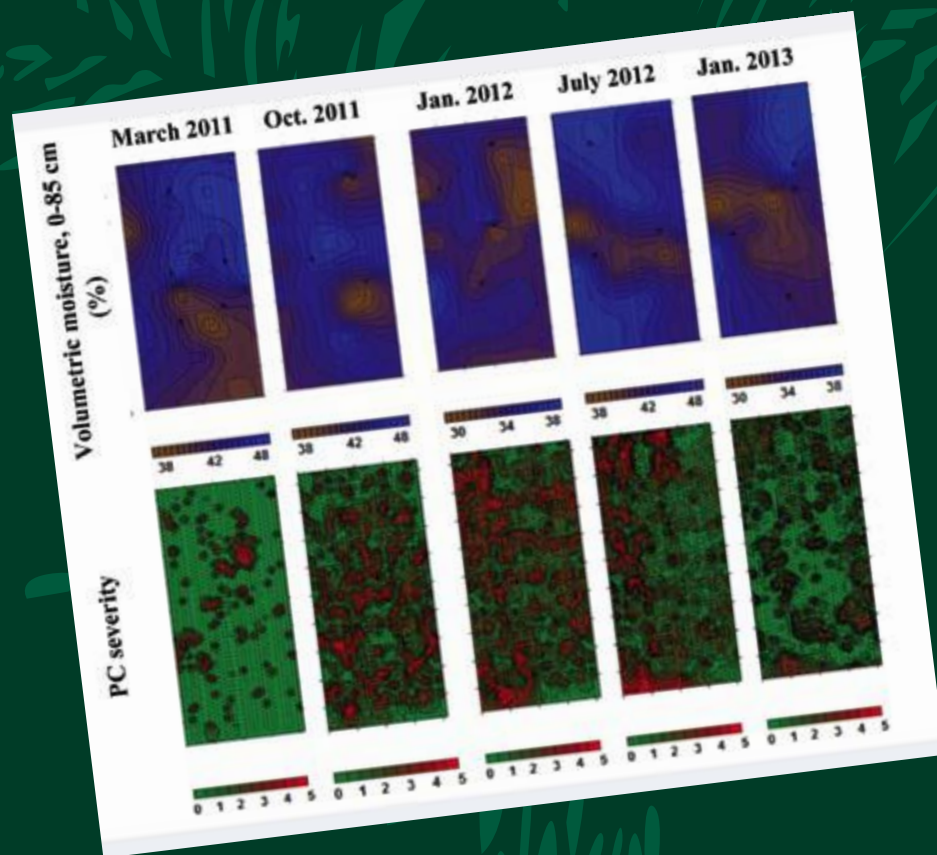




ISSN
1019-1100

NUMBER 43, 2014

ASD OIL PALM PAPERS



“ASD OIL PALM PAPERS”
IS A BIENNIAL PUBLICATION OF
ASD COSTA RICA
(Agricultural Services and Development)

Number 43

2014

EDITOR: Carlos Chinchilla
EDITORIAL BOARD: Amancio Alvarado,
Francisco Peralta, Ricardo Escobar.

MAILING ADDRESS

ASD OIL PALM PAPERS
ASD Costa Rica
P.O. Box 30-1000, San José, Costa Rica
Ph.(506) 2284-1120, Fax (506) 2257-2667
E-mail: sales@asd-cr.com
Web site: <http://www.asd-cr.com>

CONTENT

1. *Características del suelo, desarrollo radical e incidencia de PC (pudrición del cogollo) en palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.)*
12. Soil characteristics, root development and spear rot incidence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)
Torres Joaquín, Gutiérrez Marco, Chinchilla Carlos, Mata Rafael
23. *Abundancia de vertebrados en plantaciones de palma aceitera (Elaeis guineensis) en el Pacífico sur de Costa Rica, según el paisaje y condiciones del sitio*
31. Vertebrate abundance in oil palm (*Elaeis guineensis*) plantations in the southern Pacific of Costa Rica, according to landscape and site conditions
J. Manuel Aranda C., Francisco Morazán F., Diego R. Gutiérrez S., Randall Jiménez E., Anna G. Arévalo H., Natalia Díaz G., Diana Burbano, Hernán L. Coello, Luis F. Guerra, Celín Guevara, Viviana Narváez, Alberto Rico U., Javier E. Cortés S., Henrik Reinke, Lorena Lobos.

Cover page

Distribución y severidad de la PC a través de tiempo según los cambios de la humedad volumétrica del suelo en los primeros 85 cm del perfil.

Distribution and severity of PC over time according to changes in soil volumetric water content in the first 85 cm of the profile.

Características del suelo, desarrollo radical e incidencia de PC (pudrición del cogollo) en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Torres Joaquín¹, Gutiérrez Marco², Chinchilla Carlos³, Mata Rafael⁴

Resumen

La pudrición del cogollo (PC) es un trastorno dinámico de etiología compleja que afecta el desarrollo y la fisiología de la palma aceitera. Los síntomas distintivos ('amarillamiento', secamiento y pudriciones) se presentan en las hojas jóvenes y en los tejidos cercanos al meristemo. Altas precipitaciones pluviales seguidas de periodos anormalmente secos se han asociado con la pérdida del sistema radical fino y la presencia de los síntomas de la PC. La incidencia y severidad está determinada por la genética de la planta y varios factores ambientales que parecen predisponer a las palmas al síndrome. En el área de estudio en Costa Rica, la enfermedad era más frecuente y severa en suelos saturados de humedad (hipoxia) con condiciones edáficas marginales (Fine, Typic epiaquept y Fine, Aeric endoaquept). Cuando la humedad volumétrica en el suelo fue mayor que 40 %, se observó un deterioro del sistema radical fino y alteraciones nutricionales, que incluían las relaciones: Ca:K, Ca:Mg, Mg:K, K:N y Fe:Mn.

Una baja densidad de raíces, particularmente las de tercer y cuarto orden y alta humedad volumétrica del suelo son indicadores de 'predisposición' que puede conducir a un síndrome como la PC. La respuesta fisiológica a la PC fue seguida en un estudio paralelo al efecto de las condiciones de suelo (en prensa), y permitió identificar otros factores morfo-fisiológicos (PxS y conductividad estomática) que también pueden indicar predisposición al trastorno.

Los resultados apoyan la idea de que el manejo de un trastorno como la PC en palma aceitera debe incluir necesariamente, además de la siembra de genotipos tolerantes, un cuidado particular de las prácticas agronómicas que tengan en cuenta las condiciones climáticas de la región, la aeración del suelo y la nutrición según la química del suelo, y que respete la biodiversidad en el mismo. La recuperación del síndrome debe estar enfocada no a la parte aérea de la planta, sino a la regeneración y mantenimiento de un sistema radical sano.

Palabras clave: PC, raíces, suelos

¹ ASD de Costa Rica, j.torresq@asd-cr.com

² EEFB, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica, surdo26@racsa.co.cr

³ Consultor para ASD, cmlchinchilla@gmail.com

⁴ CIA, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica.

Introducción

La condición conocida localmente como ‘flecha seca’ en Costa Rica es similar a la llamada ‘pudrición del cogollo’ o ‘PC’ en Suramérica (Franqueville 2001, Corley y Tinker 2003). En Costa Rica, la gran mayoría de las palmas afectadas recuperan el desarrollo vegetativo y la producción, luego de un periodo de recuperación, cuya duración depende en buena parte de las mejoras agronómicas hechas antes y después de la aparición del problema. (Chinchilla y Durán 1998, Chinchilla 2010).

La etiología de la PC es compleja y los intentos por asociarla con un único agente patogénico no han dado resultados concluyentes y tampoco han contribuido al manejo del problema. En general, los síntomas aéreos de la PC incluyen la aparición de una coloración amarilla (clorosis) en las secciones basales de algunas de las hojas más jóvenes y pudriciones y/o secamientos de las hojas flecha (hojas sin abrir) (Chinchilla 2008). Invariablemente, estos síntomas aéreos se asocian con un deterioro del sistema radical fino de la planta (Albertazzi et al. 2005). No obstante, algunas palmas afectadas pueden llegar a morir aparentemente por inanición (incapacidad de recobrar su sistema radical) y también porque son atacadas por plagas como el picudo (*Rhynchophorus palmarum*), taladradores de la raíz como *Sagalassa valida*, y/o patógenos oportunistas (endófitos o externos).

La variación en la sintomatología, las posibles causas, los agentes patogénicos (o no) asociados a plantas afectadas por diferentes tipos de pudriciones que abarcan los tejidos jóvenes y las estrategias de manejo

disponible han sido descritas por varios autores (Chinchilla 1998, 2008, 2010, Franqueville 2001, Laing 2009, Akino y Kondo 2012).

La presencia de síntomas similares a la PC en América tropical se remonta a las primeras introducciones de la palma aceitera a Panamá por la United Fruit Company en 1925?. No obstante, desde muchos años atrás en África, ya se conocía de síntomas similares; los cuales habían sido atribuidos (y aún lo son) a uno o varios organismos patógenos. Uno de los registros más antiguos es el de *Phytophthora palmivora* hecho por Ghesquiére en 1935 en el entonces Colgo Belga. El autor consideró a este organismo como poco agresivo, pues la enfermedad no progresaba mucho (Bull y Dip 1954). La lista de organismos con los cuales se han probado los postulados de Koch (causando pudriciones) es extensa e incluye bacterias como *Erwinia* spp., *Thielaviopsis paradoxa*, *Phythium* sp., *Fusarium* spp. y varios más.

Los diferentes factores de estrés que inducen susceptibilidad a plagas y enfermedades de las plantas en los trópicos han sido bien documentados (Henson et al. 2005, Ayres 1974, Yarwood 1976). Entre estos factores de estrés se destacan la baja disponibilidad de luz, condiciones de hipoxia en el suelo, déficit hídrico, altas temperaturas y deficiencias de carbohidratos no estructurales. El objetivo de este trabajo fue asociar la física y química del suelo con la condición del sistema radical y la incidencia y severidad de la PC, e identificar elementos asociados con la aparición del problema.

Materiales y Métodos

Localización del estudio y material vegetal

El estudio se realizó en plantaciones de palma aceitera del Pacífico sur de Costa Rica, situadas a una elevación de entre 24 y 30 msnm. La precipitación promedio anual varía entre 3800 y 4500 mm y durante algunos años puede llover 800 mm o más durante los meses de julio y octubre-noviembre. El periodo más ‘seco’ generalmente es menor que 2.5 meses. En estas condiciones, el régimen de humedad del suelo es *údic*.

Los datos de campo fueron recolectados entre abril de 2011 y agosto de 2012, pero se disponía de información anterior de las variables climáticas de la zona, sus suelos y algunas mediciones morfo-fisiológicas de las plantas. Durante el periodo de toma de datos se presentaron dos estaciones con alta precipitación pluvial (> 374 mm/mes); la primera entre mayo y diciembre de 2011 y la segunda entre abril y diciembre de 2012.

Entre los meses de enero y marzo de 2012 se registró un periodo relativamente seco (3,8 mm - 73 mm/mes).

Se evaluó palmas de 5-6 años en el campo de la variedad comercial Deli x Nigeria, las cuales fueron agrupadas en tres categorías: sanas, con síntomas de PC y recuperadas del trastorno (Cuadro 1). Cada categoría se encontraba en lotes separados. Paralelamente, se realizó evaluaciones en palmas de dos años en el campo del híbrido Amazon (*E. oleifera* x *E. guineensis*), considerado tolerante al trastorno.

Cuadro 1. Categorías de palmas según su reacción a la PC al inicio del estudio (abril 2011, 248 mm de lluvia)		
Parcela	Material genético	Descripción
Palmas con síntomas iniciales de PC	Deli x Nigeria Seis años en el campo	-Síntomas iniciales que incluían foliolos cloróticos o con secamientos limitados, acumulación de hojas flechas, las cuales eran más cortas. Valor de PxS menor aún en hojas de edad intermedia
Palmas inicialmente sanas (primeros casos aparecieron 11 meses después)	Deli x Nigeria Cinco años en el campo	-Ausencia de síntomas asociados a la PC - Ausencia de cambios drásticos en el tamaño de las hojas o del PxS en el momento de toma de los primeros datos
Palmas en la fase de recuperación de síntomas	Deli x Nigeria Cinco años en el campo	-Recuperadas del trastorno después de cirugía de las hojas flechas dañadas. -Valores de PxS normales en hojas de mayor edad -Al menos 8 hojas expandidas sanas
Híbrido OxG tolerante	Amazon Dos años en el campo	-Sin síntomas. La información de este híbrido se incluye solo como referencia; pero muchos datos no son comparables por la diferencia de edad con las otras palmas

El ambiente aéreo se caracterizó con una estación meteorológica automática localizada en la región central de la plantación; la cual registra datos diarios de precipitación (mm), radiación solar total (MJ), velocidad del viento (m/s), temperatura (°C) y humedad relativa (%) del aire.

Caracterización física y química del suelo

Se hicieron mediciones físicas y químicas del perfil del suelo en las unidades edáficas donde se ubicaban las diferentes categorías de palmas. Se realizó una descripción morfológica del suelo y se cuantificó la conductividad hidráulica, la densidad aparente y la humedad volumétrica y gravimétrica en cada horizonte del perfil del suelo en agosto de 2011, durante la

estación lluviosa (505 mm de lluvia/mes). El porcentaje de humedad del suelo se determinó a tres profundidades (0-5 cm, 40-45 cm, 80-85 cm), en cinco ocasiones durante los meses de marzo y octubre de 2011, julio de 2012 y enero de 2013. En cada oportunidad, la medición se obtuvo de un punto cercano a cada una de las 30 plantas seleccionadas por categoría, utilizando un TDR (time domain reflectometer), modelo MP406-ICT (Eijkelkamp, Holanda). El análisis químico del suelo (70 cm) se realizó en una muestra tomada en agosto de 2012, para determinar el pH, la acidez intercambiable, el porcentaje de saturación de acidez y la concentración de elementos nutricionales.

Variables morfológicas y de crecimiento

Las evaluaciones de crecimiento de la parte aérea se efectuaron en 30 palmas de cada categoría; excepto en el caso de aquellas ya recuperadas, para las que se dispuso de doce individuos. Se determinó el valor de la sección transversal del peciolo (PxS: hojas 1, 9 y 17 de la filotaxia), el número de hojas verdes presentes (y aquellas en donde los síntomas - clorosis o necrosis - fuera menor que 30 % del total de la hoja) y la razón de sexo.

Se hizo evaluaciones de la abundancia de raíces en enero (73 mm de lluvia) y julio de 2012 (512 mm de lluvia). Los muestreos se hicieron a dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm), a una distancia de 0,5 , 1 y 2 m del tronco, usando un barreno de barril de volumen conocido (750 cm³, marca Eijkelkamp) diseñado para esta labor (increment coring). Las raíces extraídas se lavaron con agua y se determinó el peso fresco y la longitud total y luego el peso seco. Se utilizó el paquete informático "WinRhizo" que permite cuantificar la longitud de las raíces y clasificarlas según su diámetro; para lo cual fue previamente calibrado según las categorías diamétricas propias de la palma aceitera (Gutiérrez et al. 2014).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza con los datos de densidad de raíces para determinar diferencias entre las categorías de plantas (Info Stat, $P < 0,05$). El comportamiento entre las dos estaciones con diferente lluvia se comparó utilizando una prueba de t-Student. La comparación múltiple de todos los pares de medias fue realizada utilizando la

prueba de DGC. Los resultados son las medias de 60 muestras tomadas en cada estación y 15 muestras de cada categoría. Los datos de severidad de la PC a través de tiempo en 1295 palmas se compararon con los cambios de humedad volumétrica del suelo tomados en los 30 puntos de la parcela utilizando interpolaciones con el método de Kriging (Surfer 8).

Resultados y Discusión

Características geográficas y climáticas del área de estudio

El área de estudio se encuentra dentro de la unidad geomorfológica denominada llanura de sedimentación aluvial del río Coto-Colorado en el Pacífico sur de Costa Rica. La precipitación anual en 2011 fue de 5937 mm (superior al promedio histórico, por la influencia del fenómeno de La Niña). En 2012, la precipitación acumulada fue de 3343 mm por la influencia del fenómeno opuesto, El Niño. Entre la segunda semana de diciembre de 2011 y la mitad del mes de marzo de 2012 se presentó un periodo bastante seco; el cual se denomina como estación 'seca' en el resto del documento. Los valores más altos de radiación solar y evapotranspiración y los más bajos de humedad relativa se presentaron entre enero y abril de 2012. En la estación 'seca', la temperatura máxima alcanzó 37 °C y la mínima 17,9 °C. (35,3°C y 20,2°C en la estación lluviosa, con un promedio de lluvia de 654 mm/mes) (Fig. 1).

Entre abril y diciembre de 2011 (estación de más lluvias con 3225 mm acumulados), el nivel freático fluctuó entre 0,4 y 1,5 m y la humedad volumétrica en los primeros 85 cm se mantuvo cercana a 48%; particularmente en sitios con texturas finas y conductividad hidráulica baja. Los altos valores de densidad aparente comunes en el sitio agravaron el problema de bajas concentraciones de oxígeno en el suelo durante la mayor parte de la estación de lluvias; lo cual también fue documentado anteriormente por Durán y Ortiz (1995).

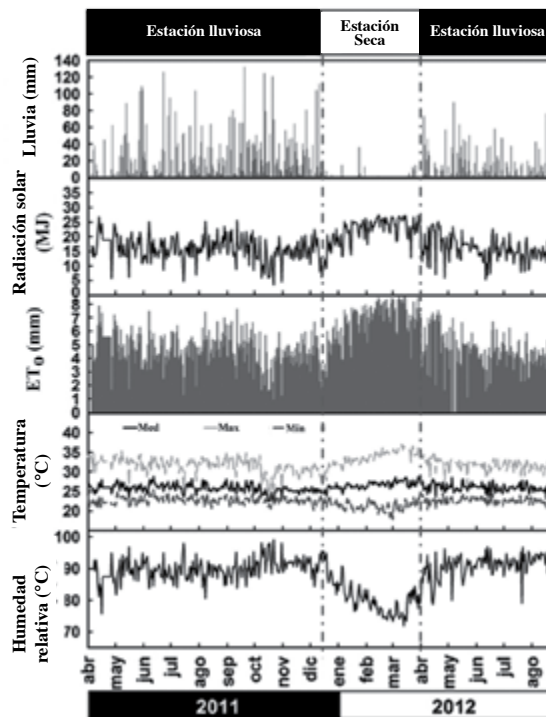


Fig. 1. Precipitación pluvial, radiación solar total, evapotranspiración potencial, temperatura y humedad relativa del aire. Valores de una estación automática (Watch Dog) cercana al área de estudio. Pacífico sur, Costa Rica.

Caracterización edáfica

El suelo en la parcela con las palmas recuperadas de PC tenía las mejores propiedades físicas (Medial, Aquic Eutrudepts) y predominaban las texturas medias. Se observó en el perfil 55% de color pardo-amarillento, 25% pardo y 20% pardo-grisáceo; lo que evidenciaba la ocurrencia de leves procesos de oxidación-reducción. La densidad aparente era media (1,01 g/cm³) y la conductividad hidráulica moderada, lo cual permitió un desarrollo aceptable del sistema radical de la palma. No obstante, el suelo podía saturarse con agua durante eventos de alta

precipitación pluvial; a pesar de la infraestructura de drenaje presente; la cual fue mayoritariamente construida cuando en esos suelos se cultivó banano.

Las parcelas donde se ubicaban las plantas aún con síntomas de PC y el híbrido Amazon estaban en un mismo lote compartiendo dos unidades edáficas. Los sistemas de drenaje primario y secundario presentes eran solo parcialmente funcionales debido a la acumulación de sedimento. Los drenajes menores (terciarios y cuaternarios) eran escasos y se había instalado un sistema de bombeo en un intento de drenar el área; el cual era solo parcialmente efectivo.

La unidad edáfica de mayor tamaño (60%: Fine, Typic Epiaquept) tenía texturas finas y drenaje pobre; se observaron 70% de colores gris-parduzco, 25% pardo amarillento y 5 % pardo en el perfil (Fig. 2). La alta densidad aparente (1,3 g/cm³) y baja conductividad hidráulica (0,34 cm/h) se asociaban con condiciones de saturación durante varios meses. La otra unidad eran suelos 'Medial, Aeric Endoaquept', con 60 % de colores pardo-grisáceos, 30% gris-parduzco y 10% pardo amarillentos en el perfil. La densidad aparente era alta (1,19 g/cm³) y la conductividad hidráulica moderadamente lenta (0,34 cm/h).

En los suelos en el lote de palmas inicialmente sanas predominaban los sedimentos finos. Los canales de drenaje primario y secundario se encontraban parcialmente sedimentados, pero existían varios canales terciarios y cuaternarios en buenas condiciones. El suelo (Fine, Aeric Endoaquept), es considerado marginal para el cultivo de la palma aceitera. El nivel freático fue fluctuante (0,60 m durante la estación lluviosa, precipitación promedio: 654 mm). La matriz en el perfil del suelo mostró 60% de color gris-parduzco y 20% de combinaciones pardo amarillentas; lo que evidenciaba la presencia de procesos de oxidación-reducción. No obstante, la superficie del perfil tenía 20% de colores pardos, lo cual indicaba una mejor oxigenación. La densidad aparente era alta (1,27 g/cm³) y la conductividad hidráulica baja (0,07 cm/h); lo cual creaba problemas para la aeración del suelo y el desarrollo radical (Cuadro 2).

