo de sintomatología se le ha llamado aguda, ya que las palmas afectadas pueden morir en 2-3 meses.

Otro tipo de sintomatología ha sido descrito como hoja pequeña, la cual constituye una infección crónica, en donde el nematodo aparentemente falla en establecerse en forma definitiva en toda la planta, y queda localizado cerca del tejido meristemático del cogollo, en donde se alimenta de las hojas más tiernas en la fase de elongación. Las plantas así afectadas normalmente no mueren, y pueden permanecer por años con síntomas, cuando todas las hojas son cortas y deformadas, y cesa la producción de racimos.

Aunque la enfermedad del AR/HP puede ser manejada eficientemente, siempre constituye una amenaza real a la industria de la palma aceitera en América tropical, por lo cual se ha considerado importante el análisis de algunas de las epidemias que ocurrieron previo al desarrollo de los métodos de control actuales. La información es útil para entender el comportamiento de la enfermedad, y lograr una mejor planificación en el uso de las estrategias actuales de control. En el caso de la PBC no existen datos sobre su comportamiento epidemiológico en Centro América, en donde puede ser importante en algunas situaciones (Chinchilla y Richardson 1998).

Metodologías

Las tres plantaciones estudiadas (una en la costa Atlántica de Honduras y dos en la costa Pacífica de Costa Rica), están divididas en lotes de cosecha de tamaño variable (30-60 ha normalmente). Estos lotes fueron visitados en forma mensual para registrar la incidencia de los diferentes problemas fitosanitarios. En este estudio se tomaron en cuenta únicamente los datos obtenidos entre 1986 y 1992 en lotes adultos. Según la edad de cada lote y el momento de inicio de la epidemia, se obtuvieron datos de dos y hasta seis años consecutivos. Debido a la falta de datos confiables anteriores a 1986, no fue posible determinar con certeza la fecha de inicio de la epidemia en algunos lotes particulares.

Mediante visitas mensuales se determinó la incidencia de la enfermedad, y se ubicó cada palma enferma en un mapa en donde se detallaba cada hilera y la posición de la palma afectada en la hilera. Para el caso de la enfermedad del AR/HP se consideraron 25 lotes en Honduras y 78 en Costa Rica. En el caso de la PBC se evaluaron 10 lotes en cada localidad.

Debido a que en ningún caso la incidencia abarcó el total de las plantas del lote, se estableció para cada enfermedad una incidencia máxima (K), para evitar de esta forma una subestimación de la misma (Neher y Campbell 1992).

Análisis de los datos

La incidencia se calculó como la proporción del número de plantas enfermas entre el número de plantas sanas (número total de plantas menos el número de plantas enfermas en la evaluación anterior, para obviar el efecto de la erradicación de las plantas enfermas). Con los datos de incidencia se calcularon las tasas de desarrollo de la enfermedad utilizando las siguientes ecuaciones:

Monomolecular

$$\ln\left(\frac{k}{k-y}\right) = \ln\left(\frac{k}{k-y_0}\right) + r_M t$$

Logística

$$\ln\left(\frac{y}{k-y}\right) = \ln\left(\frac{y_0}{k-y_0}\right) + r_L t$$

Gompertz

$$-\ln\left(-\ln\frac{y}{k}\right) = -\ln\left(-\ln\frac{y_0}{k}\right) + r_G t$$

Para el análisis de regresión se utilizó el programa Statgraphics. La selección del modelo más apropiado se realizó utilizando la distribución de los residuales, el coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de los estimados (S_y , que corresponde a la raíz cuadrada de la suma de cuadrados del error, entre $n-2$). Los modelos seleccionados fueron aquellos con la distribución más homogénea de los residuales, el más alto R^2 y el más bajo S_y . Los diferentes lotes y localidades (plantaciones) fueron comparados luego de estandarizar las curvas de desarrollo de la enfermedad mediante la siguiente ecuación:

$$r_s = \frac{p(2m-2)}{k}$$

En donde m es un parámetro de forma (0,1 y 2 para las ecuaciones monomolecular, Gompertz y logístico), K es la incidencia máxima, y P es la tasa de desarrollo calculada (sin estandarizar). El análisis de los variogramas experimentales y su ajuste a los diferentes modelos se realizó en GS+ (Gamma Design Software).