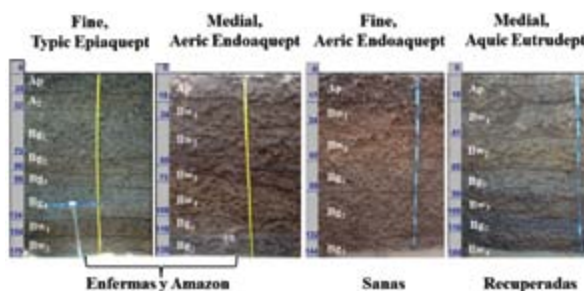


Fig. 2. Profundidad (cm), nomenclatura de los horizontes y clasificación taxonómica de las unidades edáficas en los sitios donde crecían las tres categorías de palmas (*Elaeis guineensis*: variedad Deli x Nigeria) según su respuesta a la PC (sanas, con síntomas y recuperadas). Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo y las enfermas 6, al inicio de la toma de datos. El híbrido OxG, Amazon, es tolerante y era menor (2 años), y se incluye como referencia. Clasificación según la taxonomía de suelos del USDA.

Cuadro 2. Propiedades físicas de las unidades edáficas del área de estudio. Los valores son promedios ponderados de la profundidad en cada perfil

Suelos	1*	2	3	4
Densidad aparente (g/cm ³)	1,30	1,19	1,27	1,01
Conductividad hidráulica (cm/h)	0,34	0,66	0,07	0,68
Retención de humedad (%) a 330 KPa	53	45	66	54
Retención de humedad (%) a 1500 KPa	37	29	52	30
Humedad gravimétrica (%)	57	49	66	56
Textura ponderada	FAa	Fa	FAa	F**
Cantidad de arcilla (%)	26	18	30	21

1*. Fine, Typic Epiaquept, 2. Medial, Aeric Endoaquept, 3. Fine, Aeric Endoaquept, 4. Medial, Aquic Eutrudept 2** FAa: franco arcillo arenoso, 2. Fa: franco arenoso, 2. F: franco

Química de los suelos

El Ca (>15 cmol (+)/L) y el Mg (2,5 cmol (+)/L) dominan el complejo de intercambio. La CICE era mayor que 25 cmol (+)/L. El contenido de K se consideró adecuado en todas las unidades, excepto en el 'Medial, Aeric Endoaquept', pero estaba en desequilibrio con el Ca y el Mg. El contenido de P también se consideró adecuado para el cultivo, excepto en el 'Fine, Typic Epiaquept' (Cuadro 3). En los suelos 'Fine Typic Epiaquept' y 'Medial, Aquic Eutrudept' existía también un desequilibrio entre Mg y Ca; lo cual es común en el Pacífico Sur de Costa Rica (Durán et al. 1999).

No obstante los altos contenidos de Ca y Mg, existía una alta acidez intercambiable producto de las aplicaciones intensivas de fertilizantes químicos altos en nitrógeno. Una excepción fue el 'Medial, Aquic Eutrudept' con las palmas recuperadas, en donde las aplicaciones de fertilizante habían sido menores en los últimos años. La relación C/N era baja, pues el contenido de C orgánico era bajo (<1.2% en algunos casos) y el de N normal (0.1-0.4%).

Cuadro 3. Macro nutrientes, pH, acidez, saturación de acidez y relación C/N en los suelos del área de estudio. Los contenidos de referencia en gris. Extracción con Melich 3

Unidad	Horizonte	Profundidad (cm)	pH ¹	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	P	SA	C	N	C/N		
			(cmol (+)/L)								(%)				
			5,5-6,5	<0,3	4-15	1,1-2,5	0,40-0,90	5-25	15-25	<10	10				
Fine, Typic Epiaquept	Ap	0-20	5,4	0,8	25	4,8	0,52	31	1	3	1,1	0,1	8,4		
	A ₂	20-32	5,4	0,8	25	4,8	0,52	31	1	3	1,1	0,1	8,4		
	Bg ₁	32-73	5,8	0,5	31	5,6	0,19	38	8	1	0,6	0,1	6,4		
Medial, Aeric Endoaquept	Ap	0-18	5,0	3,0	15	4,4	2,1	25	22	12	1,4	0,2	7,6		
	Bw ₁	18-34	6,0	0,6	27	4,6	0,31	33	7	2	0,6	0,1	6,6		
	Bw ₂	34-60	6,4	0,3	27	4,0	0,13	31	15	1	0,3	0,1	6,4		
Fine, Aeric Endoaquept	Ap,Bw ₁	0-34	4,9	5,8	11	3,2	0,93	21	22	28	1,8	0,2	7,8		
	Bw ₁	34-60	5,4	8,8	20	6,3	0,28	35	2	25	0,9	0,1	9,2		
Medial, Aquic Eutrudept	Ap	0-18	5,6	0,4	31	4,7	0,72	37	23	1	-	-	-		
	Bw ₁	18-41	5,9	0,3	41	3,6	0,34	45	6	0,7	-	-	-		
	Bw ₂	41-65	6,3	0,4	37	2,6	0,17	40	12	0,9	-	-	-		

1. pH extraído en agua; contenido de P en ppm

Cuadro 4. Micronutrientos y relaciones catiónicas en los horizontes del suelo del área de estudio. Valores de referencia en gris. Melich 3

Unidad	Horizonte	Profundidad (cm)	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	Fe	Mn	Zn	Cu	S		
			mg/L										
			2-5	5-25	2,5-15	10-40	30-100	30-100	3-10	5-20	20-50		
Fine, Typic Epiaquept	Ap	0-20	5	49	9,2	58	202	49	1,6	5	67		
	A ₂	20-32	5	49	9,2	58	202	49	1,6	5	67		
	Bg ₁	32-73	6	166	29,6	195	184	72	1,4	4	42		
Medial, Aeric Endoaquept	Ap	0-18	4	7	2,1	10	240	75	1,8	3	25		
	Bw ₁	18-34	6	88	14,7	103	167	35	1,2	3	31		
	Bw ₂	34-60	7	209	30,7	239	144	21	1,3	3	29		
Fine, Aeric Endoaquept	Ap,Bw ₁	0-34	3	12	3,4	15	144	56	4,3	110	29		
	Bw ₁	34-60	3	71	22,4	93	187	24	1,3	4	27		
Medial, Aquic Eutrudept	Ap	0-18	7	43	6,6	50	263	77	2,0	5	40		
	Bw ₁	18-41	11	120	10,6	131	244	83	1,4	4	33		
	Bw ₂	41-65	14	217	15,2	232	181	98	1,3	2	26		

Distribución espacial de la PC y aireación del suelo

En la figura 3, las áreas en color claro son suelos con importantes problemas de drenaje (Fine, Typic Epiaquept) en donde la humedad volumétrica (48 y 38% en las épocas de lluvia y seca) fue mayor en los primeros 85 cm del perfil. En color oscuro se representan los sitios donde el suelo tiene menores problemas físicos (Medial, Aeric Endoaquept). Durante la primera evaluación de incidencia de PC hecha en marzo de 2011 (249 mm de lluvia) fue claro que la aparición temprana de la PC en el área ocurrió en las áreas con drenaje más pobre (alta humedad volumétrica). No obstante, conforme la estación de lluvias se estableció, las condiciones de hipoxia se generalizaron en los dos suelos, lo cual se asoció con el deterioro del sistema radical fino y la generalización de la PC en el resto del lote durante el 2011.

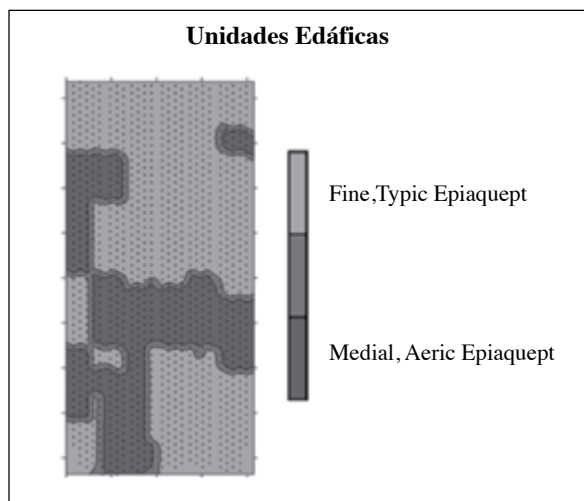


Fig. 3. Distribución de las unidades de suelo en un sitio con palmas con síntomas de PC. El diagrama fue generado a partir de 34 muestras de suelo y dos calicatas. Interpolación con Kriging (Surfer 8). Las áreas más claras indican sitios con mayores problemas de aeración.

La menor precipitación pluvial a inicios del siguiente año se asoció con una mejor apariencia (síntomas menos severos) de las palmas afectadas. Durante el mes de julio (201 mm de lluvia), cuando la humedad volumétrica del suelo era relativamente alta (38-48%), la mejor recuperación de los síntomas ocurrió en los sitios con menor humedad. Un patrón similar fue observado en enero de 2013 (31 mm de lluvia) cuando la recuperación de los síntomas fue muy evidente en sitios con una humedad volumétrica de 30%; valor que se considera adecuado para el desarrollo saludable del sistema radical de la palma aceitera (Fig. 4).

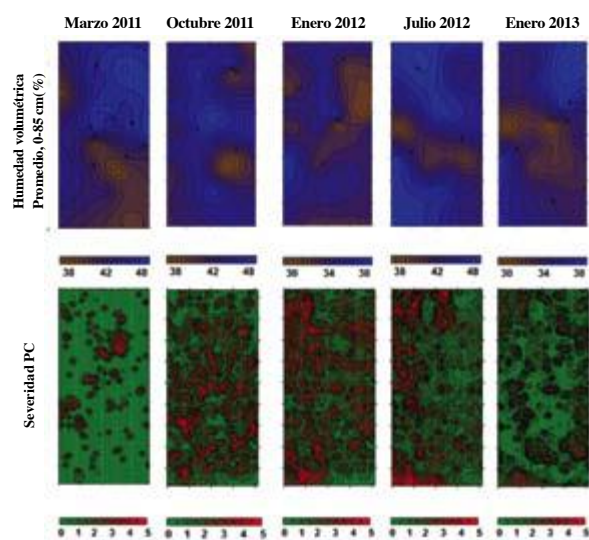


Fig. 4. Distribución y severidad de la PC a través de tiempo según los cambios de la humedad volumétrica del suelo en los primeros 85 cm del perfil. Se tomaron 30 muestras de suelo en un área que abarcaba 1295 palmas. Las interpolaciones se realizaron con el método Kriging, utilizando el programa Surfer 8.

Densidad de raíces

La densidad de raíces fue mayor durante los meses de menor precipitación en todas las categorías de plantas evaluadas; lo cual se asoció con una mejor aeración de los suelos (Figs. 5 y 6). La cantidad de raíces en las palmas enfermas siempre fue menor que en las otras categorías y sobresale el hecho de que las palmas recuperadas tenían incluso más raíces que las aparentemente sanas (pero que eventualmente mostraron síntomas); lo cual también fue observado por Albertazzi et al. 2005. Los datos del híbrido Amazon se incluyen como referencia, pues es tolerante a la PC (no aparecieron casos) y las palmas eran de diferente edad.

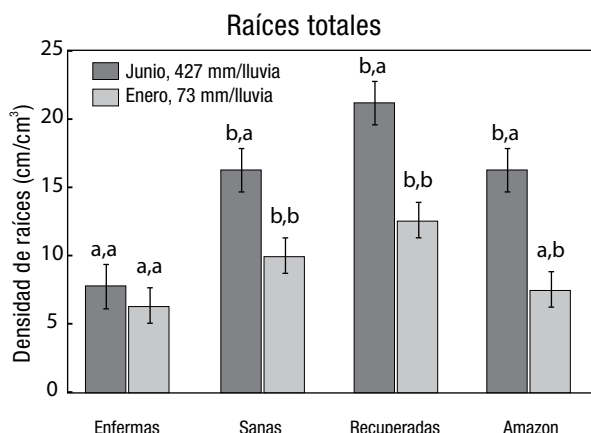


Fig. 5. Densidad de raíces en tres categorías de palmas (*E. guineensis*: Deli x Nigeria) según su respuesta a la PC (sanas, enfermas y recuperadas). Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo y las enfermas 6, al inicio de la toma de datos. El híbrido OxG, Amazon es tolerante y era menor (2 años en el campo), y se incluye como referencia. Las muestras fueron tomadas de los primeros 30 cm de suelo a 0,5, 1 y 2 metros del tronco en la estación seca (enero 2012, 73 mm) y lluviosa (junio 2011, 427 mm). Se hizo una comparación con t-Student entre estaciones climáticas y una comparación múltiple de pares de medias con la prueba DGC. Los datos son las medias de 52 muestras en cada época (13 muestras por categoría). Las letras a la izquierda corresponden a la comparación entre categorías y a la derecha entre estaciones. $P < 0,05$.

Las palmas con síntomas, presentaron una baja densidad de raíces finas (terciarias y cuaternarias) en el muestreo realizado en la época de menos lluvias (enero del 2012: 73 mm), pero esto no fue evidente para las raíces cuaternarias cuando las lluvias se generalizaron (junio de 2011: 427 mm). Fue notorio que la densidad radical de las palmas no había logrado recuperarse aún después de iniciarse la estación lluviosa. En general, la pérdida del sistema radical fino ocurrió antes de que aparecieran los síntomas aéreos en el grupo de palmas inicialmente sanas (Fig. 7).

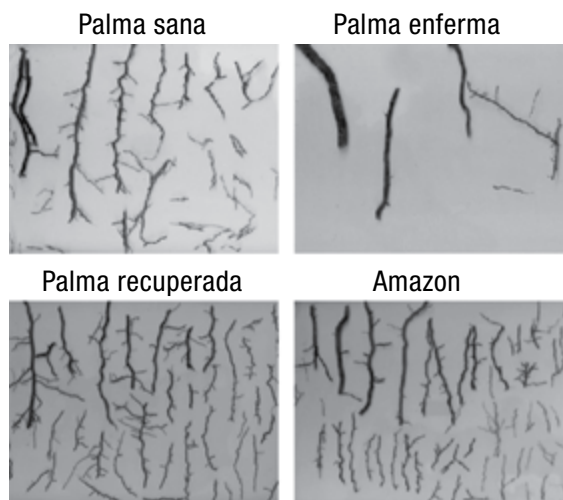


Fig. 6. Imágenes de las raíces en tres categorías de palmas (*E. guineensis*: variedad Deli x Nigeria), según su respuesta a la PC (sanas, enfermas y recuperadas). Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo y las enfermas 6, al inicio de la toma de datos. El híbrido OxG, Amazon es tolerante y era menor (2 años en el campo), y se incluye como referencia. Las muestras fueron tomadas en enero de 2012 (73 mm de lluvia), a un metro del tronco con un barreno Eijkelkamp con un volumen de 750 cm³.

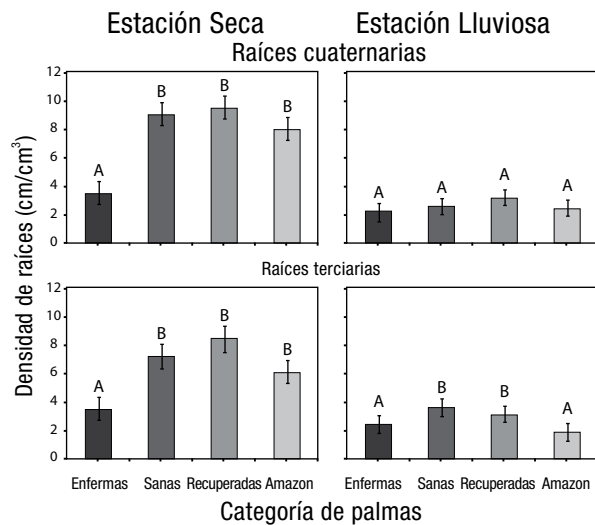


Fig. 7. Densidad de raíces terciarias y cuaternarias en tres categorías de palmas (*E. guineensis*, Deli x Nigeria) según su respuesta a la PC (sanas, enfermas y recuperadas). Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo y las enfermas 6 al inicio de la toma de datos. El híbrido OxG, Amazon es tolerante y era menor (2 años en el campo), y se incluye como referencia. Las muestras fueron tomadas en los primeros 30 cm del suelo a 0.5, 1 y 2 m del tronco en estación seca (enero de 2012, 73 mm) y lluviosa (junio de 2011, 427 mm). La comparación múltiple de todos los pares de medias se hizo con la prueba de DGC. Los datos son las medias de 60 muestras en cada estación y 15 muestras para las categorías de palmas. $P < 0,05$.

Crecimiento y fenología

Un efecto directo de la PC fue la reducción en el número de hojas verdes en la planta afectada conforme los síntomas se agravaban, y este efecto fue mayor durante la estación de lluvias; lo cual se asoció con la reducción de la aeración del suelo. Fue notorio sin embargo, que aún en el grupo de palmas inicialmente sanas se produjera una reducción en el número de hojas abiertas por planta, el cual coincidió con la época cuando se presentaron los primeros casos de la PC en ese sitio inicialmente sin el problema.

En plantas con crecimiento normal se espera que el PxS (asociado al vigor de la planta) sea mayor en las nuevas hojas producidas. Sin embargo, en el grupo de palmas con síntomas, el valor PxS fue similar en las hojas uno y 17; lo cual es consecuencia de la enfermedad y el estrés inducido en la planta. No obstante, y a pesar de la presencia de síntomas, el PxS de ese grupo de palmas era claramente mayor que el de las palmas en la parcela inicialmente sanas; en donde el PxS decayó luego de un evento de baja precipitación ocurrido seis meses antes. La caída del PxS coincidió con la aparición de los primeros casos de PC en esta parcela. El menor PxS en las palmas inicialmente sanas se explica en parte porque

eran un año menor que las enfermas, pero también podría indicar que en un punto bastante anterior a la aparición de los síntomas aéreos, son las plantas con un desarrollo vigoroso, las que podrían ser más susceptibles a un estrés que limite los recursos disponibles (luz, aire en el suelo, fertilidad etc.). La reducción drástica del PxS se daría luego de este periodo de estrés y podría anteceder a la aparición de los primeros síntomas aéreos de la PC (Chinchilla 2008, Albertazzi et al. 2005). En las plantas que se mantenían sanas y en recuperación, la tendencia del PxS fue a aumentar en el tiempo conforme se producían nuevas hojas (Fig. 8).

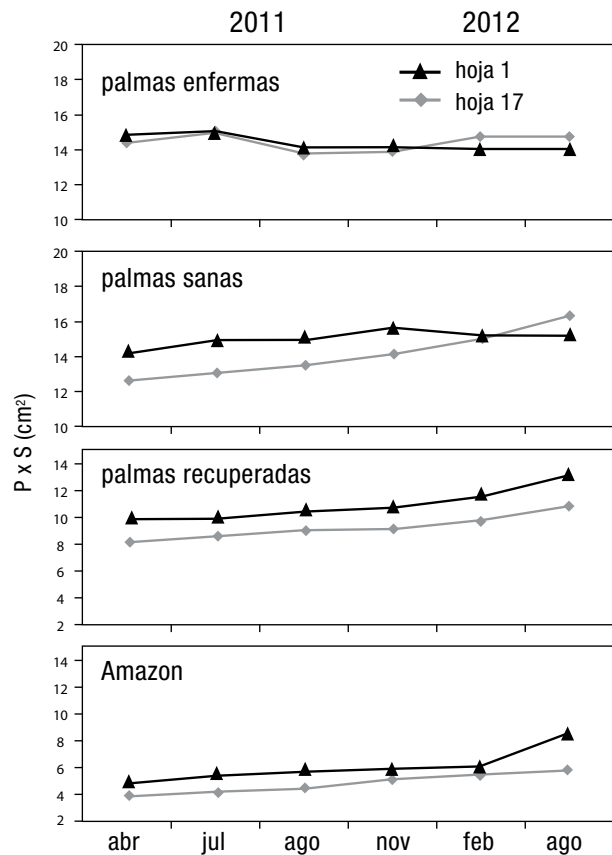


Fig. 8. Tendencia del PxS en las hojas 1 y 17 en la filotaxia (abril 2011 - agosto 2012) en tres categorías de palmas (*Elaeis guineensis*, Deli x Nigeria) según su respuesta a la PC (sanas, enfermas y recuperadas). Las palmas inicialmente sanas y las recuperadas tenían 5 años en el campo y las enfermas 6 al inicio de la toma de datos. El híbrido OxG, Amazon es tolerante y era menor (2 años en el campo), y se incluye como referencia.

Razón de sexo

El número de inflorescencias masculinas aumentó aproximadamente cinco meses después de haberse presentado periodos con lluvia excesiva (> 400 mm) o bien condiciones de baja precipitación, cuando la humedad volumétrica del suelo cayó por debajo de 30%.

En particular, el número de inflorescencias femeninas en las palmas sanas y recuperadas fue muy bajo en diciembre de 2011 seguido de un periodo con precipitaciones mayores que 500 mm en algunos meses entre mayo y noviembre de 2010.

Estos eventos de alta precipitación se asociaron con una reducción en la abundancia de raíces. En febrero de 2012, dos meses después de la disminución en el número de inflorescencias femeninas, aparecieron los primeros casos del problema (PC) en la parcela inicialmente sana. En varias especies dioicas, la expresión sexual está regulada por balances hormonales controlados por la actividad y la dominancia relativa de las raíces productoras de citoquininas feminizantes, y de las hojas, productoras de las giberelinas masculinizantes (Chailakhyan y Khrianin 1987, Corley y tinker 2003).

Nutrimientos en las hojas

El contenido de la mayoría de los elementos nutritivos fue de medio a alto, pero el Fe y el Mn estuvieron por encima de lo considerado normal. La relación Fe/Mn fue baja (<2:1); lo que indica que los contenidos de Fe eran deficientes si se comparan con los de Mn y esto se asoció con un sistema radical de aspecto no saludable ('corchosis' en las raíces); lo cual también se ha observado en otras plantas (Vargas 1996, 1999).

Como es lo usual, las hojas jóvenes tenían contenidos mayores de N, P, K, Zn y Cu y las de mayor edad contenían más Ca, Mg, B, Fe y Mn. El nitrógeno mostró un comportamiento especial en las palmas enfermas: el contenido fue mayor en la estación lluviosa (julio de 2011, precipitación: 603 mm de lluvia) en las hojas adultas. El índice de clorofila indicó también que las hojas adultas estaban más verdes que las jóvenes.

Las palmas enfermas mostraron niveles altos de K tanto en la época lluviosa como en la seca, probablemente debido a las aplicaciones extra de KCl incluidas en el programa de fertilización de este lote durante el año 2011, con el objetivo de disminuir la severidad de la PC. Estas aplicaciones de fertilizante extra posiblemente alteraron las relaciones entre bases y entre nitrógeno y potasio que podrían haber estado presentes antes de que

aparecieran las primeras plantas con síntomas. No obstante, se pueden observar algunas tendencias que indican que cambios en las relaciones mencionadas pueden estar asociadas con la aparición de algunos de los síntomas de la PC. Por ejemplo, durante la estación de menos lluvias (abril de 2012, precipitación: 210 mm), las hojas intermedias (16-17) de las palmas con síntomas tenían el máximo valor calculado (3.0) de la relación N/K.

También se puede destacar que la relación Mg/K, tanto en hojas jóvenes como de edad intermedia en la parcela con las palmas inicialmente sanas (donde eventualmente aparecieron palmas con síntomas) fue consistentemente mayor. En las palmas ya enfermas y recuperadas esta relación fue similar. Por otro lado, la relación Ca/Mg fue siempre mayor en las palmas en recuperación de los síntomas (Cuadro 5). Algunos de estos desequilibrios fueron observados en otros estudios de palmas afectadas por PC (Chinchilla y Durán 1999).

Cuadro 5. Contenido de nutrimentos en hojas jóvenes (1, 2 y 3) y adultas (15, 16 y 17) en tres categorías de palmas 'guineensis', variedad Deli x Nigeria (sanas, con síntomas y recuperadas de PC). El híbrido OxG era de menor edad (dos años) y se incluye como referencia solamente. Los muestreos fueron hechos en la estación lluviosa (julio de 2011, 603 mm) y seca (abril de 2012, 210 mm). Cada valor es el promedio del análisis de folíolos basales, mediales y distales tomados de forma compuesta en tres palmas de cada categoría de planta.

		Estación lluviosa						Estación seca									
		Jóvenes			Adultas			Jóvenes			Adultas						
		Enfermas	Sanas	Recuperadas	Enfermas	Sanas	Recuperadas	Enfermas	Sanas	Recuperadas	Enfermas	Sanas	Recuperadas				
Macronutrientos (%)	N	2,75	3,01	3,03	3,14	2,83	2,94	2,74	2,87	2,63	2,79	2,51	2,82	2,61	2,68	2,74	2,58
	P	0,17	0,18	0,17	0,21	0,16	0,17	0,16	0,16	0,20	0,19	0,18	0,17	0,14	0,16	0,16	0,15
	K	1,49	1,47	1,34	1,49	1,31	1,23	1,29	1,17	1,79	1,49	1,67	1,50	0,87	0,25	1,27	1,12
	Mg	0,25	0,37	0,27	0,23	0,25	0,31	0,23	0,16	0,21	0,30	0,23	0,27	0,18	0,27	0,24	0,22
	Ca	0,58	0,67	0,79	0,65	0,79	0,84	0,99	0,85	0,46	0,66	0,90	0,52	1,03	0,87	1,11	1,00
Macronutrientos (mg/Kg)	B	14	15	13	16	19	18	18	18	25	43	44	29	32	42	37	41
	Zn	18	23	23	25	17	21	23	17	22	20	22	17	14	18	20	17
	Fe	48	50	51	47	64	59	56	63	43	65	56	68	81	73	64	95
	Mn	87	288	115	83	108	363	125	129	61	176	137	99	89	231	158	136
	Cu	7	8	8	11	6	7	6	10	6	8	7	5	5	6	6	5
	S	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,18	0,17	0,17	0,18	0,17
Relaciones	Fe/Mn	0,55	0,18	0,45	0,56	0,61	0,17	0,45	0,50	0,70	0,41	0,44	0,69	0,93	0,35	0,41	0,73
	N/K	1,96	2,29	2,32	2,31	2,21	2,59	2,16	2,65	1,48	2,16	1,69	1,90	3,00	2,35	2,18	2,41
	Ca/Mg	2,26	1,78	2,96	2,84	3,20	2,78	4,24	5,65	2,14	2,17	4,02	1,92	5,71	3,31	4,92	4,71
	Ca/K	0,42	0,52	0,62	0,49	0,63	0,78	0,81	0,81	0,26	0,55	0,70	0,36	1,20	0,87	0,92	0,96
	Mg/K	0,18	0,28	0,21	0,17	0,19	0,27	0,14	0,14	0,12	0,24	0,15	0,18	0,21	0,24	0,19	0,20

Conclusiones y recomendaciones

La aparición y severidad de la PC en palma aceitera no puede separarse de una serie de situaciones que crean estrés en la planta debido a desequilibrios en el continuo suelo-planta-ambiente, y que pueden inducir al desencadenamiento de un síndrome morfo-fisiológico, que aparentemente se inicia con la muerte de las raíces finas terciarias y cuaternarias mayormente. Como es esperable, varios patógenos oportunistas pueden tomar ventaja de una planta predispuesta.

En el caso particular del Pacífico Sur de Costa Rica, este estrés es causado en parte por el exceso de agua en el suelo (alta precipitación pluvial), las características físicas de los suelos, y la anaerobiosis relacionada. La alta humedad volumétrica se asocia con la saturación de los suelos, la poca disponibilidad de oxígeno para las raíces y desbalances nutricionales (Durán y Ortiz 1995, Peralta et al. 1985). Las estaciones lluviosas del 2010 y 2011 fueron muy intensas, con meses con 800 mm o más de lluvias; pero el 'periodo seco' del 2012 fue anormalmente seco. Ambos factores unidos contribuyeron a un deterioro inusual del sistema radical de las palmas.

La alternancia de los eventos de La Niña y El Niño pueden sostener condiciones por largos periodos de tiempo que causan muerte masiva de raíces (por excesos y carencias de agua) y que impiden la renovación de este sistema radical. De esta forma, la PC se transforma en un trastorno fisiológico dinámico dependiente en gran medida de las condiciones ambientales y del estado fisiológico de las palmas (edad, nutrición mineral, historia previa de estrés), del cual las plantas se pueden recuperar y bien recaer ante eventos sucesivos de estrés.

Aparentemente el deterioro del sistema radical de las palmas aceiteras afectadas por PC y sus efectos en las copas también está asociado con un problema de absorción y translocación anormal de nutrientes. Esto resulta en el desarrollo de los síntomas de clorosis

progresiva en las hojas más jóvenes; síntomas que pueden ser asociados con la deficiencia de elementos móviles como el hierro y el calcio. La necrosis o secamiento de las hojas flechas y de las hojas en expansión se puede asociar a un suministro inadecuado de carbohidratos y la baja disponibilidad de algunos elementos nutritivos esenciales como el B y el Fe, y particularmente a desequilibrios entre elementos, que se manifiestan en relaciones alteradas entre elementos como el Fe y el Mn, las bases (Ca, Mg, K), nitrógeno y potasio y posiblemente otras en donde intervienen el calcio y el boro.

La figura 9 resume las observaciones más importantes de este estudio y establece en forma gráfica las relaciones encontradas.

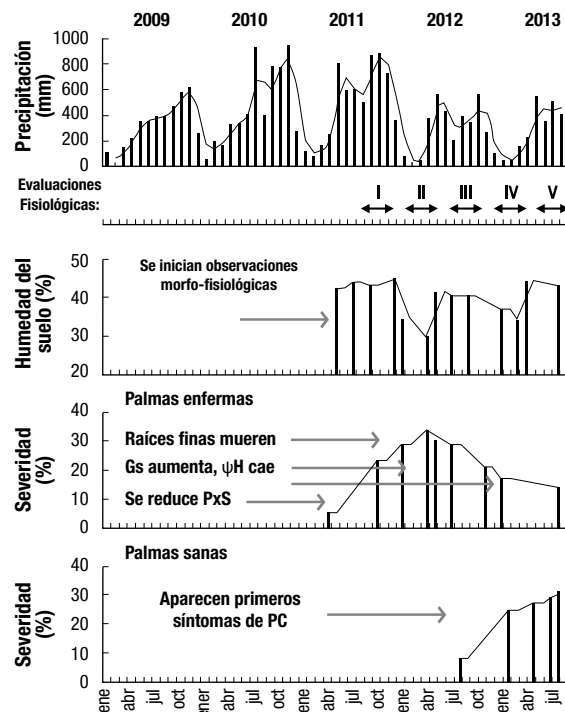


Fig. 9. Precipitación, humedad del suelo, incidencia de PC y respuesta fisiológica de palmas aceiteras jóvenes. Nótese las altas precipitaciones pluviales en 2010 y 2011 seguidas de un período inusualmente seco. La incidencia y severidad de la PC se intensificó en la estación lluviosa del 2011 (precipitación promedio: 654 mm/mes), cuando ocurrió la muerte de las raíces finas. En el 2012 aparecieron los primeros casos de PC en la parcela originalmente sana.

Se validaron varios indicadores de estrés y de predisposición a la aparición de un trastorno como la PC, tales como cambios en el índice PxS, la razón de sexo y el comportamiento estomático (en prensa). Otro indicador, pero de mayor laboriosidad en cuanto a su medición, es la evaluación periódica de la abundancia, la calidad y la salud de las raíces (Albertazzi et al. 2005). El diseño y la instalación de rizotrones para la observación directa del sistema radical de la palma aceitera puede ser una vía práctica para la evaluación periódica y no destructiva de la fenología y la salud de las raíces, que reduce la

laboriosidad implícita en los protocolos de muestreo y evaluación destructiva de las raíces utilizando barrenos.

La prevención y los tratamientos para la recuperación de palmas con PC deben estar enfocados en la recuperación del sistema radical, a través del mejoramiento integral de los suelos desde el punto de vista químico, físico y microbiológico. Esto podría lograrse mediante mejoras de la aeración del suelo, las aplicaciones de materia orgánica y otras enmiendas, productos y prácticas que induzcan la formación y la longevidad de las raíces.

Literatura citada

- Akino, S; Kondo, N. 2012. Common spear sot of oil palm in Indonesia. *Plant Disease* 96:537-543.
- Albertazzi H., Bulgarelli J., Chinchilla C. 2005. Eventos previos y contemporáneos a la aparición de los síntomas de la pudrición del cogollo en palma aceitera. *ASD Oil Palm Papers* 28:21-41.
- Ayres, P. 1984. The interaction between environmental stress injury and biotic disease physiology. *Annu. Rev. Phytopathol.* 22:53-75.
- Bull R., Dip B. 1954. A preliminary list of the oil palm diseases encountered in Nigeria. *J. WAIFOR* 1(2): 53-59
- Chinchilla C. Durán N. 1999. Nature and management of spear-rot like problems in oil palm: a case study in Costa Rica. *Proc. 1999 PORIM International Palm Oil Congress (Agriculture)*. Kuala Lumpur. P. 97-126
- Chinchilla, C. 2008. Las muchas caras de las pudriciones del cogollo en flecha en palma aceitera y la importancia de un enfoque práctico para su manejo. *ASD Oil Palm Papers* 32:1-25.
- Chinchilla, C. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. *ASD Costa Rica-Palma Tica* 1:1- 22.
- Chinchilla, C; Durán, N. 1998. Manejo de problemas fitosanitarios en palma aceitera: una perspectiva agronómica. *Palmas* 19:242-256.
- Corley, R; Tinker, P. 2003. *The Oil Palm*. 4ta ed. Oxford, GT, Blackwell Science. 562 p.
- Durán, N; Ortiz, R. 1995. Efecto de algunas propiedades físicas del suelo y la precipitación sobre la producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana* 6:7-14.
- Durán, N; Salas, R; Chinchilla, C; Peralta, F. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización en palma aceitera en Costa Rica. *XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de suelos*. 305-316 pp.
- Franqueville, H. 2001. Oil palm bud rot in Latin America: preliminary review of established facts and achievements. *CIRAD/BUROTROP*. 33 p.
- Gutiérrez, M; Torres, J; Araya, J. 2014. Uso de Winrhizo para el estudio y la cuantificación de las raíces de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaqt.). *Agronomía Mesoamericana* 24: 01-09.
- Henson, I; Roslan, M; Haniff, Mohd; Yahya, Z; Aishah, S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in North Kedah, Malasia. *Journal of Oil Palm Research* 17: 11-26.
- Lain, D. 2009. La causa de la pudrición del cogollo en palma de aceite: hipótesis biótica-edáfica. *CIAT*. Honduras. 113 p.
- Peralta, F; Vásquez, O; Richardson, D; Alvarado, A; Bornemisza. 1985. Effect of some soil physical characteristics on yield, growth and nutrition of the oil palm in Costa Rica. *Oleagineux* 40:423-436.
- Vargas, E. 1996. Hongos y bacterias aislados de raíces corchosas de café y cítricos en suelos con diferentes características. In *X Congreso Nacional Agronómico / II Congreso de Suelos*. 67-68 pp.
- Vargas, E. 1999. Principales enfermedades del palmito de pejobaye. In *palmito de pejobaye (Bactris gasipaes Kunth): su cultivo e industrialización*. J. Mora-Urpí y J.G. Echeverría (eds.). Univ. de Costa Rica. 133-137 pp.
- Yarwood, C. 1976. Modification of the host response -predisposition. *Encyclopedia of Plant Physiology*. Vol. 4. *Physiological Plant Pathology*. Springer-Verlag. 702-718 pp.

Soil characteristics, root development and spear rot incidence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Torres Joaquín¹, Gutiérrez Marco², Chinchilla Carlos³, Mata Rafael⁴

Abstract

Spear rot (*podrición del cogollo* or PC in Spanish) is a dynamic disorder of complex etiology that affects the development and physiology of oil palm. The distinctive symptoms (yellowing, drying and rotting) occur on young leaves and in tissues near the meristem. High precipitation followed by abnormally dry periods were associated with the loss of the fine root system and the presence of PC symptoms. PC incidence and severity was determined by the genetics of the plant and several environmental factors that appeared to predispose the palms to the syndrome. In the study area in Costa Rica, the disease was more frequent and severe in water-saturated soils (hypoxia) with marginal edaphic conditions (Fine, Typic epiaquepts and Fine, Aeric endoaquepts). When soil volumetric water content was higher than 40%, deterioration of the fine root system and nutritional alterations were observed, which included the Ca:K, Ca:Mg, Mg:K, K:N and Fe:Mn relationships.

Low root densities, particularly those of the third and fourth order and high soil volumetric water content are indicators of a 'predisposition' that could lead to a syndrome such as PC. The physiological response to PC was followed in a parallel study on the effect of soil conditions (in press), which allowed the identification of other morpho-physiological factors (PxS and stomatic conductivity) that can also indicate predisposition to the disorder.

The results support the idea that the management of a disorder like PC in oil palm should necessarily include, in addition to the planting of tolerant genotypes, taking particular care with agronomic practices that take the region's climatic conditions into account, soil aeration and nutrition according to soil chemistry and that respect soil biodiversity. Prevention and recovery from the syndrome should not focus on the aerial part of the plant, rather it should address the regeneration and maintenance of a healthy root system.

Keywords: PC, spear rot, roots, soils

¹ ASD de Costa Rica, j.torresq@asd-cr.com

² EEFB, Faculty of Agriculture and Food Sciences, University of Costa Rica, surdo26@racsa.co.cr

³ Consultant for ASD, cmlchinchilla@gmail.com

⁴ CIA, Faculty of Agriculture and Food Sciences, University of Costa Rica.

Introduction

The condition known locally as ‘flecha seca’ (‘dry spear’) in Costa Rica is similar to one called ‘pudrición del cogollo’ or ‘PC’ (‘spear rot’) in South America (Franqueville 2001, Corley and Tinker 2003). In Costa Rica, the vast majority of palms affected recover their vegetative development and production, following a period of recuperation whose duration depends largely on the agronomic improvements done before and after the appearance of the problem. (Chinchilla and Durán 1998, Chinchilla 2010).

The etiology of PC is complex and the attempts to associate it with a particular pathogenic agent have not yielded conclusive results nor have they contributed to the management of the problem. In general, the aerial symptoms of PC include the appearance of a yellow coloration (chlorosis) on the basal sections of some of the youngest leaves and rotting and/or drying of the leaf spears (unopened leaves) (Chinchilla 2008). Invariably, these aerial symptoms are associated with a deterioration of the fine root system of the plant (Albertazzi et al. 2005). However, some affected palms can apparently die from inanition (incapacity to recover its root system) and also because they are attacked by pests such as the American palm weevil (*Rhynchophorus palmarum*), oil palm rootworms like *Sagalassa valida*, and/or opportunistic pathogens (endophytes or external).

Variation in the symptomatology, possible causes, pathogenic agents that are or are not associated with plants affected by different types of rots involving

young tissues and the management strategies available have been described by several authors (Chinchilla 1998, 2008, 2010, Franqueville 2001, Laing 2009, Akino and Kondo 2012).

The presence of symptoms similar to PC in tropical America go back to the first introductions of oil palm in Panama by the United Fruit Company in 1925?. Nevertheless, many years before that in Africa, similar symptoms were already known; these have been (and still are) attributed to one or several pathogenic organisms. One of the oldest records is that of *Phytophthora palmivora* made by Ghesquiére in 1935 in the then Belgian Congo. The author considered this organism to be only slightly aggressive since the disease did not progress much (Bull and Dip 1954). The list of organisms that have passed Koch’s postulates (causing rots) is extensive and includes bacteria such as *Erwinia* spp., *Thielaviopsis paradoxa*, *Phythium* sp., *Fusarium* spp. and several more.

The different stress factors that induce susceptibility to pests and diseases of plants in the tropics have been well documented (Henson et al. 2005, Ayres 1974, Yarwood 1976). Noteworthy stress factors include low light availability, conditions for hypoxia in the soil, water deficit, high temperatures and deficiencies of non-structural carbohydrates. The objective of this work was to associate the physics and the chemistry of the soil with the condition of the root system and the incidence and severity of the PC, and identify elements associated with the appearance of the problem.

Materials and Methods

Study location and plant material

The study was carried out in oil palm plantations of the southern Pacific region of Costa Rica, situated at an elevation of 24 to 30 masl. Average annual precipitation varies from 3800 to 4500 mm and in some years rainfall can be 800 mm or more in some months between July and October-November. The ‘driest’ period usually lasts less than 2.5 months. Under these conditions, the soil moisture regime is udic.

Field data were gathered from April 2011 to August 2012, but earlier information was available on climatic variables for the region, its soils and some morpho-physiological measurements of the plants. During the data collection period, two seasons with high rainfall (> 374 mm/month) occurred; the first from May to December 2011 and the second from April to December 2012. From January to March 2012, a relatively dry period was documented (3.8 mm - 73 mm/month).

Palms of the Deli x Nigeria commercial variety, 5-6 years old, were evaluated in the field; they were grouped in three categories: healthy, with PC symptoms, and recovered from the disorder (Table 1). Each category was found in a separate plot. In parallel, field evaluations were done on two-year old palms of the Amazon hybrid (*E. oleifera* x *E. guineensis*), considered to be tolerant to the disorder.

Plot	Genetic material	Description
Palms with initial symptoms of PC	Deli x Nigeria Six years in the field	-Initial symptoms would include chlorotic leaflets or limited withering, accumulation of spear leaves, which were shorter. PxS value even lower in leaves of intermediate age
Palms initially healthy (first cases appeared 11 months later)	Deli x Nigeria Five years in the field	-Absence of symptoms associated with PC -Absence of drastic changes in the size of the leaves or PxS when the first data were taken
Palms in the symptom recovery phase	Deli x Nigeria Five years in the field	-Recovered from the disorder following surgery of the damaged leaf spears. - PxS values normal for older leaves -At least 8 healthy leaves expanded
O x G hybrid, tolerant	Amazon Two years in the field	-Without symptoms. The information for this hybrid is included for reference only; but a lot of data are not comparable due to the difference in age with the other palms

The aerial environment was characterized using an automatic weather station located in the central region of the plantation, which take daily measurements of rainfall (mm), total solar radiation (MJ), wind velocity (m/s), temperature (°C) and relative humidity (%) of the air.

Physical and chemical characterization of the soil

Physical and chemical data were taken of the soil profile in the edaphic units where the different categories of palms were located. A morphological description was made of the soil and hydraulic conductivity, apparent density and volumetric and gravimetric water content

were quantified in each soil profile horizon in August 2011, during the rainy season (505 mm of rainfall/month). The percentage of soil moisture was determined at three depths (0-5 cm, 40-45 cm, 80-85 cm), on five occasions from March to October 2011, July 2012 and January 2013. On each opportunity, the measurement was obtained from a point near each one of the 30 plants selected per category, using a TDR (time domain reflectometer), model MP406-ICT (Eijkelkamp, Holland). The chemical soil analysis (70 cm) was done on a sample taken in August 2012, to determine pH, exchangeable acidity, base saturation percentage and the concentration of nutritional elements.