Resultados y discusión

Comportamiento epidemiológico de la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña

En Honduras, en donde predominaba por mucho el síntoma de la hoja pequeña, la ecuación que mejor se ajustó a los datos de cambio de incidencia en el tiempo fue la monomolecular (Cuadros 1 y 2). Solamente en uno de los lotes, los datos no pudieron ser adecuadamente ajustados con esta ecuación. Del resto de los lotes (96%), el 21% tenía una incidencia menor al 1%, 50% entre el 1 y 5%, y el resto (29% de los lotes), presentaban una incidencia mayor al 5%.

Cuadro 1. Número y porcentaje de lotes de cosecha en donde las curvas de progreso de las enfermedades del anillo rojo y la pudrición basal corchosa fueron ajustadas con alguna de tres ecuaciones matemáticas en Centro América

Enfermedad	Lugar	Número y % de lotes en donde se obtuvo un mejor ajuste a cada ecuación		
		Monomolecular	Logístico	Gompertz
Pudrición basal corchosa	Honduras	6 (60%)	1 (10%)	3 (30%)
	Quepos (Costa Rica)	5 (50%)	2 (20%)	3 (30%)
Anillo rojo	Honduras	24 (96%)	0	1 (4%)
	Coto (Costa Rica)	6 (8%)	29 (37%)	43 (55%)

La situación en Costa Rica, en donde predominaba el síntoma clásico o agudo de la enfermedad, el modelo de mejor ajuste fue el Gompertz (Cuadros 1 y 3). Del 55% de los lotes que se ajustaron a este modelo, el 35% tenía una incidencia menor al 0.5%, un 23% entre uno y cinco por ciento, y un 42% mayor al 5%.

Un comportamiento epidemiológico tan diferente de un mismo patógeno no es frecuente, pero puede ser explicado considerando los hábitos del insecto vector y la habilidad de la planta de permitir o no la invasión sistémica del patógeno en todos sus tejidos. En el caso de la sintomatología de la hoja pequeña, la planta parece tener la habilidad de confinar al nematodo en los tejidos de las hojas en rápida expansión dentro del cogollo. En esta situación no se encuentran nematodos en el tronco, y en el caso que aparecen, las poblaciones son bajas y no parecen saludables (poco activos). Dado que este síntoma apareció prácticamente en todas las plantas afectadas en Honduras (costa Atlántica) y fue menos frecuente en Costa Rica (costa

Pacífica), se podría pensar que existen factores ambientales no determinados que podrían determinar la habilidad de la planta a limitar la invasión de nematodo en sus tejidos.

Cuadro 2. Tasa de crecimiento ajustada con la ecuación monomolecular para la enfermedad de la hoja pequeña (*Bursaphelenchus cocophyllus*) en una plantación de palma aceitera en la costa Atlántica de Honduras

Lote de cosecha	Siembra	Periodo	Incidencia inicial	Incidencia final	Tasa de crecimiento $\times 10^{-6}$
1	1982	Jan 90 - Oct 92	0.06	0.77	1.80
2	1982	Feb 90 - Oct 92	0.04	0.81	2.02
3	1980	Jan 90 - Oct 92	0.11	0.85	1.95
4	1979	Jan 90 - Oct 92	0.16	0.88	2.06
5	1979	Jan 90 - Oct 92	0.11	0.99	2.23
6	1978	Jan 90 - Oct 92	0.08	1.43	2.62
7	1980	Feb 90 - Oct 92	0.29	1.44	2.90
8	1980	Jan 90 - Oct 92	0.10	1.53	3.57
9	1975	Feb 90 - Oct 92	0.18	1.85	4.41
10	1982	Jan 90 - Oct 92	0.14	1.93	5.12
11	1971	Feb 90 - Oct 92	0.47	2.55	5.68
12	1976	Feb 90 - Oct 92	0.32	2.63	6.36
13	1971	Feb 90 - Oct 92	0.90	3.14	7.01
14	1971	Feb 90 - Oct 92	0.24	4.12	11.90
15	1969	Feb 90 - Oct 92	0.75	4.17	12.50
16	1971	Feb 90 - Oct 92	0.46	4.60	13.80
17	1974	Mar 90 - Oct 92	1.13	4.79	13.10
18	1975	Feb 90 - Oct 92	1.04	5.26	15.30
19	1973	Jan 90 - Oct 92	0.33	5.42	19.40
20	1971	Feb 90 - Oct 92	0.59	5.67	18.60
21	1971	Feb 90 - Oct 92	1.14	6.09	18.80
22	1973	Mar 90 - Oct 92	1.42	6.35	20.10
23	1974	Mar 90 - Oct 92	1.02	6.85	25.00
24	1976	Mar 90 - Oct 92	0.82	7.23	30.30