Morphological and growth variables

The evaluations of growth of the aerial part were carried out on 30 palms in each category; except in the case of palms already recovered, for which twelve individuals were available. The value for the petiole cross-section was determined (PxS: leaves 1, 9 and 17 of the phyllotaxy), the number of green leaves present (and those on which the symptoms - chlorosis or necrosis - were less than 30% of the leaf total) and the sex ratio.

Evaluations of root abundance were done in January (73 mm of rainfall) and July 2012 (512 mm of rainfall). Samples were taken at two depths (0-15 cm and 15-30 cm), at a distance of 0.5, 1 and 2 m from the trunk, using an Eijkelkamp soil barrel auger of known volume (750 cm³) designed for this task (increment coring). The roots extracted were washed with water and fresh weight and total length were determined and then dry weight. The "WinRhizo" program was used to quantify the length of the roots and classify them according to their diameter, for which it was calibrated in advance according to the diametric categories of oil palm (Gutiérrez et al. 2014).

Statistical analysis. An analysis of variance was done using the root density data to determine differences between categories of plants (Info Stat, $P < 0.05$). The behavior during the two seasons with different amounts of rainfall was compared using a Student's t-test. The multiple comparison of all pairs of means was done using the DGC test. The results are

the means of 60 samples taken in each station and 15 samples from each category. The data on PC severity over time in 1295 palms was compared with the changes in soil volumetric water content taken at 30 points in the plot using Kriging method interpolations (Surfer 8).

Results And Discussion

Geographic and climatic characteristics of the study area

The study area (Table 1) is in the geomorphological unit called the alluvial floodplain of the Coto-Colorado River in the southern Pacific of Costa Rica. Annual precipitation in 2011 was 5937 mm (higher than the historic average, due to the influence of the La Niña phenomenon). In 2012, accumulated precipitation was 3343 mm due to the influence of the opposite phenomenon, El Niño. From the second week of December 2011 to mid-March 2012, a considerable dry period occurred, which is referred to as the 'dry' season in the rest of the document. The highest solar radiation and evapotranspiration values and the lowest relative humidity values occurred from January to April 2012. In the 'dry' season, maximum temperature reached 37°C and the minimum was 17.9°C (35.3°C and 20.2°C in the rainy season, with average rainfall of 654 mm/month) (Fig. 1).

Between April and December 2011 (the rainiest season with 3225 mm accumulated), the water table level fluctuated between 0.4 and 1.5 m and the volumetric water content in the first 85 cm remained close to 48%; particularly in sites with fine textures and low hydraulic conductivity. The high bulk density values common at the site aggravated the problem of low oxygen concentrations in the soil during most of the rainy season; this was documented earlier by Durán and Ortiz (1995).

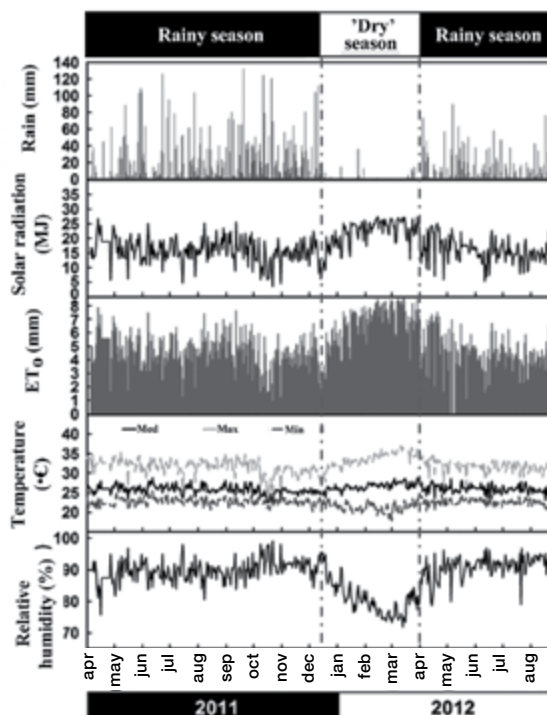


Fig. 1. Rainfall precipitation, total solar radiation, potential evaporation, temperature and relative humidity of the air. Values from an automatic station (Watch Dog) near the study area, southern Pacific, Costa Rica.

Edaphic characterization

The soil in the plot with the palms recovered from PC had the best physical properties (Medial, Aquic Eutrudepts) and medium textures predominated. The profile had 55% yellowish-brown color, 25% brown and 20% grayish-brown, evidence of the occurrence of slight oxidation-reduction processes. Bulk density was medium (1.01 g/cm³) and hydraulic conductivity was moderate, which enabled an

acceptable development of the palm root system. However, the soil could have been saturated with water during high rainfall events despite the drainage infrastructure present, which was constructed mainly when banana was cultivated on these soils.

The plots with that plants that still had symptoms of PC and the Amazon hybrid were in the same lot sharing two edaphic units. The primary and secondary drainage systems present were only partially functional due to the accumulation of sediment. Smaller drains (tertiary and quaternary) were uncommon and a pumping system had been installed to drain the area but it was only partially effective.

The largest edaphic unit (60%: Fine, Typic Epiaquepts) had fine textures and poor drainage; 70% brownish-gray, 25% yellowish-brown and 5% brown colors were observed in the profile (Fig. 2). The high bulk density (1.3 g/cm³) and low hydraulic conductivity (0.34 cm/h) were associated with saturation conditions over several months. The other unit had 'Medial, Aeric Endoaquept' soils with 60% grayish-brown, 30% brownish-gray and 10% yellowish-brown colors in the profile. Bulk density was high (1.19 g/cm³) and hydraulic conductivity moderately slow (0.34 cm/h).

In the plot with initially healthy palms, soils with fine sediments predominated. The primary and secondary drainage channels were partially silted, but there were several tertiary and quaternary channels in good condition. The soil (Fine, Aeric Endoaquept) is considered marginal for oil palm cultivation. The water table fluctuated (0.60 m during the rainy season, average precipitation: 654 mm). The soil profile matrix showed 60% brownish-gray and 20% yellowish-brown color combinations; evidence of the presence of oxidation-reduction processes. However, the surface of the profile had 20% brown colors, indicative of better oxygenation. Bulk density was high (1.27 g/cm³) and hydraulic conductivity low (0.07 cm/h); which created problems for the aeration of the soil and root development (Table 2).

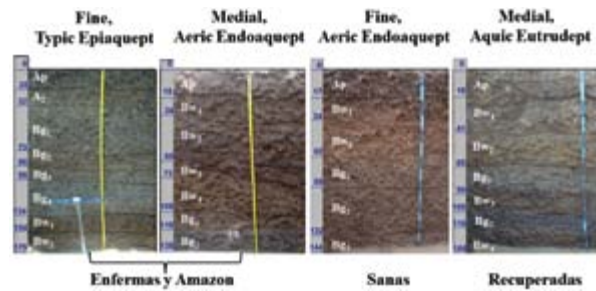


Fig. 2. Depth (cm), nomenclature of the horizons and taxonomic classification of the edaphic units in the sites where the three categories of palms (*Elaeis guineensis*: Deli x Nigeria variety) according to their response to PC (healthy, with symptoms, or recovered) were growing. The initially healthy and the recovered palms had five years in the field and the affected ones had six years at the onset of data collection. The OxG hybrid, Amazon, is tolerant and the plants were younger (2 years), and they are included as a reference. Classification according to USDA soil taxonomy.

Soils	1*	2	3	4
Bulk density (g/cm ³)	1,30	1,19	1,27	1,01
Hydraulic conductivity (cm/h)	0,34	0,66	0,07	0,68
Moisture retention (%) a 330 KPa	53	45	66	54
Moisture retention (%) a 1500 KPa	37	29	52	30
Gravimetric humidity (%)	57	49	66	56
Weighted texture	FAa	Fa	FAa	F**
Amount of clay (%)	26	18	30	21

1*. Fine, Typic Epiaquept, 2. Medial, Aeric Endoaquept, 3. Fine, Aeric Endoaquept, 4. Medial, Aquic Eutrudept. 2** FAa: sandy clay loam, 2. Fa: sandy loam, 2. F: loam

Soil chemistry

Ca (>15 cmol (+)/L) and Mg (2.5 cmol (+)/L) dominated the exchange complex. The CICE was greater than 25 cmol (+)/L. The K content was considered adequate in all the units, except in the 'Medial, Aeric Endoaquept', but it was in disequilibrium with Ca and Mg. The P content was also considered adequate for the crop, except in the 'Fine, Typic Epiaquept' (Table 3). In the 'Fine Typic Epiaquept' and 'Medial, Aquic Eutrudept' soils there was also an unbalance between Mg and Ca, which is common in the southern Pacific of Costa Rica (Durán et al. 1999).

Despite the high Ca and Mg contents, there was high exchangeable acidity as a result of the intensive applications of chemical fertilizers high in nitrogen. One exception was the 'Medial, Aquic Eutrudept' soil with recovered palms, where fertilizer applications had been less than in recent years. The C/N relationship was low, because the organic C content was low (<1.2% in some cases) while N content was normal (0.1-0.4%).

Table 3. Macronutrients, pH, acidity, base saturation and C/N relationship in soils of the study area. Reference contents are in gray. Extraction with Melich 3

Unit	Horizon	Depth (cm)	pH ¹	Acidity	Ca	Mg	K	CICE	P	SA	C	N	C/N
			(cmol (+)/L)										(%)
			5,5-6,5	<0,3	4-15	1,1-2,5	0,40-0,90	5-25	15-25	<10			10
Fine, Typic Epiaquept	Ap	0-20	5,4	0,8	25	4,8	0,52	31	1	3	1,1	0,1	8,4
	A ₂	20-32	5,4	0,8	25	4,8	0,52	31	1	3	1,1	0,1	8,4
	Bg ₁	32-73	5,8	0,5	31	5,6	0,19	38	8	1	0,6	0,1	6,4
Medial, Aeric Endoaquept	Ap	0-18	5,0	3,0	15	4,4	2,1	25	22	12	1,4	0,2	7,6
	Bw ₁	18-34	6,0	0,6	27	4,6	0,31	33	7	2	0,6	0,1	6,6
	Bw ₂	34-60	6,4	0,3	27	4,0	0,13	31	15	1	0,3	0,1	6,4
Fine, Aeric Endoaquept	Ap,Bw ₁	0-34	4,9	5,8	11	3,2	0,93	21	22	28	1,8	0,2	7,8
	Bw ₁	34-60	5,4	8,8	20	6,3	0,28	35	2	25	0,9	0,1	9,2
Medial, Aquic Eutrudept	Ap	0-18	5,6	0,4	31	4,7	0,72	37	23	1	-	-	-
	Bw ₁	18-41	5,9	0,3	41	3,6	0,34	45	6	0,7	-	-	-
	Bw ₂	41-65	6,3	0,4	37	2,6	0,17	40	12	0,9	-	-	-

1. pH extracted in water; P in ppm

Table 4. Micronutrients and cationic relationships in soil horizons from the study area. Reference values in gray. Melich 3

Unit	Horizon	Depth (cm)	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	Fe	Mn	Zn	Cu	S
			mg/L								
			2-5	5-25	2,5-15	10-40	30-100	30-100	3-10	5-20	20-50
Fine, Typic Epiaquept	Ap	0-20	5	49	9,2	58	202	49	1,6	5	67
	A ₂	20-32	5	49	9,2	58	202	49	1,6	5	67
	Bg ₁	32-73	6	166	29,6	195	184	72	1,4	4	42
Medial, Aeric Endoaquept	Ap	0-18	4	7	2,1	10	240	75	1,8	3	25
	Bw ₁	18-34	6	88	14,7	103	167	35	1,2	3	31
	Bw ₂	34-60	7	209	30,7	239	144	21	1,3	3	29
Fine, Aeric Endoaquept	Ap,Bw ₁	0-34	3	12	3,4	15	144	56	4,3	110	29
	Bw ₁	34-60	3	71	22,4	93	187	24	1,3	4	27
Medial, Aquic Eutrudept	Ap	0-18	7	43	6,6	50	263	77	2,0	5	40
	Bw ₁	18-41	11	120	10,6	131	244	83	1,4	4	33
	Bw ₂	41-65	14	217	15,2	232	181	98	1,3	2	26

Spatial distribution of PC and soil aeration

In figure 3, the areas in light blue-purple colors were soils with major drainage problems (Fine, Typic Epiaquept) where volumetric water content (48 and 38% in the rainy and dry seasons) was higher in the first 85 cm of the profile. Darker color represents sites where the soil had minor physical problems (Medial, Aeric Endoaquept). During the first evaluation of PC incidence done in March 2011 (249 mm of rainfall), the early appearance of PC in the area clearly occurred in areas with the poorest drainage (high volumetric water content). However, as the rainy season progressed, the conditions for hypoxia became widespread in the two soils, which was associated with the deterioration of the fine root system and the occurrence of PC in the rest of the plot in 2011.

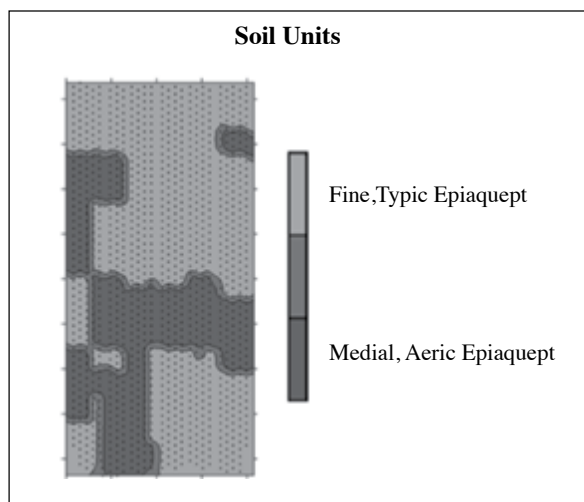


Fig. 3. Distribution of the soil units in a site with palms with PC symptoms. The diagram was generated from 34 soil samples and two test pits. Interpolation was done using Kriging (Surfer 8). The clear areas indicate sites with major aeration problems

The lower rainfall at the start of the next year was associated with a better appearance (symptoms less severe) of the affected palms. During July (201 mm of rainfall), when the volumetric water content of the soil was relatively high (38-48%), the best recovery from the symptoms occurred in the sites with lower moisture. A similar pattern was observed in January 2013 (31 mm of rainfall) when the recovery from the symptoms was very evident in sites with a volumetric water content of 30%, a value that is considered adequate for the healthy development of the root system of oil palm (Fig. 4).

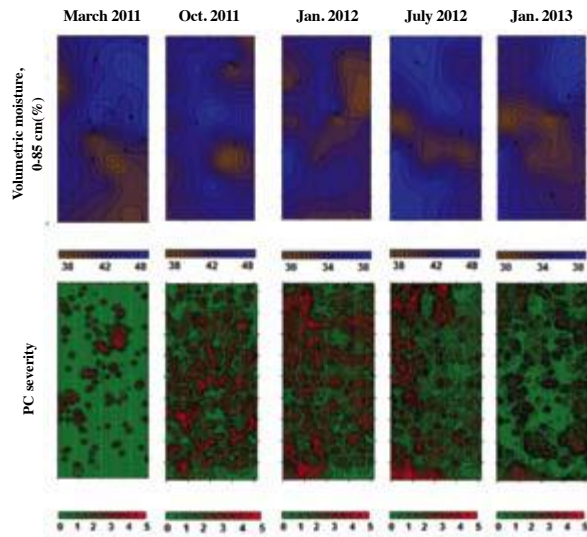


Fig. 4. Distribution and severity of PC over time according to changes in soil volumetric water content in the first 85 cm of the profile. Thirty soil samples were taken in an area that encompassed 1295 palms. The interpolations were done with the Kriging method using the Surfer 8 program.

Root density

Root density was higher during the months of lower precipitation in all the categories of plants evaluated; which was associated with better soil aeration (Figs. 5 and 6). The number of roots in affected palms was always fewer than in the other categories and notably, the recovered palms had even more roots than the apparently healthy ones (but which eventually showed symptoms); this was also observed by Albertazzi et al. 2005.

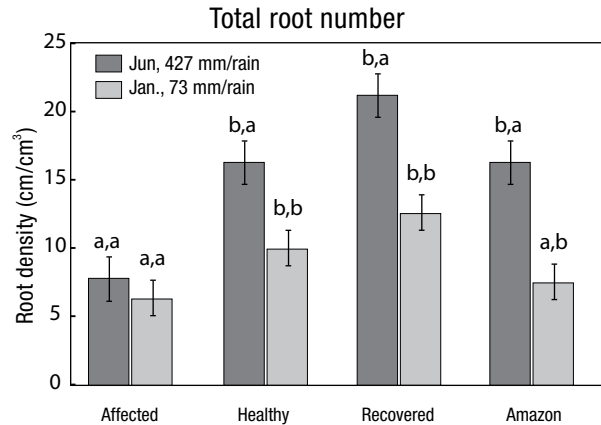


Fig. 5. Root density in three categories of palms (*E. guineensis*: Deli x Nigeria) according to their response to PC (healthy, affected and recovered). The initially healthy palms and the recovered ones had five years in the field and the affected ones had six years at the start of data collection. The OxG Amazon hybrid is tolerant and younger (2 years in the field), and is included as a reference. The samples were taken from the first 30 cm of soil at 0.5, 1 and 2 meters from the trunk in the dry (January 2012, 73 mm) and rainy seasons (June 2011, 427 mm). A comparison was done using Student's t-test between weather stations and a multiple comparison of pairs of means with the DGC test. The data are the means of 52 samples in each season (13 samples per category). The letters on the left correspond to the comparison between categories and on the right between stations. $P < 0.05$.

Palms with symptoms showed low fine root density (tertiary and quaternary) in the sample done in the season of least rainfall (January 2012: 73 mm), but this was not evident for the quaternary roots when the rains occurred (June 2011: 427 mm). Notably, root density of the palms had not managed to recover even after the rainy season had begun. In general, the loss of the fine root system occurred before the aerial symptoms of PC appeared in the initially healthy group of palms (Fig. 7).

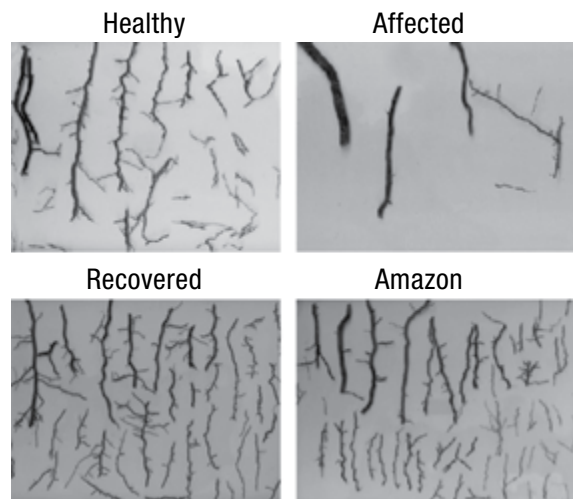


Fig. 6. Images of the roots in three categories of palms (*E. guineensis*: Deli x Nigeria variety), according to their response to PC (healthy, affected and recovered). The initially healthy palms and the recovered palms had five years in the field and the affected ones six years when data collection started. The OxG Amazon hybrid is tolerant and younger (2 years in the field), and it is included for reference. The samples were taken in January 2012 (73 mm rainfall), at one meter from the trunk using an Eijkelkamp auger) with a volume of 750 cm³.

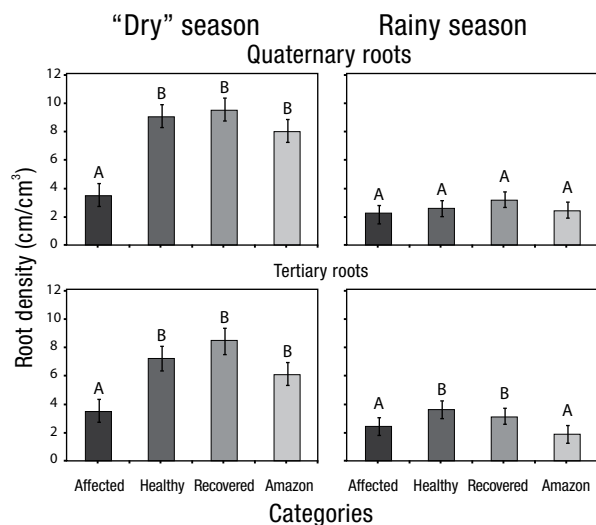


Fig. 7. Tertiary and quaternary root density in three categories of palms (*E. guineensis*, Deli x Nigeria) according to their response to PC (healthy, affected and recovered). The initially healthy palms and the recovered palms had five years in the field and the affected palms had six years at the start of data collection. The OxG Amazon hybrid is tolerant and was younger (2 years in the field), and is included for reference. The samples were taken in the first 30 cm of the soil at 0.5, 1 and 2 m from the trunk in the dry (January 2012, 73 mm) and rainy season (June 2011, 427 mm). The multiple comparison of all the pairs of means was done using the DGC test. The data are the means of 60 samples in each station and 15 samples for the categories of palms. $P < 0.05$.

Growth and phenology

One direct effect of PC was the reduction in the number of green open leaves on the affected plant as symptoms worsened, and this effect was greater during the rainy season, which was associated with the reduction of soil aeration. It was noteworthy however, that even in the group of initially healthy palms a reduction in the number of open leaves per plant occurred, which coincided with the season when the first cases of PC appeared at that site initially without the problem.

In plants with normal growth, PxS (associated with plant vigor) is expected to be larger in the new leaves produced. However, in the group of palms with symptoms, the PxS value was similar in leaves 1 and 17; which is a consequence of the disease and induced stress in the plant. However, and despite the presence of symptoms, PxS for that group of palms was clearly larger than it was for palms in the initially healthy plot; where PxS declined after a low precipitation event that occurred six months earlier. The reduction in PxS coincided with the appearance of the first cases of PC in that plot. The smaller PxS in the initially healthy palms is explained in part

because they were one year younger than the affected palms, but this could also indicate that at some point considerably before the appearance of the aerial symptoms, these were plants with vigorous development, which could have been more susceptible to a stress that limited the available resources (light, air in the soil, fertility, etc.). The drastic reduction of PxS would occur after this period of stress and could precede the appearance of the first aerial symptoms of PC (Chinchilla 2008, Albertazzi et al. 2005). In plants that remained healthy and in recovery, the trend for PxS was to increase over time as new leaves were produced (Fig. 8).

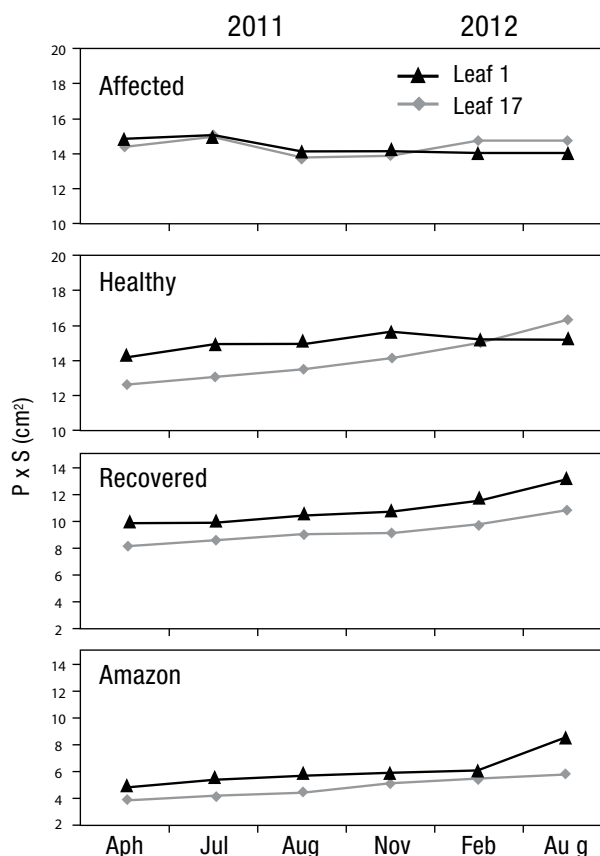


Fig. 8. Trends for PxS in leaves 1 and 17 in the phyllotaxy (April 2011 - August 2012) in three categories of palms (*Elaeis guineensis*, Deli x Nigeria) according to their response to PC (healthy, affected and recovered). The initially healthy palms and the recovered ones had five years in the field and the affected ones had six when data collection was begun. The OxG Amazon hybrid is tolerant and it was younger (2 years in the field), and it is included for reference.

Sex ratio

The number of male inflorescences increased approximately five months after periods with excessive rain (> 400 mm) occurred or even conditions with low precipitation, when the volumetric water content of the

soil fell below 30%. In particular, the number of female inflorescences in healthy and recovered palms was very low in December 2011, followed by a period with precipitation above 500 mm in some months from May to November 2010.

These high precipitation events were associated with a reduction in root abundance. In February 2012, two months after the reduction in the number of female inflorescences, the first cases of the problem (PC) appeared in the initially healthy plot. In several dioecious species, sexual expression is regulated by hormonal balances controlled by the activity and the relative dominance of the feminizing cytokinin-producing roots and the masculinizing gibberellin-producing leaves (Chailakhyan and Khrianin 1987, Corley and Tinker 2003).

Nutrients in the leaves

The content of most of the nutritive elements was from medium to high, but Fe and Mn were higher than what is considered normal. The Fe/Mn relation was low (<2:1), which indicates that the contents of Fe were deficient if they were compared with those of Mn and this has been associated with an unhealthy root system ('corchosis' or corky root disease); which has also been seen in other plants (Vargas 1996, 1999).

As usual, the young leaves had higher contents of N, P, K, Zn and Cu and the oldest ones contained more Ca, Mg, B, Fe and Mn. Nitrogen showed a particular behavior in affected palms, with higher content in the rainy season (July 2011, precipitation: 603 mm of rainfall) in the adult leaves. The chlorophyll index also indicated that the adult leaves were greener than the young ones.

The affected palms showed high levels of K in the rainy season as well as the dry, probably due to the extra applications of KCl included in the fertilization program for this lot during 2011, with the objective of reducing the severity of PC. These extra fertilizer applications possibly altered relationships between bases and between nitrogen and potassium that could have been present before symptoms appeared in the first plants.

Nevertheless, some trends can be seen, which show that changes in the relations mentioned could be associated with the appearance of some PC symptoms. For example, during the season with the least rain (April 2012, precipitation: 210 mm), the intermediate leaves (16-17) of the palms with symptoms had the maximum calculated value (3.0) for the N/K ratio.

It should also be noted that the Mg/K ratio, in young leaves as well as those of intermediate age in the plot with the initially healthy palms (where palms with symptoms eventually appeared), was consistently higher. In palms already affected and recovered, this ratio was similar. On the other hand, the Ca/Mg ratio was always higher in palms recovering from the symptoms (Table 5). Some of these imbalances were observed in other studies of palms affected by PC (Chinchilla and Durán 1999).

Table 5. Nutrient content in young (1, 2 and 3) and adult leaves (15, 16 and 17) in three categories of 'guineensis' palms, Deli x Nigeria variety (healthy, with symptoms and recovered from PC). The OxG hybrid was younger (two years) and is included as a reference only. The samples were taken in the rainy (July 2011, 603 mm) and dry seasons (April 2012, 210 mm). Each value is the average from the analysis of basal, medial and distal leaves taken compositely on three palms from each category of plant

		July 2011 (603 mm, rain)						April 2012 (210 mm, rain)																										
		Young			Adults			Young			Adults																							
		Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered	Affected	Healthy	Recovered
Macronutrientos (%)	N	2,75	3,01	3,03	3,14	2,83	2,94	2,74	2,87	2,63	2,79	2,51	2,82	2,61	2,68	2,74	2,58																	
	P	0,17	0,18	0,17	0,21	0,16	0,17	0,16	0,16	0,20	0,19	0,18	0,17	0,14	0,16	0,16	0,15																	
	K	1,49	1,47	1,34	1,49	1,31	1,23	1,29	1,17	1,79	1,49	1,67	1,50	0,87	0,25	1,27	1,12																	
	Mg	0,25	0,37	0,27	0,23	0,25	0,31	0,23	0,16	0,21	0,30	0,23	0,27	0,18	0,27	0,24	0,22																	
	Ca	0,58	0,67	0,79	0,65	0,79	0,84	0,99	0,85	0,46	0,66	0,90	0,52	1,03	0,87	1,11	1,00																	
Macronutrientos (mg/Kg)	B	14	15	13	16	19	18	18	18	25	43	44	29	32	42	37	41																	
	Zn	18	23	23	25	17	21	23	17	22	20	22	17	14	18	20	17																	
	Fe	48	50	51	47	64	59	56	63	43	65	56	68	81	73	64	95																	
	Mn	87	288	115	83	108	363	125	129	61	176	137	99	89	231	158	136																	
	Cu	7	8	8	11	6	7	6	10	6	8	7	5	5	6	6	5																	
	S	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,18	0,17	0,17	0,18	0,17																	
Relaciones	Fe/Mn	0,55	0,18	0,45	0,56	0,61	0,17	0,45	0,50	0,70	0,41	0,44	0,69	0,93	0,35	0,41	0,73																	
	N/K	1,96	2,29	2,32	2,31	2,21	2,59	2,16	2,65	1,48	2,16	1,69	1,90	3,00	2,35	2,18	2,41																	
	Ca/Mg	2,26	1,78	2,96	2,84	3,20	2,78	4,24	5,65	2,14	2,17	4,02	1,92	5,71	3,31	4,92	4,71																	
	Ca/K	0,42	0,52	0,62	0,49	0,63	0,78	0,81	0,81	0,26	0,55	0,70	0,36	1,20	0,87	0,92	0,96																	
	Mg/K	0,18	0,28	0,21	0,17	0,19	0,27	0,14	0,14	0,12	0,24	0,15	0,18	0,21	0,24	0,19	0,20																	

Conclusions and recommendations

The appearance and severity of PC in oil palm cannot be separated from a series of situations that cause stress in the plant due to imbalances in the soil-plant-environment continuum, and that can induce the unleashing of a morpho-physiological syndrome that apparently starts largely with the deterioration of the fine tertiary and quaternary roots. As expected, there are many opportunistic pathogens ready to take advantage of a predisposed plant.

In the particular case of the southern Pacific of Costa Rica, this stress was caused in part by excess water in the soil (high rainfall), physical soil characteristics and the related anaerobiosis. High volumetric water content was associated with the saturation of the soils, the low availability of oxygen for the roots and nutritional imbalances (Durán y Ortiz 1995, Peralta et al. 1985). The rainy seasons of 2010 and 2011 were very intense, with months with 800 mm or more rain; but the 'dry period' of 2012 was abnormally dry. Both factors combined contributed to an unusual deterioration of the palm root system.

The alternation of the La Niña and El Niño events can sustain conditions for long periods of time, causing massive root death (due to excesses and absences of water) and impeding the renovation of this root system. In this way, PC is transformed into a dynamic physiological disorder that is largely dependent on environmental conditions and the physiological status of the palms (age, mineral nutrition, prior history of stress), from which the plants can recover and even decline again in the face of successive stress events.

Apparently the deterioration of the root system of PC-affected oil palms and its effects on the crown is also associated with a problem of absorption and abnormal nutrient translocation. This results in the development of progressive chlorosis symptoms in the youngest leaves; symptoms that can be associated with the deficiency of non-mobile elements like iron and calcium.

The necrosis or drying of the spear leaves and the leaves undergoing expansion can be associated with an inadequate supply of carbohydrates and the low availability of some essential nutritional elements such as B and Fe, and particularly to imbalances among elements, which manifest themselves in altered relationship between elements such as Fe and Mn, the bases (Ca, Mg, K), nitrogen and potassium and possibly others in which calcium and boron intervene.

Figure 9 summarizes the most important observations from this study and gives a graphic representation of the relationships found.

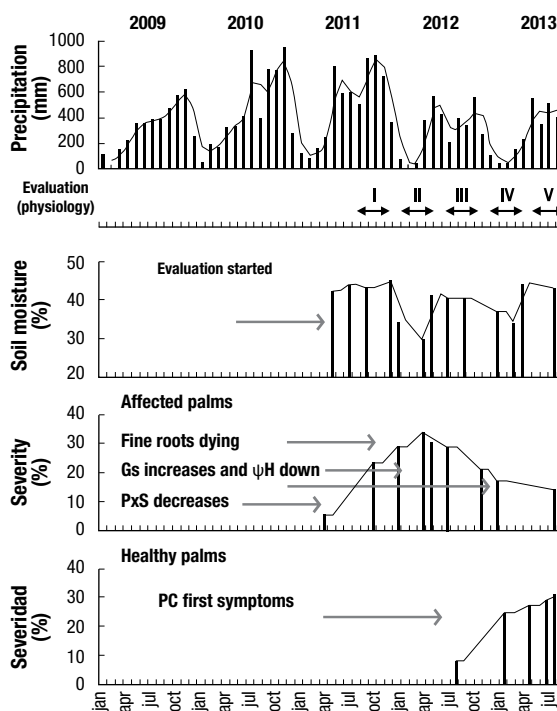


Fig. 9. Precipitation, soil moisture, PC incidence and physiological response of young oil palms. Note the high rainfall in 2010 and 2011 followed by an unusually dry period. The incidence and severity of PC intensified in the rainy season of 2011 (average rainfall: 654 mm/month), when the death of the fine roots occurred. In 2012, the first cases of PC appeared in the originally healthy plot.

Several indicators of stress and predisposition to the appearance of a disorder like PC were validated, such as changes in the PxS index, the sex ratio and stomatic behavior (in press). Another indicator, but one whose measurement is more labor-intensive, is the periodic evaluation of the abundance, quality and health of the roots (Albertazzi et al. 2005). The design and installation of rhizotrons to directly observe the oil palm root system could be a practical way to conduct a periodic and non-destructive evaluation of root phenology and health, reducing the laboriousness implicit in

the protocols for the sampling and destructive evaluation of the roots using augers.

The prevention and the treatments for the recuperation of palms with PC should be focused on the recovery of the root system, through integral improvement of the soils from a chemical, physical and microbiological point of view. This could be achieved through improvements in soil aeration, organic matter applications, the use of the appropriate fertilizers and other products and practices that promote root formation and root longevity.

Literature cited

- Akino, S; Kondo, N. 2012. Common spear rot of oil palm in Indonesia. *Plant Disease* 96:537-543.
- Albertazzi H., Bulgarelli J., Chinchilla C. 2005. Eventos previos y contemporáneos a la aparición de los síntomas de la pudrición del cogollo en palma aceitera. *ASD Oil Palm Papers* 28:21-41.
- Ayres, P. 1984. The interaction between environmental stress injury and biotic disease physiology. *Annu. Rev. Phytopathol.*22:53-75.
- Bull R., Dip B. 1954. A preliminary list of the oil palm diseases encountered in Nigeria. *J. WAIFOR* 1(2): 53-59
- Chinchilla C. Durán N. 1999. Nature and management of spear-rot like problems in oil palm: a case study in Costa Rica. *Proc. 1999 PORIM International Palm Oil Congress (Agriculture)*. Kuala Lumpur. P. 97-126
- Chinchilla, C. 2008. Las muchas caras de las pudriciones del cogollo en flecha en palma aceitera y la importancia de un enfoque práctico para su manejo. *ASD Oil Palm Papers* 32:1-25.
- Chinchilla, C. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. *ASD Costa Rica-Palma Tica* 1:1- 22.
- Chinchilla, C; Durán, N. 1998. Manejo de problemas fitosanitarios en palma aceitera: una perspectiva agronómica. *Palmas* 19:242-256.
- Corley, R; Tinker, P. 2003. *The Oil Palm*. 4ta ed. Oxford, GT, Blackwell Science. 562 p.
- Durán, N; Ortiz, R. 1995. Efecto de algunas propiedades físicas del suelo y la precipitación sobre la producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana* 6:7-14.
- Durán, N; Salas, R; Chinchilla, C; Peralta, F. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización en palma aceitera en Costa Rica. *XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de suelos*. 305-316 pp.
- Franqueville, H. 2001. Oil palm bud rot in Latin America: preliminary review of established facts and achievements. *CIRAD/BUROTROP*. 33 p.
- Gutiérrez, M; Torres, J; Araya, J. 2014. Uso de Winrhizo para el estudio y la cuantificación de las raíces de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaqt.). *Agronomía Mesoamericana* 24: 01-09.
- Henson, I; Roslan, M; Haniff, Mohd; Yahya, Z; Aishah, S. 2005. Stress development and its detection in young oil palms in North Kedah, Malasia. *Journal of Oil Palm Research* 17: 11-26.
- Lain, D. 2009. La causa de la pudrición del cogollo en palma de aceite: hipótesis biótica-edáfica. *CIAT*. Honduras. 113 p.
- Peralta, F; Vásquez, O; Richardson, D; Alvarado, A; Bornemisza. 1985. Effect of some soil physical characteristics on yield, growth and nutrition of the oil palm in Costa Rica. *Oleagineux* 40:423-436.
- Vargas, E. 1996. Hongos y bacterias aislados de raíces corchosas de café y cítricos en suelos con diferentes características. In *X Congreso Nacional Agronómico / II Congreso de Suelos*. 67-68 pp.
- Vargas, E. 1999. Principales enfermedades del palmito de pejibaye. In *palmito de pejibaye (Bactris gasipaes Kunth): su cultivo e industrialización*. J. Mora-Urpí y J.G. Echeverría (eds.). Univ. de Costa Rica.133-137 pp.
- Yarwood, C. 1976. Modification of the host response -predisposition. *Encyclopedia of Plant Physiology*. Vol. 4. *Physiological Plant Pathology*. Springer-Verlag. 702-718 pp.

Abundancia de vertebrados en plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en el Pacífico sur de Costa Rica, según el paisaje y condiciones del sitio

J. Manuel Aranda C¹, Francisco Morazán F., Diego R. Gutiérrez S., Randall Jiménez E., Anna G. Arévalo H., Natalia Díaz G., Diana Burbano, Hernán L. Coello, Luis F. Guerra, Celín Guevara, Viviana Narváez, Alberto Rico U., Javier E. Cortés S., Henrik Reinke, Lorena Lobos.

Resumen

Existen pocos estudios del impacto que tienen las plantaciones comerciales de palma aceitera sobre la biodiversidad, particularmente en América tropical. Este estudio tuvo como objetivo relacionar la riqueza de especies de vertebrados con el paisaje y condiciones particulares de varias plantaciones localizadas en el Pacífico sur de Costa Rica (Península de Osa), para lo cual se utilizó modelos lineales generalizados (MLG's) con distribución de Poisson. La riqueza de especies fue la variable de respuesta y la independiente, las características de las plantaciones. Se determinó que según las condiciones del paisaje y de las características del sitio en cada plantación, que incluyen el manejo, se podría estar contribuyendo a la formación de nuevos patrones ecológicos al proveer de alimento, refugio y zonas de paso a una variedad de fauna silvestre; lo cual da oportunidad de restablecer algunas relaciones naturales entre la fauna silvestre y el paisaje.

Introducción

El cultivo comercial de la palma aceitera presenta una dicotomía en los procesos de conservación de la vida silvestre. Por una parte, este cultivo es muy eficiente en la conversión de energía, su siembra contribuye a disminuir la erosión y las plantaciones pueden convertirse en un hábitat importante en la conservación de varias especies de vertebrados silvestres, incluyendo depredadores de especies perjudiciales. El cultivo también calza dentro del esquema de crear un agropaisaje con parches de bosque y bosque ripario para lograr la conservación de grandes felinos (Sánchez 2000, Boron y Payán 2013). El lado negativo de este y otros monocultivos a gran escala es que interrumpen la conectividad natural, disminuyen la biodiversidad y la

asociación de diversas especies y reducen la riqueza de especies en los bosques cercanos. El efecto negativo en la diversidad y abundancia de vertebrados ha sido bien documentada (Sánchez 2000, Valerio et al. 2010, Boron y Payan 2013). La pérdida de hábitat y la fragmentación son amenazas reales a la biodiversidad (Tilman et al. 200, Fahrig 2003).

El objetivo de este estudio fue identificar las especies de cada grupo taxonómico de vertebrados encontrados en las plantaciones de palma aceitera y áreas adyacentes y asociar la riqueza de las poblaciones con el paisaje y características particulares de las fincas productoras.

Palabras claves: Conectividad, paisaje, modelos generalizados, vertebrados silvestres.

¹Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Heredia 1350-3000, Costa Rica; m.aranda.coello@gmail.com

Metodología

El estudio se realizó en abril de 2013, cuando se visitó quince plantaciones de productores miembros de la cooperativa OSACOOOP y cinco fincas pertenecientes a la Compañía Palma Tica; todas ubicadas en los cantones de Osa y Golfito en la Península de Osa (Fig. 1), en el Pacífico sur de Costa Rica. El área tiene una extensión aproximada de 1750 km² (Christen 1994).

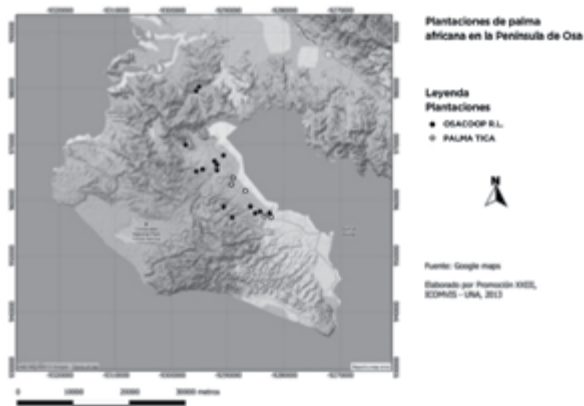


Fig. 1. Península de Osa en el Pacífico sur de Costa Rica donde se ubican las plantaciones de palma aceitera objeto del estudio sobre la abundancia de vertebrados.

Para determinar los modelos de escala local y espacial que mejor explicaran la riqueza de especies en cada grupo taxonómico, se utilizó “modelos lineales generalizados” (MLG’s) con distribución de Poisson. La riqueza de especies en cada plantación fue la variable de respuesta y las variables independientes fueron las características particulares de cada plantación, tales como la presencia o ausencia de un estrato herbáceo (plantas de 20- 100 cm de altura que cubrieran dos

tercios o más del área), cuerpos de agua (riachuelos o sitios anegados), canales de drenaje y la edad de la plantación. Las variables relacionadas con el paisaje fueron el tamaño de la plantación, la presencia o ausencia de bosque colindante (< 3 ha) y el porcentaje de cobertura boscosa. Esta última variable se estimó usando una coordenada geográfica en la zona más central a ella. El punto central se utilizó para crear franjas de amortiguación de 1000 m para aves y murciélagos (Ortega y Castro-Arellano 2001, Koh 2008) y 400 m para anfibios y reptiles (Robertson et al. 2008, Vaughan et al. 2007). Finalmente, con la ayuda de sistemas de información geográfica (Quantum GIS 1.8.0 y ArcView GIS 3.3) y mapas obtenidos de Google Earth y TELESIG, se identificó y creó capas de las áreas boscosas dentro los amortiguadores (‘buffers’) y se calculó el porcentaje total de cobertura boscosa.