La característica más importante de la sintomatología de la hoja pequeña que puede estar afectando en mayor grado el comportamiento epidemiológico de la enfermedad, es la habilidad de la planta de "soportar" la invasión confinando las mayores poblaciones del nematodo en el cogollo, y previniendo la aparición de pudriciones tanto en esta región como en el tronco. Esto hace que la planta sea poco atractiva al insecto vector, que es particularmente atraído por los

Cuadro 3. Tasa de crecimiento ajustada con la ecuación de Gompertz para el síndrome del anillo rojo/hoja pequeña en palma aceitera en la costa Pacífica de Costa Rica

Lote de cosecha	Siembra	Periodo	Incidencia inicial	Incidencia final	Tasa de crecimiento $\times 10^{-6}$
1	1984	Feb 91 - Dec 92	0.02	0.409	9.93
2	1984	Sep 90 - Dec 92	0.06	0.465	4.93
3	1984	Oct 90 - Dec 92	0.01	0.477	9.73
4	1984	Aug 90 - Dec 92	0.01	0.517	7.38
5	1983	Oct 90 - Dec 92	0.03	0.555	7.06
6	1983	Jul 90 - Dec 92	0.06	0.596	5.75
7	1983	Jul 90 - Dec 92	0.11	0.646	4.54
8	1984	Aug 90 - Dec 92	0.10	0.670	4.78
9	1984	Sep 90 - Dec 92	0.20	0.841	4.61
10	1983	Jul 90 - Dec 92	0.12	0.842	6.17
11	1984	Aug 90 - Dec 92	0.09	0.845	6.30
12	1983	Jun 90 - Dec 92	0.09	0.866	5.51
13	1984	Aug 90 - Dec 92	0.01	0.874	7.59
14	1984	Aug 90 - Dec 92	0.05	0.912	7.06
15	1983	Jul 90 - Dec 92	0.04	0.917	6.17
16	1983	Jul 90 - Dec 92	0.17	1.195	5.94
17	1983	Jul 90 - Dec 92	0.15	1.328	6.59
18	1983	Aug 90 - Dec 92	0.04	2.238	12.10
19	1983	Aug 90 - Dec 92	0.08	2.482	11.80
20	1976	Jsn 90 - Dec 92	0.67	3.130	6.28
21	1984	Srp 90 - Dec 92	0.09	3.237	13.70
22	1983	Sep 90 - Dec 92	0.11	3.336	14.40
23	1983	Aug 90 - Dec 92	0.08	3.591	14.20
24	1975	Jsn 90 - Dec 92	1.11	4.078	5.65
25	1976	Dec 89 - Dec 92	0.75	4.266	6.68
26	1976	Dec 89 - Dec 92	0.87	4.729	6.64
27	1977	Abr 90 - Dec 92	0.27	5.008	11.30
28	1983	Sep 90 - Dec 92	0.03	5.956	18.40

29	1983	Sep 90 - Dec 92	0.08	7.759	19.00
30	1977	Mar 90 - Dec 92	0.20	7.837	11.90
31	1977	Mar 90 - Dec 92	0.52	8.930	11.80
32	1977	Abr 90 - Dec 92	1.03	9.440	10.60
33	1977	Abr 90 - Dec 92	0.60	9.567	12.70
34	1976	Feb 91 - Dec 92	0.34	10.096	14.50
35	1976	Mar 90 - Dec 92	0.47	12.411	16.40
36	1969	Sep 90 - Dec 92	0.54	15.975	15.30
37	1977	Feb 91 - Dec 92	0.87	16.068	16.70
38	1971	Feb 91 - Dec 92	1.09	18.421	16.70
39	1969	Sep 90 - Dec 92	1.36	22.040	14.60
40	1968	Jan 90 - Dec 92	2.40	28.810	21.50
41	1968	Jan 90 - Dec 92	3.37	31.044	19.50
42	1968	Jan 90 - Dec 92	2.44	34.647	25.70
43	1971	Feb 91 - Dec 92	0.71	36.510	26.50
44	1968	Oct 90 - Dec 92	3.49	54.723	61.10

volátiles emanados del tejido en pudrición de las palmáceas. De hecho, no es común encontrar insectos adultos o larvas en las palmas con los síntomas únicos de hoja pequeña, y a esto también se debe a que las plantas afectadas no mueran y puedan permanecer mostrando síntomas aún por años (Chinchilla 1992).