Los modelos que mejor apoyaron los datos fueron revisados para determinar si tenían ‘sobre dispersión’ de los datos y corregir este sesgo. Para seleccionar entre los diferentes modelos, tanto para los de escala local y de paisaje, se utilizó el ‘criterio de información de Akaike’ para muestras pequeñas (AICc), el peso de Akaike (w) y $\Delta AICc$ (Burnham y Anderson 2002). El peso de Akaike proporciona la estimación de la calidad de un modelo particular con relación a un grupo de modelos generados, y varía de 0 (sin apoyo) a 1 (apoyo completo). Con respecto al $\Delta AICc$, los modelos con un valor ≤ 2 fueron considerados apropiados (Burnham y Anderson 2002).

Resultados

Se determinó que las plantaciones comerciales de palma aceitera y áreas aledañas en la zona de estudio eran el hábitat de numerosas especies de vertebrados y que la riqueza de especies y la salud de las poblaciones estaban relacionadas con características del paisaje y del sitio particular de cada plantación.

Anfibios y reptiles

La lista de especies de anfibios y reptiles documentadas en las plantaciones aparece en los cuadros uno y tres. El

mejor modelo para explicar la riqueza de especies de anfibios en las plantaciones a escala local (**a**) fue el que incluyó cuerpos de agua en las plantaciones ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.99$). Para la escala espacial (**b**), el mejor modelo incluyó el bosque colindante a la plantación ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.50$) (Cuadro 2).

En el caso de los reptiles, los mejores modelos a escala local (**a**) que explican la riqueza (Cuadro 4), fueron cuerpos de agua ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.26$), maleza ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.25$) y edad ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.15$).

Sin embargo, a escala de paisaje (b), fueron los que consideraban el porcentaje de cobertura boscosa ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.29$), el tamaño de la plantación ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.24$) y de los bosques colindantes ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.22$).

Cuadro 1. Especies de anfibios encontrados en plantaciones de palma aceitera y áreas vecinas en la Península de Osa, Pacífico sur de Costa Rica

Familia	Especie	Nombre común	Total de individuos	Categ. de Amenaza
Aromobatidae	<i>Allobates talamancae</i>	Ranita de hojarasca	41	LC
Bufoiidae	<i>Rhinella marina</i>	Sapo común	11	LC
Bufoiidae	<i>Inciilius melanochlorus</i>	Sapo	4	LC
Centrolenidae	<i>Espadarana prosoblepon</i>	Ranita de vidrio	3	LC
Centrolenidae	<i>Hyalinobatrachium colymbiphellum</i>	Ranita de vidrio	1	LC
Craugastoridae	<i>Craugastor fitzingeri</i>	Rana	62	LC
Craugastoridae	<i>Craugastor stejnegerianus</i>	Ranita de hojarasca	34	LC
Dendrobatidae	<i>Silverstoneia flotator</i>	Ranita de hojarasca	31	LC
Dendrobatidae	<i>Dendrobates auratus</i>	Rana venenosa	2	LC
Eleutherodactylidae	<i>Diasporus diastema</i>	Ranita campana	10	LC
Hylidae	<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	Rana	1	LC
Hylidae	<i>Dendropsophus microcephalus</i>	Rana	8	LC
Hylidae	<i>Smilisca phaeota</i>	Rana enmascarada	3	LC
Hylidae	<i>Agalychnis callidryas</i>	Rana de ojos rojos	26	LC
Hylidae	<i>Smilisca sordida</i>	Rana	4	LC
Hylidae	<i>Hypsiboas rosenbergi</i>	Rana gladiadora	2	LC
Hylidae	<i>Smilisca sila</i>	Rana	8	LC
Hylidae	<i>Scinax elaeochroa</i>	Rana	2	LC
Hylidae	<i>Smilisca sp.</i>	Rana	1	----
Leiuperidae	<i>Engystomops pustulosus</i>	Rana tungara	124	LC
Lleptodactylidae	<i>Leptodactylus poeicichilus</i>	rana	7	LC
Lleptodactylidae	<i>Leptodactylus savagei</i>	Rana toro	67	LC
Lleptodactylidae	<i>Leptodactylus bolivianus</i>	Rana	18	LC

Cuadro 2. Modelos de riqueza de especies de anfibios a escala local (a) y espacial (b) presentes en plantaciones de palma aceitera en la Península de Osa en el Pacífico sur de Costa Rica

Modelos (a)	AICc	gl	$\Delta AICc$	W
Riqueza~ cuerpos de agua	108.5	2	0	0.99
Riqueza~ cuerpos de agua + canales drenaje + edad + estrato herbáceo	119.9	6	11.4	0.003
Riqueza~ edad	121.9	2	13.3	0.001
Riqueza~ canales drenaje	121.9	3	13.3	0.001
Riqueza~ estrato herbáceo	121.9	2	13.3	0.001
Modelos (b)	AICc	gl	$\Delta AICc$	W
Riqueza~ bosque colindante	119.6	2	0	0.5
Riqueza~ % cobertura	121.8	2	2.2	0.16
Riqueza~ tamaño	121.8	2	2.3	0.15
Riqueza~ % cobertura	122.2	3	2.6	0.13
Riqueza~ bosque colindante + tamaño + % cobertura	125.4	4	5.8	0.02

AICc= criterio de información de Akaike para muestras pequeñas; gl = grados de libertad, W = peso de Akaike.

Cuadro 3. Especies de reptiles encontrados en plantaciones de palma aceitera y áreas vecinas en la Península de Osa, Pacífico sur de Costa Rica

Familia	Especie	Nombre común	Total de individuos	Categ. de Amenaza
Colubridae	<i>Enulius sclateri</i>	Culebra de tierra	1	----
Colubridae	<i>Pseustes poecilonotus</i>	Sabanera	1	LC
Corytophanidae	<i>Basiliscus basiliscus</i>	Cherepo o lagartija Jesucristo	68	----
Corytophanidae	<i>Basiliscus vittatus</i>	Cherepo o lagartija Jesucristo	5	----
Dipsadidae	<i>Leptodeira septentrionalis</i>	Culebra ranera	10	----
Gekkonidae	<i>Gonatodes albogularis</i>	Geko de cabeza roja	4	----
Gymnophthalmidae	<i>Leposoma southi</i>	Lagartija negra	13	----
Iguanidae	<i>Iguana iguana</i>	Iguana verde	6	----
Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	Garrobo	1	LC
Kinosternidae	<i>Kinosternon scorpioides</i>	Tortuga de agua	2	----
Polychrotidae	<i>Norops polylepis</i>	Lagartijas	106	----
Polychrotidae	<i>Norops limifrons</i>	Lagartijas	11	----
Polychrotidae	<i>Norops sp.</i>	Lagartijas	2	----
Polychrotidae	<i>Norops humilis</i>	Lagartijas	3	----
Plethodontidae	<i>Oedipina alleni</i>	Salamandra de cola larga	1	----
Scincidae	<i>Mabuya unimarginata</i>	Lagartija lisa	1	----
Teiidae	<i>Ameiva ameiva</i>	Chisvala	21	----
Teiidae	<i>Ameiva festiva</i>	Chisvala	48	----
Teiidae	<i>Ameiva quadrilineata</i>	Chisvala	12	LC
Teiidae	<i>Ameiva leptophrys</i>	Chisvala	18	----
Viperidae	<i>Bothrops asper</i>	Terciopelo	10	----

Cuadro 4. Modelos de riqueza de especies de reptiles a escala local (a) y espacial (b) presentes en plantaciones de palma aceitera en la Península de Osa en el Pacífico sur de Costa Rica

Modelos (a)	AICc	gl	$\Delta AICc$	W
Riqueza ~ cuerpos de agua	93.4	2	0	0.26
Riqueza ~ maleza	93.5	2	0.1	0.25
Riqueza ~ edad	94.4	2	1.1	0.15
Riqueza ~ cuerpos de agua + maleza	94.6	3	1.2	0.14
Riqueza ~ edad + maleza	95.9	3	2.5	0.07
Riqueza ~ cuerpos de agua + edad	95.9	3	2.6	0.07
Riqueza ~ cuerpos de agua + edad + maleza	97.2	4	3.8	0.04
Modelos (b)	AICc	gl	$\Delta AICc$	W
Riqueza ~ % cobertura	94.1	2	0	0.29
Riqueza ~ tamaño	94.4	2	0.3	0.24
Riqueza ~ bosque colindante	94.5	2	0.5	0.22
Riqueza ~ bosque colindante+ % cobertura	96.5	3	2.5	0.08
Riqueza ~ % cobertura + tamaño	96.7	3	2.7	0.08
Riqueza ~ bosque colindante+ tamaño	97.2	3	3.1	0.06
Riqueza ~ % cobertura + bosque colindante + tamaño	99.6	4	5.6	0.01

1. AICc = criterio de información de Akaike para muestras pequeñas; gl = grados de libertad, W = peso de Akaike.

Aves

La cantidad de aves que visitaban las plantaciones de palma aceitera en la región de estudio era muy alta (Cuadro 5). Los modelos que mejor explican la riqueza de especies (Cuadro 6) a escala local (a) son los que

Cuadro 5. Especies de aves encontradas en plantaciones de palma aceitera y áreas vecinas en la Península de Osa en el Pacífico sur de Costa Rica

Familia	Especie	Nombre común	Total de individuos	Categ. de Amenaza
Ardeidae	<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Garza tigre	5	----
Ardeidae	<i>Butulcus ibis</i>	Garza blanca	1	LC
Ardeidae	<i>Butorides virescens</i>	Garza verde	2	LC
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote cabeza negra	15	LC
Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote cabeza blanca	6	LC
Accipitridae	<i>Elanoides forficatus</i>	Gavilán tijerilla	1	LC
Accipitridae	<i>Leucopternis albigollis</i>	Halcón blanco	3	LC
Accipitridae	<i>Buteo magnirostris</i>	Gavilán pollero	10	LC
Falconidae	<i>Caracara cheriway</i>	Caracara	2	LC
Falconidae	<i>Milvago chimachina</i>	Caracara	6	LC
Falconidae	<i>Herpetotheres cachinnans</i>	Guaco	3	LC
Rallidae	<i>Aramides cajanea</i>	Gallinilla patas rosadas	11	LC
Rallidae	<i>Porphyrio martinica</i>	Gallinilla morada	4	LC
Columbidae	<i>Patagioenas nigrirostris</i>	Paloma	18	LC
Columbidae	<i>Columbina palacoti</i>	Paloma	68	LC
Columbidae	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma	19	LC
Columbidae	<i>Leptotila cassini</i>	Paloma	4	LC
Psittacidae	<i>Brotogeris jugularis</i>	Periquito	6	LC
Psittacidae	<i>Amazona autumnalis</i>	Loras	30	LC
Psittacidae	<i>Amazona farinosa</i>	Loras	15	LC
Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	Tijo	11	LC
Trochilidae	<i>Phaetornis longirostris</i>	Colibri hermitaño	11	-----
Trochilidae	<i>Phaetornis strigularis</i>	Colibri hermitaño	4	-----
Trochilidae	<i>Amazilia tzacal</i>	Colibri cola roja	8	LC
Trogonidae	<i>Trogon melanocephalus</i>	Trogon	1	LC
Trogonidae	<i>Trogon massena</i>	Trogon	1	LC
Momotidae	<i>Momotus momota</i>	Momotus	8	LC
Alcenidae	<i>Ceryle torquatus</i>	Martín pescador	1	-----
Alcenidae	<i>Ceryle alcyon</i>	Martín pescador	2	-----
Alcenidae	<i>Chloroceryle amazona</i>	Martín pescador amazónico	2	LC
Bucconidae	<i>Notharcus macrorhynchos</i>	Buco collarejo blanco	2	-----
Ramphastidae	<i>Ramphastos swainsonii</i>	Tucán	4	LC
Picidae	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	Carpintero	10	LC
Picidae	<i>Dryocopus lineatus</i>	Carpintero	4	LC
Fumaridae	<i>Dendrocincla anabatina</i>	Trepa troncos	2	LC
Fumaridae	<i>Xiphorhynchus susurrans</i>	Trepa troncos	15	LC
Fumaridae	<i>Xiphorhynchus erythropylus</i>	Trepa troncos	1	LC
Fumaridae	<i>Xiphorhynchus sp.</i>	Trepa troncos	3	LC
Thamnophilidae	<i>Thamnophilus bridgesi</i>	Hormiguero barreteado	3	LC
Thamnophilidae	<i>Myrmotherula schisticolor</i>	Hormiguero barreteado	1	LC
Thamnophilidae	<i>Microrhopias quixensis</i>	Hormiguero barreteado	1	LC
Tyrannidae	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Pecho amarillo	1	LC
Tyrannidae	<i>Legatus leucophaius</i>	Mosquerito	3	LC

incorporan la edad de la plantación ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.52$). Mientras que a escala de paisaje (b), los que incorporan el tamaño de la plantación y colindancia con bosque ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.25$) son los mejores.

Continuación de Cuadro 5

Familia	Especie	Nombre común	Total de individuos	Categ. de Amenaza
Tyrannidae	<i>Myiozetetes similis</i>	Pecho amarillo	1	LC
Tyrannidae	<i>Myiozetetes granadensis</i>	Pecho amarillo	2	LC
Tyrannidae	<i>Todirostrum cinereum</i>	Mosquerito	3	LC
Tyrannidae	<i>Attila spadiceus</i>	Mosquerito	18	LC
Tyrannidae	<i>Contopus virens</i>	Mosquerito	2	LC
Tyrannidae	<i>Contopus sp.</i>	Mosquerito	1	LC
Tyrannidae	<i>Empidonax minimus</i>	Mosquerito	1	LC
Tyrannidae	<i>Empidonax sp.</i>	Mosquerito	4	LC
Tyrannidae	<i>Megarhynchus pitangua</i>	Pecho amarillo	15	-----
Tyrannidae	<i>Myiarchus crinitus</i>	Mosquerito	1	LC
Tyrannidae	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Pecho amarillo	4	LC
Pipridae	<i>Manacus aurantiacus</i>	Manaquin	1	LC
Pipridae	<i>Lepidothrix coronata</i>	Manaquin corona azul	1	LC
Vireonidae	<i>Vireo flavifrons</i>	Vireo	1	LC
Vireonidae	<i>Vireo sp.</i>	Vireo	1	LC
Troglodytidae	<i>Thryothorus semibadius</i>	Soterrey	13	LC
Troglodytidae	<i>Thryothorus modestus</i>	Soterrey	3	LC
Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	Soterrey	5	LC
Turdidae	<i>Turdus grayi</i>	Yigüirro	25	LC
Parulidae	<i>Dendroica pensylvanica</i>	Reinita	2	LC
Parulidae	<i>Dendroica petechia</i>	Reinita	8	LC
Parulidae	<i>Seiurus noveboracensis</i>	Reinita	10	-----
Traupidae	<i>Eucometis penicillata</i>	Tangara de cabeza gris	1	LC
Traupidae	<i>Piranga olivacea</i>	Tangara roja	3	LC
Traupidae	<i>Ramphocelus costaricensis</i>	Sargento	147	LC
Traupidae	<i>Tangara larvata</i>	Tangara siete colores	5	LC
Traupidae	<i>Thraupis episcopus</i>	Viudita	25	LC
Traupidae	<i>Dacnis cayana</i>	Viudita azul	1	LC
Traupidae	<i>Cyanerpes cayeneus</i>	Mielero	2	LC
Emberizidae	<i>Oryzoborus funereus</i>	Semilleritos	7	LC
Emberizidae	<i>Sporophila americana</i>	Semilleritos	5	LC
Emberizidae	<i>Sporophila schitacea</i>	Semilleritos	3	LC
Emberizidae	<i>Arremon aurantirostris</i>	Gorrion pico naranja	3	LC
Emberizidae	<i>Arremonops conirostris</i>	Gorrion verde	4	LC
Cardinalidae	<i>Saltator maximus</i>	Saltator	11	LC
Icteridae	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate	12	LC
Icteridae	<i>Icterus galbula</i>	Baltimore	1	LC
Icteridae	<i>Cacicus uropygialis</i>	Baltimore	2	LC
Fringillidae	<i>Euphonia luteicapilla</i>	Eufonia	7	LC
Fringillidae	<i>Euphonia sp.</i>	Eufonia	2	LC
Incertae sedis	<i>Coereba flaveola</i>	Bananaquit	2	----
Incertae sedis	<i>Tityra inquisitor</i>	Pájaro chanco	1	LC
Incertae sedis	<i>Tityra semifasciata</i>	Pájaro chanco	2	LC

Cuadro 6. Modelos de riqueza de especies de aves a escala local (a) y espacial (b) presentes en las plantaciones de palma aceitera en la Península de Osa en el sur de Costa Rica

Modelos (a)	AICc	gl	Δ AICc	W
Riqueza ~ edad	155.3	2	0	0.52
Riqueza ~ cuerpos de agua + edad	155.4	3	0.1	0.48
Riqueza ~ cuerpos de agua	178.8	2	23.5	<0.001
Modelos (b)	AICc	gl	Δ AICc	W
Riqueza ~ tamaño	140	2	0	0.52
Riqueza ~ bosque colindante + tamaño	141.5	3	1.4	0.25
Riqueza ~ % cobertura + tamaño	142.3	3	2.3	0.16
Riqueza ~ bosque colindante + % cobertura + tamaño	144.6	4	4.6	0.05
Riqueza ~ bosque colindante + % cobertura	178.5	3	38.4	<0.001
Riqueza ~ bosque colindante	178.5	2	38.5	<0.001
Riqueza ~ % cobertura	183.2	2	43.1	<0.001

AICc = criterio de información de Akaike para muestras pequeñas; gl = grados de libertad, W = peso de Akaike.

Mamíferos (excepto murciélagos)

Las especies de mamíferos documentados en la región que pueden visitar las plantaciones de palma aceitera y áreas vecinas aparecen en el cuadro siete. Para los mamíferos de tamaños mediano y grande, el modelo que considera los cuerpos de agua en las plantaciones de palma es el que mejor explica la riqueza de especies a escala local (a) (Δ AICc \leq 2, w = 0.71). Por otro lado, el modelo que incluyó el bosque colindante en las plantaciones de palma fue el que mejor apoyó los datos a escala de paisaje (b) (Δ AICc \leq 2, w = 0.98).

Cuadro 7. Especies de mamíferos medianos y grandes documentados como visitantes en plantaciones de palma aceitera en la Península de Osa en el Pacífico sur de Costa Rica

Familia	Especie	Nombre común	Total de individuos	Categ. de Amenaza
Didelphidae	<i>Caluromys derbianus</i>	Zorro de balsa	1	LC
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro pelón	5	LC
Didelphidae	<i>Chironectes minimus</i>	Zorro de agua	1	LC
Didelphidae	<i>Didelphis sp.</i>	Zorro	1	----
Didelphidae	<i>Philander oposum</i>	Zorro cuatro ojos	4	LC
Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero	2	LC
Megalonychidae	<i>Choloepus hoffmanni</i>	Perezoso de dos dedos	1	LC
Dasyproctidae	<i>Dasyprocta novemcinctus</i>	Armadillo	2	LC
Cebidae	<i>Cebus capucinus</i>	Mono carablanca	44	LC
Cebidae	<i>Saimiri oerstedii</i>	Mono titi	36	VU
Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	Tepezcuittle	1	LC
Geomysidae	<i>Orthogeomys underwoodi</i>	Taltuza	1	LC
Sciuridae	<i>Sciurus granatensis</i>	Ardilla	16	LC
Sciuridae	<i>Sciurus variegatoides</i>	Ardilla	1	LC
Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>	Mapache	21	LC

Continuación de Cuadro 7

Familia	Especie	Nombre común	Total de individuos	Categ. de Amenaza
Procyonidae	<i>Potos flavus</i>	Martilla	19	LC
Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Pizote	1	LC
Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Tolomuco	1	LC
Mustelidae	<i>Lontra longicaudis</i>	Nutria	4	DD
Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zornillo	2	LC
Tayassuidae	<i>Pecari tajacu</i>	Saino	3	LC
Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	Manigordo	1	LC
Cervidae	<i>Mazama americana</i>	Cabrillo de monte	2	DD

Cuadro 8. Modelos de riqueza de especies de mamíferos medianos y grandes a escala local (a) y espacial (b) presentes en las plantaciones de palma aceitera en la Península de Osa en el sur de Costa Rica

Modelos (a)	AICc	gl	Δ AICc	W
Riqueza~ cuerpos de agua	86.5	2	0	0.71
Riqueza~ edad	90	2	3.5	0.12
Riqueza~ canales drenaje	90.5	3	4	0.09
Riqueza~ estrato herbáceo	91.3	2	4.8	0.063
Riqueza~ cuerpos de agua + edad + canales drenaje + estrato herbáceo	98.4	2	11.9	0.01
Modelos (b)	AICc	gl	Δ AICc	W
Riqueza~ bosque colindante	78.1	3	0	0.98
Riqueza~ bosque colindante + distancia poblados + tamaño + % cobertura	87.5	2	9.5	0.008
Riqueza~ distancia poblados	89.6	2	11.6	0.03
Riqueza~ % cobertura	90.6	2	12.5	0.01
Riqueza~ tamaño	92.5	2	14.5	<0.001

AICc = criterio de información de Akaike para muestras pequeñas; gl = grados de libertad, W = peso de Akaike

Murciélagos

Las especies de murciélagos asociadas con las plantaciones de palma aceitera aparecen en el cuadro nueve. El modelo que mejor explica la riqueza a escala local (a), es el que considera la edad de las plantaciones de palma (Δ AICc \leq 2, w = 0.58). Con respecto al paisaje (b), se encontró que la riqueza es explicada por el tamaño de la plantación (Δ AICc \leq 2, w = 0.47) y el aditivo que incorpora el tamaño de la plantación y la colindancia con bosque (Δ AICc \leq 2, w = 0.26) (cuadro 10).

Cuadro 9. Especies de murciélagos documentados en plantaciones de palma aceitera y áreas vecinas en la Península de Osa en el Pacífico sur de Costa Rica

Familia	Especie	Nombre común	Total de individuos	Categ. de Amenaza
Phyllostomidae	<i>Artibeus lituratus</i>	Murciélago	42	LC
Phyllostomidae	<i>Artibeus jamaicensis</i>	Murciélago	59	LC
Phyllostomidae	<i>Carollia perspicillata</i>	Murciélago	11	LC
Phyllostomidae	<i>Carollia brevicauda</i>	Murciélago	18	LC
Phyllostomidae	<i>Carollia castanea</i>	Murciélago	6	LC
Phyllostomidae	<i>Dermanura phaeotis</i>	Murciélago	14	---
Phyllostomidae	<i>Dermanura watsoni</i>	Murciélago	8	---
Phyllostomidae	<i>Desmodus rotundus</i>	Murciélago	1	LC
Phyllostomidae	<i>Glossophaga soricina</i>	Murciélago	11	LC
Phyllostomidae	<i>Hylonycteris underwoodi</i>	Murciélago	3	LC
Phyllostomidae	<i>Lichonycteris obscura</i>	Murciélago	2	LC
Phyllostomidae	<i>Phyllostomus discolor</i>	Murciélago	5	LC
Phyllostomidae	<i>Micronycteris sp.</i>	Murciélago	1	LC
Emballonuridae	<i>Saccopteryx bilineata</i>	Murciélago	1	LC
Phyllostomidae	<i>Sturmira ludovici</i>	Murciélago	4	LC
Phyllostomidae	<i>Sturmira lilium</i>	Murciélago	1	LC
Phyllostomidae	<i>Trachops cirrhosus</i>	Murciélago	1	LC
Phyllostomidae	<i>Uroderma bilobatum</i>	Murciélago	47	LC

Cuadro 10. Modelos de riqueza de especies de murciélagos a escala local (a) y espacial (b) presentes en las plantaciones de palma aceitera en la Península de Osa en el sur de Costa Rica

Modelos (a)	AICc	gl	ΔAICc	W
Riqueza~ edad	91.9	2	0	0.58
Riqueza~ cuerpos de agua	93.8	2	1.8	0.23
Riqueza~ edad + cuerpos de agua	94.1	3	2.2	0.19
Modelos (b)				
Riqueza~ bosque colindante	89.6	2	0	0.47
Riqueza~ bosque colindante + tamaño	90.8	3	1.2	0.26
Riqueza~ bosque colindante + % cobertura	92.5	3	2.8	0.11
Riqueza~ bosque colindante + % cobertura + tamaño	94	4	4.3	0.05
Riqueza~ % cobertura	94.4	2	4.7	0.04
Riqueza~ tamaño	94.5	2	4.9	0.04
Riqueza~ % cobertura + tamaño	96.6	3	7	0.01

AICc = criterio de información de Akaike para muestras pequeñas; gl = grados de libertad, W = peso de Akaike

Discusión y conclusiones

La riqueza de especies de anfibios encontrada en las plantaciones de palma aceitera en la zona de estudio puede deberse a la relación y dependencia que existe entre los cuerpos de agua, remanentes de bosque y los modos reproductivos de ciertas especies (los renacuajos se desarrollan en cuerpos de agua), pertenecientes a las familias Hylidae, Centrolenidae y Bufonidae (Lynch et al. 1996, Guayasamin et al. 2009). No obstante, otras especies de la familia Bufonidae se pueden encontrar en áreas abiertas y zonas más perturbadas con cuerpos de agua efímeros o pozos artificiales de agua estancada para su reproducción (Duellman & Trueb 1986). Esta es la situación en las huellas de las llantas de maquinaria agrícola por ejemplo.

Algunas especies de la familia Hylidae como el género *Scinax* spp. se reproducen en cuerpos de agua lénticos (sin movimiento); por lo que su registro es más común en zonas pantanosas e inmediaciones de esteros de bajo caudal (Duellman & Trueb 1986); estos ambientes se encontraron principalmente en borde de las plantaciones.

Varias especies de reptiles tienen gran dependencia de la maleza y del bosque colindante, pero los cúmulos de hojas que se cortan de las palmas durante la cosecha de los frutos, ofrece un nicho muy utilizado en donde obtienen refugio de sus depredadores y encuentran alimento en la forma de insectos y pequeños roedores (obs. pers. Aranda-Coello 2013).

La riqueza de especies de aves dentro de las plantaciones disminuye cuando hay presencia de bosque colindante. En plantaciones extensivas de palma en Tailandia, en donde no existen remanentes de bosque, la riqueza de aves es muy baja (41 especies en plantaciones vs. 108 en el bosque), y sólo se encuentran especies comunes (Aratrakorn et al. 2006). Adicionalmente, en las plantaciones de mayor extensión, la complejidad estructural es menor y la disponibilidad de recursos variados cercanos a ellas también disminuye (Remsem & Robinson 1990). En Tailandia, en las plantaciones con 5 000- 25 000 hectáreas, la diversidad de aves era muy baja (Aratrakorn et al. 2006).

La tendencia inversa que se observó entre la edad de la plantación y el número de las especies observadas posiblemente se debe a que conforme crecen las palmas e incrementa la complejidad estructural y la altura de la plantación, se dificulta detectar algunas especies.

Otros estudios realizados en Rivas, Nicaragua y en Cañas, Costa Rica (Cárdenas et al. 2003; Lang et al. 2003; Vílchez et al. 2004; Harvey et al. 2006) indican que los agropaisajes con significativa cobertura arbórea ayudan a conservar una porción significativa de la biodiversidad original, siempre que se mantenga una cobertura vegetal heterogénea y abundante. Ello concuerda con los resultados de este trabajo, en donde los modelos a escala de paisaje, mostraron que la riqueza de mamíferos aumenta considerablemente si hay algún remanente de bosque colindante con la plantación. Si bien el porcentaje de cobertura circundante medido en este estudio no parece explicar por completo tal riqueza, la presencia de bosques contiguos a la plantación son relevantes siempre y cuando estos remanentes estén conectados de alguna forma.

De acuerdo al modelo más parsimonioso, cuando hay cobertura boscosa continua a la plantación, y el tamaño de la plantación es menor, la riqueza de murciélagos aumenta. Esto puede estar ocurriendo porque las palmas no representan la variedad de recursos que requieren muchos grupos de murciélagos como los nectarívoros. La alta riqueza en plantaciones con bosque aledaño puede ser el resultado de que son usadas como sitios de paso hacia otros remanentes cercanos. La riqueza de especies de murciélagos disminuye a medida que aumenta el tamaño de la plantación.

En plantaciones extensas, solamente las especies que forrajejan, o que potencialmente se alimentan de los frutos de la palma aceitera son abundantes. Las especies dependientes de bosque, además de no tener diversidad de alimento, no poseen la diversidad de sitios de refugio como troncos de árboles huecos (Bernard & Fenton 2000). Dentro de la plantación, la variable que explica mejor la disminución de la riqueza, es la edad de la misma, lo cual puede deberse a la dificultad de observar y capturar los individuos en palmas de mayor edad.

Se concluye que las plantaciones de palma en la Península de Osa están contribuyendo a la formación de nuevos patrones ecológicos al proveer de alimento, refugio y zonas de paso a una variedad de fauna silvestre. El cultivo permite restablecer algunas relaciones naturales entre la fauna silvestre y el paisaje, en tanto se mantenga la estructura donde las plantaciones limiten con sitios protegidos. Sin embargo, hay que tener claro que la conservación de la fauna silvestre no representa una consecuencia per se de lo anterior, por lo que también hay que generar estrategias consensuadas con el agricultor para mejorar la comprensión de la situación actual de la fauna y fortalecer el sentido de apropiación hacia todos los componentes de la naturaleza.

No hay duda que la presencia de muchas plantaciones de pocas hectáreas de extensión, particularmente las pertenecientes a pequeños productores independientes o asociados en cooperativas, las cuales tienen en la cercanía remanentes de bosques y la presencia de numerosos cuerpos de agua, favorece la gran diversidad biológica encontrada en la zona.

Agradecimientos

A la cooperativa OSACOOOP y Al Sr. Huascar Blanco, Gestor Ambiental de Palma Tica Oficina de Coto por el apoyo y facilidades para realizar el trabajo. Al ICOMVIS-UNA por financiar parcialmente la realización de esta investigación.

Literatura citada

- Aratrakorn, S., S. Thunhikorn y P. F. Donald. 2006. Changes in bird communities following conversion of lowland forest to oil palm and rubber plantations in southern Thailand. *Bird Conservation International*. 16: 71–82.
- Bernard, E., y M. B. Fenton. 2003. Bat mobility and roosts in a fragmented landscape in central Amazonia, Brazil. *Biotropica*. 35(2): 262-277.
- Boron, V. y E. Payán. 2013. Abundancia de carnívoros en el agropaisaje de las plantaciones de palma de aceite del valle medio del río Magdalena, Colombia. p. 166–176 en C. Castaño-Uribe, J. F. González-Maya, D. Zárrate-Charry, C. Ange-Jaramillo y I.M. Vela-Varga. Editores. Plan de Conservación de Felinos del Caribe colombiano: Los felinos y su papel en la planificación regional integral basada en especies clave.
- Cárdenas, C., C. Harvey, M. Ibrahim y B. Finegan. 2003. Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10:78-85.
- Christen, C. 1994. Development and conservation on Costa Rica's Osa Peninsula, 1937-1977: A regional case study of historical land use policy and practice in a small neotropical country. Tesis de maestría. The Johns Hopkins University: Maryland, EE.UU.
- Fahrig, 2003. Effects of hábitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 34: 487-515.
- Guayasamin, J. M., S. Castroviejo-Fisher, L. Trueb, J. Ayarzagüena, M. Rada y C. Vilá. 2009. Phylogenetic systematics of Glassfrogs (Amphibia: Centrolenidae) and their sister taxon *Allophryne ruthveni*. *Zootaxa*. 2100: 1–97.
- Harvey, C. Sáenz, J. 2006. Evaluación y conservación de biodiversidad paisajes fragmentados de Mesoamérica, INBio, Heredia, Cost Rica.
- Lang, I., L. Gormey, C. A. Harvey y C. Villanueva. 2004. Composición de la comunidad de aves en cercas vivas de Río Frío, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10:86-92.
- Lynch, J.D., P.M. Ruiz-Carranza y M.C. Ardila-Robayo. 1996. Biogeographic patterns of Colombian frog and toads. *Revista Académica Colombiana Ciencia* 21(80): 237-248.
- Remsem, J. y S. Robinson. 1990. A classification scheme for foraging behaviour of birds in terrestrial habitats. *Studies in Avian Biology*. 13: 144-160.
- Sánchez, S. 2000. Vertebrados registrados en una parcela de palma aceitera en Tabasco México. ASR OIL Palm Paper. p. 20.
- Tilman D, Fargione J, Wolff B, D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, Schindler D, Schlesinger WH, Simberloff D & Swackhamer D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*. 292 (5515): 281-4.
- Vílchez, S., C. A. Harvey, D. Sánchez, A. Medina y B. Hernández. 2004. Diversidad de aves en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas, Nicaragua. *Encuentro* 36:60-75.

Vertebrate abundance in oil palm (*Elaeis guineensis*) plantations in the southern Pacific of Costa Rica, according to landscape and site conditions

*J. Manuel Aranda C¹, Francisco Morazán F., Diego R. Gutiérrez S.,
Randall Jiménez E., Anna G. Arévalo H., Natalia Díaz G.,
Diana Burbano, Hernán L. Coello, Luis F. Guerra, Celín Guevara,
Viviana Narváez, Alberto Rico U., Javier E. Cortés S.,
Henrik Reinke, Lorena Lobos.*

Abstract

There are few studies of the impact that commercial oil palm plantations have on biodiversity, particularly for tropical America. The objective of this study was to relate vertebrate species richness with the landscape and the particular conditions of several plantations located in the southern Pacific region of Costa Rica (Osa Peninsula), using generalized linear models (GLMs) with a Poisson distribution. Species richness was the response variable and plantation characteristics were the independent variables.

It was determined that landscape conditions and site characteristics at each plantation, including management, could be contributing to the formation of new ecological patterns by providing food, refuge and crossing areas for a variety of wildlife species, thereby providing an opportunity to restore some natural relationships between wildlife and the landscape.

Introduction

The commercial oil palm crop presents a dichotomy in wildlife conservation processes. This crop is very efficient at energy conversion, its cultivation helps reduce erosion and the plantations can become important habitat for the conservation of several wild vertebrate species, including predators of harmful species. The crop can also be part of an agro-landscape with patches of forest and riparian forest for the conservation of large cats (Sánchez 2000, Boron and Payán 2013). The negative side of this and other large-scale monocultures is that they interrupt natural connectivity, reduce biodiversity and associations of

many species, and reduce species richness in forests nearby. The negative effect on vertebrate diversity and abundance has been well documented (Sánchez 2000, Valerio et al. 2010, Boron and Payan 2013). Habitat loss and fragmentation are real threats to biodiversity (Tilman et al. 200, Fahrig 2003).

The objective of this study was to identify the species in each taxonomic group of vertebrates found in the oil palm plantations and adjacent areas and associate the richness of the populations with the landscape and the particular characteristics of the producing farms.

Keywords: Connectivity, landscape, generalized models, wild vertebrates.

¹International Institute on Conservation and Wildlife Management,
National University, Heredia 1350-3000, Costa Rica; m.aranda.coello@gmail.com

Methods

The study was carried out in April 2013, when fifteen plantations of producer members of the OSACOOOP cooperative and five farms belonging to the Compañía Palma Tica were visited; all are in the cantons of Osa and Golfito on the Osa Peninsula (Fig. 1), in the southern Pacific region of Costa Rica. The area is approximately 1750 km² (Christen 1994).

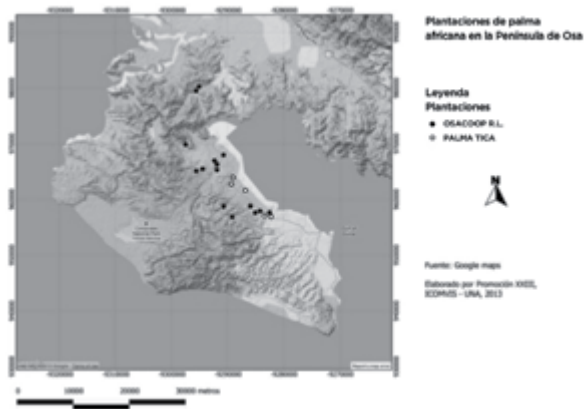


Fig. 1. Locations of oil palm plantations for the study of vertebrate abundance on the Osa Peninsula in the southern Pacific region of Costa Rica.

To determine the local and spatial scale models that would best explain species richness in each taxonomic group, generalized linear models (GLMs) with a Poisson distribution were used. Species richness in each plantation was the response variable and the independent variables were the particular characteristics of each plantation, such as the presence or absence of an herbaceous stratum (plants 20-100 cm high that covered two-thirds or more of the area), bodies

of water (streams or flooded sites), drainage channels and the age of the plantation. The variables related to landscape were plantation size, the presence or absence of contiguous forest (< 3 ha) and the percentage of forest cover. This last variable was estimated using a geographic coordinate in its most central area. The central point was used to create 1000-meter buffer strips for birds and bats (Ortega and Castro-Arellano 2001, Koh 2008) and 400-meter strips for amphibians and reptiles (Robertson et al. 2008, Vaughan et al. 2007). Finally, with the aid of geographic information systems (Quantum GIS 1.8.0 and ArcView GIS 3.3) and maps obtained from Google Earth and TELESIG, forest areas within buffer areas were identified and layers were created to calculate total percent forest cover.

The models that best supported the data were reviewed to determine whether they could detect 'overdispersion' in the data in order to correct for this bias. To choose between the different models for local scale and for landscape scale, the 'Akaike information criterion' (AICc) was used for small samples, Akaike weight (w) and $\Delta AICc$ (Burnham and Anderson 2002). Akaike weight provides an estimate of the quality of a particular model with respect to a group of models generated, and it varies from 0 (no support) to 1 (full support). With respect to $\Delta AICc$, models with a value ≤ 2 were considered appropriate (Burnham and Anderson 2002).

Results

It was determined that the commercial oil palm plantations in the study area were habitat for numerous vertebrate species and that species richness and population health were related to the characteristics of the landscape and the particular plantation site.

Amphibians and reptiles

The lists of amphibian and reptile species documented in the plantations appear in Tables 1 and 3. The best model to explain amphibian species

richness in plantations at the local scale (**a**) was the inclusion of water bodies on the plantations ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.99$). For the spatial scale (**b**), the best model included forest contiguous with the plantation ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.50$) (Table 2).

In the case of reptiles, the best models at the local scale (**a**) to explain richness (Table 4) were water bodies ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.26$), weeds ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.25$) and age ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.15$).

However, at the landscape scale (b), it was the features of percent forest cover ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.29$), plantation size ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.24$) and presence of adjacent forest ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.22$).

Table 1. Species of amphibians found in oil palm plantations and adjacent areas on the Osa Peninsula, southern Pacific region of Costa Rica

Family	Specie	Common name	Number of individuals	Category of threat
Aromobatidae	<i>Allobates talamancae</i>	Talamanca rocket frog	41	LC
Bufo	<i>Rhinella marina</i>	Cane toad	11	LC
Bufo	<i>Inciilius melanochlorus</i>	Dark green toad	4	LC
Centrolenidae	<i>Espadarana prosoblepon</i>	Emerald glass frog	3	LC
Centrolenidae	<i>Hyalinobatrachium colymbiphellum</i>	Plantation glass frog	1	LC
Craugastoridae	<i>Craugastor fitzingeri</i>	Fitzinger's robber frog	62	LC
Craugastoridae	<i>Craugastor stejnegerianus</i>	Stejneger's robber frog	34	LC
Dendrobatidae	<i>Silverstoneia flotator</i>	Rainforest rocket frog	31	LC
Dendrobatidae	<i>Dendrobates auratus</i>	Green poison-arrow frog	2	LC
Eleutherodactylidae	<i>Diasporus diastema</i>	Tink frog	10	LC
Hylidae	<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	Hourglass tree frog	1	LC
Hylidae	<i>Dendropsophus microcephalus</i>	Small-headed tree frog	8	LC
Hylidae	<i>Smilisca phaeota</i>	Masked tree frog	3	LC
Hylidae	<i>Agalychnis callidryas</i>	Red-eye leaf frog	26	LC
Hylidae	<i>Smilisca sordida</i>	Drab tree frog	4	LC
Hylidae	<i>Hypsiboas rosenbergi</i>	Gladiator frog	2	LC
Hylidae	<i>Smilisca sila</i>	Panama cross-banded tree frog	8	LC
Hylidae	<i>Scinax elaeochroa</i>	Sipurio snouted tree frog	2	LC
Hylidae	<i>Smilisca sp.</i>	?	1	----
Leioleptidae	<i>Engystomops pustulosus</i>	Tungara frog	124	LC
Lleptodactylidae	<i>Leptodactylus poecilochilus</i>	Turbo White-lipped frog	7	LC
Lleptodactylidae	<i>Leptodactylus savagei</i>	Savage's thin-toed frog	67	LC
Lleptodactylidae	<i>Leptodactylus bolivianus</i>	Bolivian toad-frog	18	LC

Table 2. Species richness models at local scale (a) and spatial scale (b) for amphibians in oil palm plantations on the Osa Peninsula in the southern Pacific region of Costa Rica

Models (a)	AICc	gl	$\Delta AICc$	W
Richness~ water bodies	108.5	2	0	0.99
Richness~ water bodies + drainage canals + age + herbaceous stratum	119.9	6	11.4	0.003
Richness~ age	121.9	2	13.3	0.001
Richness~ drainage canals	121.9	3	13.3	0.001
Richness~ herbaceous stratum	121.9	2	13.3	0.001
Models (b)	AICc	gl	$\Delta AICc$	W
Richness~ adjacent forest	119.6	2	0	0.5
Richness~ % cover	121.8	2	2.2	0.16
Richness~ size	121.8	2	2.3	0.15
Richness~ % cover	122.2	3	2.6	0.13
Richness~ adjacent forest + size + % cover	125.4	4	5.8	0.02

AICc= Akaike information criterion for small samples; gl = degrees of freedom, W = Akaike weight.