El resultado final de todo esto es una tasa de diseminación de la enfermedad más lenta, que depende en mucho de la población inicial del vector contaminada con el nematodo, la cual era particularmente alta en Honduras en la plantación en estudio (Chinchilla et al. 1991). La conducta agregada de la población de *R. palmarum* (Oehlschlager et al. 1995) también es un elemento que contribuye en determinar el comportamiento epidemiológico de la enfermedad. Los resultados del análisis utilizando la herramienta de la geoestadística corroboraron la distribución agregada de las palmas enfermas (Cuadro 4).

En estas condiciones es normal que el comportamiento de la epidemia se ajuste al modelo monomolecular. La capacidad de una planta enferma de infectar a las vecinas depende de que eventualmente sea visitada por un insecto vector, y esta posibilidad se reduce debido a la falta de pudriciones que lo atraigan y permitan su multiplicación en la palma enferma.

Cuadro 4. Análisis geoestadístico para la incidencia de las enfermedades de la hoja pequeña (*Bursaphelenchus cocophillus*) y la pudrición basal por *Ustulina deusta* en palma aceitera en la costa Atlántica de Honduras

Parámetro	Ecuación de mejor ajuste	
	Hoja pequeña Spherical	Basal corchosa Exponential
<i>Spatial discontinuity variance</i>	2.1	1.2
<i>Umbral (Co+C)</i>	4.48	0.33
<i>Range</i>	10.03	3.55
R^2	0.58	0.28

La situación fue bastante diferente en las plantaciones en donde el síntoma de la enfermedad que prevaleció fue el clásico o agudo. En esta situación el nematodo invade la mayoría de los tejidos de la planta, sin que aparentemente pueda ser limitado en su avance. El resultado final es la muerte de la planta en pocos meses, después de que ocurre un deterioro generalizado en la región del cogollo. Las extensivas pudriciones se asocian con la llegada de más vectores, y el desarrollo de muchas larvas que aumentan el daño. De esta forma, muchos vectores potenciales abandonan la planta e infectan muchas plantas alrededor, ocasionando una epidemia con las características descritas por un modelo policíclico (ajuste a la ecuación de Gompertz).

La pudrición basal corchosa (*Ustulina deusta*)

Como es común para los patógenos que atacan el sistema radical en árboles, el comportamiento epidemiológico de esta enfermedad se ajustó al modelo monomolecular en las tres plantaciones de palma aceitera estudiadas (Cuadros 5 y 6). La cantidad de inóculo en el suelo (normalmente asociado a troncos en descomposición en el caso de *Ustulina* es el factor que determina el porcentaje inicial de plantas enfermas (Zadoks, Schien 1979, Pfender 1982). El uso de la geoestadística corroboró la distribución agregada de las palmas enfermas (Cuadro 4).

Cuadro 5. Tasa de crecimiento ajustada con la ecuación monomolecular para la pudrición basal corchosa (*Ustulina deusta*) en palma aceitera en la costa Atlántica de Honduras.

Lote de cosecha	Material	Siembra	Periodo	Incidencia inicial y_i	Incidencia final y_f	Tasa de crecimiento $\times 10^6$
1	Deli x AVROS	1982	Jun 90 - Sep 93	0.009	0.169	0.65
2	Deli x Yangambi	1980	Feb 89 - Sep 93	0.008	0.190	0.60
3	Deli x AVROS	1969	Mar 89 - Oct 92	0.059	0.381	1.13
4	Deli x AVROS	1980	Nov 89 - Sep 93	0.087	.0.530	1.47
5	Deli x AVROS	1979	Jul 86 - Nov 93	0.016	0.659	1.60
6	Deli x AVROS	1978	Aug 86 - Jun 93	0.087	1.445	3.40

Cuadro 6. Tasa de crecimiento ajustada con la ecuación monomolecular para la pudrición basal corchosa (*Ustulina deusta*) en palma aceitera en la costa Pacífica de Costa Rica

Lote de cosecha	Material	Siembra	Periodo	Incidencia inicial y_i	Incidencia final y_f	Tasa de crecimiento $\times 10^6$
1	Deli x AVROS	1981	Mar 89 - Aug 91	0.012	0.194	1.21
2	Deli x AVROS	1976	Mar 89 - Jul 91	0.012	0.273	1.76
3	Deli x AVROS	1976	Feb 89 - Nov 91	0.009	0.278	1.42
4	Deli x AVROS	1981	Mar 89 - Oct 91	0.024	0.347	1.56
5	Deli x AVROS	1976	Mar 89 - Nov 91	0.043	0.391	1.33

Literatura

- Bulgarelli, J; Chinchilla, CM; Oehlschlager, C. 1998. The little leaf/red ring syndrome and *Metamasius hemipterus* captures in oil palm in Costa Rica. ASD Oil Palm Papers, 18: 17-24.
- Campbell, C.L.; Madden, L.V. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Willey and Sons, New York. 532 p.
- Campbell, C.L.; Noe, J.P. 1985. The spatial analysis of soilborne pathogens and root diseases. Ann. Rev. Phytopathology, 78(2): 129-148.
- Chellemi, D.O.; Rohrbach, K.G.; Yost, R.S.; Sonoda, R.M. 1988. Analysis of the spatial pattern of plant pathogens and diseased plants using geostatistics. Phytopathology, 78(2): 221-226.
- Chinchilla, CM; Richardson, DL. 1988. Four potentially destructive diseases in Central America. In Oil Palm/Palm Oil Conferences. Agriculture. (1987, Kuala Lumpur, MY), Proc. PORIM. p. 468-470.
- Chinchilla, CM; Menjivar, R.; Arias, E. 1991. El picudo de la palma y la enfermedad del anillo rojo-hoja pequeña en una plantación comercial de palma aceitera en Honduras. Turrialba 40(4): 471-477.
- Chinchilla, CM. 1992. El síndrome del anillo rojo-hoja pequeña en palma aceitera y cocotero. Palmas (Colombia), 13(1): 33-56.
- Chinchilla, CM; Oehlschlager, AC; González, LM. 1993. Management of the red ring disease in oil palm through pheromone-based trapping of *Rhynchophorus palmarum*). In

- International Palm Oil Congress. Agriculture. (1993, Kuala Lumpur, MY). Proceedings. PORIM. p. 428-441.
- Chinchilla, C.M. 2003. Integrated management of phytosanitary problems in oil palm in Central America. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 67: 69-82.
- C.M.I. 1972. Description of pathogenic fungi and bacteria. *Ustulina deusta* , No. 360. Eastern Press, London.
- Mexzón, RG; Chinchilla, CM; Castrillo, G; Salamanca, D. 1994. Biología y hábitos de *Rhynchophorus palmarum* asociado a palma aceitera en Costa Rica. *ASD Oil Palm Papers (CR)* 8: 14-21.
- Morales, JL.; Chinchilla, CM. 1991. El picudo de la palma aceitera y la enfermedad del anillo rojo-hoja pequeña en una plantación comercial de palma aceitera en Costa Rica. *Turrialba*, 40(4): 478-485.
- Oehlschlager, AC; McDonalds, RS; Chinchilla, CM; Patschke, SN. 1995. Influence of a pheromone-based mass trapping system on the distribution of *Rhynchophorus palmarum* in oil palm. *Environmental Entomology* 24(5): 1005-1012.
- Oehlschlager, A.C.; Chinchilla, C.; Castrillo, G.; González, L. 2002. Control of red ring disease by mass trapping of *Rhynchophorus palmarum* . *Florida Entomologist* 85(3): 507-513.
- Turner, PD. 1981. *Oil Palm Diseases and Disorders*. The Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur (MY). 280 p.
- Umaña, C.; Chinchilla, C. 1991. Corky base rot of oil palm caused by *Ustulina deusta* in Central America. XXXI Reunión Annual de la Sociedad Americana de Fitopatología, División del Caribe, San José, Costa Rica.
- Van der Plank, J.E. 1963. *Plant Diseases: epidemics and control*. Academic Press, New York. 349 p.
- Webster, R.; Boag, B. 1992. Geostatistical analysis of cyst nematodes in soil. *Journal of Soil Science*, 43: 583-585.
- Zadoks, J.C.; Schein, R.D. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford University Press, New York. 427 p.