Table 3. Reptile species found in oil palm plantations and adjacent areas on the Osa Peninsula, southern Pacific region of Costa Rica

Family	Specie	Common name	Number of individuals	Category of threat
Colubridae	<i>Enulius sclateri</i>	Sock headed snake	1	----
Colubridae	<i>Pseustes poecilonotus</i>	Puffing snake	1	LC
Corytophanidae	<i>Basiliscus basiliscus</i>	Common basilisk	68	----
Corytophanidae	<i>Basiliscus vittatus</i>	Brown basilisk	5	----
Dipsadidae	<i>Leptodeira septentrionalis</i>	Cat-eyed snake	10	----
Gekkonidae	<i>Gonatodes albogularis</i>	Yellow-headed gecko	4	----
Gymnophthalmidae	<i>Leposoma southi</i>	Leaf litter lizard	13	----
Iguanidae	<i>Iguana iguana</i>	Green iguana	6	----
Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	Black iguana	1	LC
Kinosternidae	<i>Kinosternon scorpioides</i>	Scorpion mud turtle	2	----
Polychrotidae	<i>Norops polylepis</i>	Lizard	106	----
Polychrotidae	<i>Norops limifrons</i>	Slender anole	11	----
Polychrotidae	<i>Norops sp.</i>	Anole	2	----
Polychrotidae	<i>Norops humilis</i>	Ground anole	3	----
Plethodontidae	<i>Oedipina alleni</i>	Long-tail salamander	1	----
Scincidae	<i>Mabuya unimarginata</i>	Central America mabuya	1	----
Teiidae	<i>Ameiva ameiva</i>	Green ameiva	21	----
Teiidae	<i>Ameiva festiva</i>	Tiger ameiva	48	----
Teiidae	<i>Ameiva quadrilineata</i>	Four-lined whiptail	12	LC
Teiidae	<i>Ameiva leptophrys</i>	Delicate whiptail	18	----
Viperidae	<i>Bothrops asper</i>	Fer-de-lance	10	----

Table 4. Species richness models at local scale (a) and spatial scale (b) for reptiles in oil palm plantations on the Osa Peninsula in the southern Pacific region of Costa Rica

Models (a)	AICc	gl	$\Delta AICc$	W
Richness ~ water bodies	93.4	2	0	0.26
Richness ~ weeds	93.5	2	0.1	0.25
Richness ~ age	94.4	2	1.1	0.15
Richness ~ water bodies + weeds	94.6	3	1.2	0.14
Richness ~ age + weeds	95.9	3	2.5	0.07
Richness ~ water bodies + age	95.9	3	2.6	0.07
Richness ~ water bodies + age + weeds	97.2	4	3.8	0.04
Models (b)	AICc	gl	$\Delta AICc$	W
Richness ~ % cover	94.1	2	0	0.29
Richness ~ size	94.4	2	0.3	0.24
Richness ~ adjacent forest	94.5	2	0.5	0.22
Richness ~ adjacent forest+ % cover	96.5	3	2.5	0.08
Richness ~ % cover + size	96.7	3	2.7	0.08
Richness ~ adjacent forest + size	97.2	3	3.1	0.06
Richness ~ % cover + adjacent forest + size	99.6	4	5.6	0.01

1. AICc = Akaike information criterion for small samples; gl = degrees of freedom, W = Akaike weight.

Birds

The number of bird species visiting oil palm plantations in the study region was very high (Table 5). The models that best explained species richness (Table 6) at the local scale (a) were those that incorporated

plantation age ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.52$). At the landscape scale (b), those that incorporated plantation size and adjacent forest ($\Delta AICc \leq 2$, $w = 0.25$) were the best models.

Table 5. Bird species found in oil palm plantations on the Osa Peninsula in the southern Pacific region of Costa Rica

Family	Specie	Common name	Number of individuals	Category of threat
Ardeidae	<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Bare-throated tiger heron	5	----
Ardeidae	<i>Bubulcus ibis</i>	Cattle egret	1	LC
Ardeidae	<i>Butorides virescens</i>	Green heron	2	LC
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Black vulture	15	LC
Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Turkey vulture	6	LC
Accipitridae	<i>Elanoides forficatus</i>	American swallow-tail kite	1	LC
Accipitridae	<i>Leucopternis albicollis</i>	White hawk	3	LC
Accipitridae	<i>Buteo magnirostris</i>	Roadside hawk	10	LC
Falconidae	<i>Caracara cheriway</i>	Northern crested caracara	2	LC
Falconidae	<i>Milvago chimachina</i>	Yellow-headed caracara	6	LC
Falconidae	<i>Herpetotheres cachinnans</i>	Laughing falcon	3	LC
Rallidae	<i>Aramides cajanea</i>	Gray-necked Wood-rail	11	LC
Rallidae	<i>Porphyrio martinica</i>	Purple gallinule	4	LC
Columbidae	<i>Patagioenas nigrirostris</i>	Short-billed pigeon	18	LC
Columbidae	<i>Columbina palacoti</i>	Ruddy ground-dove	68	LC
Columbidae	<i>Leptotila verreauxi</i>	White-tipped dove	19	LC
Columbidae	<i>Leptotila cassini</i>	Gray-chested dove	4	LC
Psittacidae	<i>Brotogeris jugularis</i>	Orange-chinned parakeet	6	LC
Psittacidae	<i>Amazona autumnalis</i>	Red-tored parrot	30	LC
Psittacidae	<i>Amazona farinosa</i>	Mealy parrot	15	LC
Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	Smooth-billed ani	11	LC
Trochilidae	<i>Phaetornis longirostris</i>	Long-billed hermit	11	----
Trochilidae	<i>Phaetornis strigularis</i>	Little hermit	4	----
Trochilidae	<i>Amazilia tzacal</i>	Rufous-tailed humming	8	LC
Trogonidae	<i>Trogon melanocephalus</i>	Black-headed trogon	1	LC
Trogonidae	<i>Trogon massena</i>	Slaty-tail trogon	1	LC
Momotidae	<i>Momotus momota</i>	Blue-crown motmot	8	LC
Alcenidae	<i>Ceryle torquatus</i>	Ringed kingfisher	1	----
Alcenidae	<i>Ceryle alcyon</i>	Belted kingfisher	2	----
Alcenidae	<i>Chloroceryle amazona</i>	Amazon kingfisher	2	LC
Bucconidae	<i>Notharcus macrorhynchos</i>	White-necked puffbird	2	----
Ramphastidae	<i>Ramphastos swainsonii</i>	Chestnut-mandibled toucan	4	LC
Picidae	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	Red-crown woodpecker	10	LC
Picidae	<i>Dryocopus lineatus</i>	Lineated woodpecker	4	LC
Furnariidae	<i>Dendrocincla anabatina</i>	Tawny-winged woodcreeper	2	LC
Furnariidae	<i>Xiphorhynchus susurrans</i>	Buff-throated woodcreeper	15	LC
Furnariidae	<i>Xiphorhynchus erythropygius</i>	Spotted woodcreeper	1	LC
Furnariidae	<i>Xiphorhynchus sp.</i>	Woodcreeper	3	LC
Thamnophilidae	<i>Thamnophilus bridgesi</i>	Black-hooded antshrike	3	LC
Thamnophilidae	<i>Myrmotherula schisticolor</i>	Slaty antwren	1	LC
Thamnophilidae	<i>Microrhopias quixensis</i>	Dotted-winged antwren	1	LC
Tyrannidae	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tropical kingbird	1	LC
Tyrannidae	<i>Legatus leucophaeus</i>	Piratic flycatcher	3	LC

Continuation of Table 5

Family	Specie	Common name	Number of individuals	Category of threat
Tyrannidae	<i>Myiozetetes similis</i>	Social flycatcher	1	LC
Tyrannidae	<i>Myiozetetes granadensis</i>	Gray-capped flycatcher	2	LC
Tyrannidae	<i>Todirostrum cinereum</i>	Common tody-flycatcher	3	LC
Tyrannidae	<i>Attila spadiceus</i>	Bright-rumped attila	18	LC
Tyrannidae	<i>Contopus virens</i>	Eastern-wood pewee	2	LC
Tyrannidae	<i>Contopus sp.</i>	Pewee	1	LC
Tyrannidae	<i>Empidonax minimus</i>	Least flycatcher	1	LC
Tyrannidae	<i>Empidonax sp.</i>	Flycatcher	4	LC
Tyrannidae	<i>Megarhynchus pitangua</i>	Boat-billed flycatcher	15	----
Tyrannidae	<i>Myiarchus crinitus</i>	Great crested flycatcher	1	LC
Tyrannidae	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Great kiskadee	4	LC
Pipridae	<i>Manacus aurantiacus</i>	Orange-collared manakin	1	LC
Pipridae	<i>Lepidothrix coronata</i>	Blue-crown manakin	1	LC
Vireonidae	<i>Vireo flavifrons</i>	Tellow-green vireo	1	LC
Vireonidae	<i>Vireo sp.</i>	Vireo	1	LC
Troglodytidae	<i>Thryothorus semibadius</i>	Riverside wren	13	LC
Troglodytidae	<i>Thryothorus modestus</i>	Plain wren	3	LC
Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	House wren	5	LC
Turdidae	<i>Turdus grayi</i>	Clay-colored robin	25	LC
Parulidae	<i>Dendroica pensylvanica</i>	Chestnut-sided warbler	2	LC
Parulidae	<i>Dendroica petechia</i>	Yellow warbler	8	LC
Parulidae	<i>Seiurus noveborocensis</i>	Northern waterthrush	10	----
Traupidae	<i>Eucometis penicillata</i>	Gray-headed tanager	1	LC
Traupidae	<i>Piranga olivacea</i>	Scarlet tanager	3	LC
Traupidae	<i>Ramphocelus costaricensis</i>	Scarlet-rumped tanager	147	LC
Traupidae	<i>Tangara larvata</i>	Golden-hooded tanager	5	LC
Traupidae	<i>Thraupis episcopus</i>	Blue-gray tanager	25	LC
Traupidae	<i>Dacnis cayana</i>	Blue dacnis	1	LC
Traupidae	<i>Cyanerpes cyaneus</i>	Red-legged honeycreeper	2	LC
Emberizidae	<i>Oryzoborus funereus</i>	Thick-billed seed-finch	7	LC
Emberizidae	<i>Sporophila americana</i>	Wing-barred seedeater	5	LC
Emberizidae	<i>Sporophila schitacea</i>	Slate-collared seedeater	3	LC
Emberizidae	<i>Arremon aurantirostris</i>	Orange-billed sparrow	3	LC
Emberizidae	<i>Arremonops conirostris</i>	Black striped sparrow	4	LC
Cardinalidae	<i>Saltator maximus</i>	Buff-throated saltator	11	LC
Icteridae	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Great-tailed grackle	12	LC
Icteridae	<i>Icterus gálbula</i>	Baltimore oriole	1	LC
Icteridae	<i>Cacicus uropygialis</i>	Scarlet-rumped cacique	2	LC
Fringillidae	<i>Euphonia luteicapilla</i>	Yellow-crowned euphonia	7	LC
Fringillidae	<i>Euphonia sp.</i>	Euphonia	2	LC
Incertae sedis	<i>Coereba flaveola</i>	Bananquit	2	----
Incertae sedis	<i>Tityra inquisitor</i>	Black-crowned tityra	1	LC
Incertae sedis	<i>Tityra semifasciata</i>	Masked tityra	2	LC

Table 6. Species richness models at local scale (a) and spatial scale (b) for birds found in oil palm plantations on the Osa Peninsula in southern Costa Rica

Models (a)	AICc	gl	Δ AICc	W
Richness ~ age	155.3	2	0	0.52
Richness ~ water bodies				
+ age	155.4	3	0.1	0.48
Richness ~ water bodies	178.8	2	23.5	<0.001
Models (b)				
Richness ~ size	140	2	0	0.52
Richness ~ adjacent forest				
+ size	141.5	3	1.4	0.25
Richness ~ % cover + size	142.3	3	2.3	0.16
Richness ~ adjacent forest + % cover + size	144.6	4	4.6	0.05
Richness ~ adjacent forest + % cover	178.5	3	38.4	<0.001
Richness ~ adjacent forest	178.5	2	38.5	<0.001
Richness ~ % cover	183.2	2	43.1	<0.001

AICc = Akaike information criterion for small samples; gl = degrees of freedom, W = Akaike weight.

Mammals (except bats)

The mammal species documented for the region that can occur in oil palm plantations and neighboring areas are listed in Table 7. For medium and large-size mammals, the model that considered water bodies in the palm plantations was the one that best explained species richness at the local scale (a) (Δ AICc \leq 2, w = 0.71). On the other hand, the model that included adjacent forest in the palm plantations was the one that best supported the data at the landscape scale (b) (Δ AICc \leq 2, w = 0.98).

Table 7. Medium and large-size mammal species documented as visitors in oil palm plantations on the Osa Peninsula in the southern Pacific region of Costa Rica

Family	Specie	Common name	Number of individuals	Category of threat
Didelphidae	<i>Caluromys derbianus</i>	Woolly opossum	1	LC
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Common opossum	5	LC
Didelphidae	<i>Chironectes minimus</i>	Water opossum	1	LC
Didelphidae	<i>Didelphis sp.</i>	Opossum	1	----
Didelphidae	<i>Philander oposum</i>	Gray four-eyed opossum	4	LC
Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>	Northern tamandua	2	LC
Megalonychidae	<i>Choloepus hoffmanni</i>	Two-toed sloth	1	LC
Dasypodidae	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Nine-banded armadillo	2	LC
Cebidae	<i>Cebus capucinus</i>	White-headed capuchin	44	LC
Cebidae	<i>Saimiri oerstedii</i>	Squirrel monkey	36	VU
Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	Agouti	1	LC
Geomysidae	<i>Orthogeomys underwoodi</i>	Underwood's pocket gopher	1	LC
Sciuridae	<i>Sciurus granatensis</i>	Red-tailed squirrel	16	LC
Sciuridae	<i>Sciurus variegatoides</i>	Variegated squirrel	1	LC
Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>	Raccoon	21	LC

Continuation of Table 7

Family	Specie	Common name	Number of individuals	Category of threat
Procyonidae	<i>Potos flavus</i>	Kinkajou	19	LC
Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	White-nosed coati	1	LC
Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	Tayra	1	LC
Mustelidae	<i>Lontra longicaudis</i>	Otter	4	DD
Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Hog-nosed skunk	2	LC
Tayassuidae	<i>Pecari tajacu</i>	Collared peccary	3	LC
Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelot	1	LC
Cervidae	<i>Mazama americana</i>	Red brocket	2	DD

Table 8. Species richness models at local scale (a) and spatial scale (b) for medium and large-size mammals found in oil palm plantations on the Osa Peninsula in southern Costa Rica.

Models (a)	AICc	gl	Δ AICc	W
Richness~ water bodies	86.5	2	0	0.71
Richness~ age	90	2	3.5	0.12
Richness~ drainage canals	90.5	3	4	0.09
Richness~ herbaceous stratum	91.3	2	4.8	0.063
Richness~ water bodies + age + drainage canals + herbaceous stratum	98.4	2	11.9	0.01
Models (b)				
Richness~ adjacent forest	78.1	3	0	0.98
Richness~ adjacent forest + distance to towns + size + % cover	87.5	2	9.5	0.008
Richness~ distance to towns	89.6	2	11.6	0.03
Richness~ % cover	90.6	2	12.5	0.01
Richness~ size	92.5	2	14.5	<0.001

AICc = Akaike information criterion for small samples; gl = degrees of freedom, W = Akaike weight.

Bats

The bat species associated with oil palm plantations are listed in Table 9. The model that best explained richness at the local scale (a) was the one that considered palm plantation age (Δ AICc \leq 2, w = 0.58). With respect to the landscape (b), richness was explained by plantation size (Δ AICc \leq 2, w = 0.47) and the combination of plantation size and presence of adjacent forest (Δ AICc \leq 2, w = 0.26) (Table 10).

Table 9. Bat species documented in oil palm plantations on the Osa Peninsula in the southern Pacific region of Costa Rica

Family	Species	Common name	Number of individuals	Category of threat
Phyllostomidae	<i>Artibeus lituratus</i>	Great fruit-eating bat	42	LC
Phyllostomidae	<i>Artibeus jamaicensis</i>	Jamaica fruit-eating bat	59	LC
Phyllostomidae	<i>Carollia perspicillata</i>	Seba's short-tailed bat	11	LC
Phyllostomidae	<i>Carollia brevicauda</i>	Silky short-tailed bat	18	LC
Phyllostomidae	<i>Carollia castanea</i>	Chestnut short-tailed bat	6	LC
Phyllostomidae	<i>Dermanura phaeotis</i>	Pigmy fruit-eating bat	14	----
Phyllostomidae	<i>Dermanura watsoni</i>	Dwarf fruit bat	8	----
Phyllostomidae	<i>Desmodus rotundus</i>	Common vampire bat	1	LC
Phyllostomidae	<i>Glossophaga soricina</i>	Long-tongued bat	11	LC
Phyllostomidae	<i>Hylonycteris underwoodi</i>	Underwood's long-tongued bat	3	LC
Phyllostomidae	<i>Lichonycteris obscura</i>	Dark long-tongued bat	2	LC
Phyllostomidae	<i>Phyllostomus discolor</i>	Pale spear-nosed bat	5	LC
Phyllostomidae	<i>Micronycteris sp.</i>	Murciélago	1	LC
Emballonuridae	<i>Saccopteryx bilineata</i>	Greater sac-winged bat	1	LC
Phyllostomidae	<i>Sturmira ludovici</i>	High land yellow-shouldered bat	4	LC
Phyllostomidae	<i>Sturmira lilium</i>	Little yellow-shouldered bat	1	LC
Phyllostomidae	<i>Trachops cirrhosus</i>	Fringe-lipped bat	1	LC
Phyllostomidae	<i>Uroderma bilobatum</i>	Tent-making bat	47	LC

Table 10. Models of bat species richness at the local scale (a) and the spatial scale (b) present in the oil palm plantations on the Osa Peninsula in southern Costa Rica

Models (a)	AICc	gl	Δ AICc	W
Richness~ age	91.9	2	0	0.58
Richness~ water bodies	93.8	2	1.8	0.23
Richness~ age + water bodies	94.1	3	2.2	0.19
Models (b)				
Richness~ adjacent forest	89.6	2	0	0.47
Richness~ adjacent forest + size	90.8	3	1.2	0.26
Richness~ adjacent forest + % cover	92.5	3	2.8	0.11
Richness~ adjacent forest + % cover + size	94	4	4.3	0.05
Richness~ % cover	94.4	2	4.7	0.04
Richness~ size	94.5	2	4.9	0.04
Richness~ % cover + size	96.6	3	7	0.01

AICc = criterio de información de Akaike para muestras pequeñas; gl = grados de libertad, W = peso de Akaike

Discussion and conclusions

Amphibian species richness in oil palm plantations of the study area could be due to the relationship and dependency between water bodies, forest remnants and the reproductive modes of certain species (tadpoles that must develop in bodies of water), belonging to the families Hylidae, Centrolenidae and Bufonidae (Lynch et al. 1996, Guayasamin et al. 2009). Nevertheless, other species of the Bufonidae family can be found in open areas and more disturbed zones with ephemeral water bodies or artificial pools of stagnant water for their reproduction (Duellman & Trueb 1986), for example, in the tire tracks left behind by agricultural machinery.

Some species of the Hylidae family in the genus *Scinax* reproduce in lentic (non-moving) water bodies, therefore they are more commonly recorded in swampy areas and in the vicinity of estuaries with low flows (Duellman & Trueb 1986); these environments were mainly found along plantation edges.

Several reptile species are highly dependent on weeds and adjacent forest, but the piles of leaves

that are cut off from the palms during fruit harvesting offer a strongly utilized niche where they obtain refuge from their predators and find food in the form of insects and small rodents (pers. obs. Aranda-Coello 2013).

Bird species richness within plantations diminished when adjacent forest was present. In the extensive palm plantations of Thailand where there are no forest remnants, bird species richness is very low (41 species in plantations versus 108 in the forest), and only common species are found (Aratrakorn et al. 2006). In plantations with larger area, structural complexity is lower and the availability of varied resources nearby also diminishes (Remsem & Robinson 1990). In Thailand on plantations with 5,000-25,000 hectares, bird diversity was very low (Aratrakorn et al. 2006). As palms grow and plantation height and structural complexity increase, it becomes more difficult to detect certain species; this could explain the inverse trend found between plantation age and number of species observed.

Other studies done in Rivas, Nicaragua and Cañas, Costa Rica (Cárdenas et al. 2003; Lang et al. 2003; Vílchez et al. 2004; Harvey et al. 2006) indicated that agro-landscapes with significant tree cover helped conserve a significant portion of the original biodiversity, as long as heterogeneous and abundant plant cover was maintained; this is consistent with the findings of this work, where models at the landscape scale showed mammal richness increasing considerably where there was some remnant of adjacent forest with the plantation. Although the percentage of the surrounding cover measured in this study does not appear to explain such richness fully, the presence of forests contiguous to the plantation are relevant as long as these remnants are somehow connected.

In accordance with the most parsimonious model, when forest cover is continuous with the plantation and plantation size is smaller, bat species richness increases. This could be occurring because the palms do not provide the variety of resources that many groups of bats, such as the nectarivores, require. High richness in plantations with bordering forest can be due to their use as crossing areas to other remnants nearby. Bat species richness diminishes to the extent that plantation size increases. In extensive plantations, only the species that forage or that potentially feed on oil palm fruits are abundant. Forest-dependent species, in

addition to not having diverse foods, do not have diversity of refuge sites such as hollow tree trunks (Bernard & Fenton 2000). Within the plantation, the variable that best explains the reduction of richness is the plantation's age, which can be due to the difficulty of observing and capturing individuals in older palms.

It is concluded that oil palm plantations on the Osa Peninsula were contributing to the formation of new ecological patterns by providing food, refuge and crossing areas to a variety of wildlife. The crop is helping to restore some natural relationships between wildlife and the landscape, to the extent that the structure where the plantations border protected sites is maintained. However, it should be understood that wildlife conservation is not necessarily a consequence of the above per se and consensualized strategies should be pursued with farmers to improve comprehension of the current wildlife situation and strengthen the sense of appropriation toward all components of nature.

Undoubtedly the presence of many plantations with a few hectares of area, particularly those belonging to small independent producers or associates in cooperatives, with forest remnants and the presence of numerous bodies of water nearby, foster the high biological diversity found in the zone.

Acknowledgements

We are grateful to the OSACCOOP cooperative and Mr. Huascar Blanco, Environmental Manager of the Palma Tica Office in Coto, for providing support and facilities for this work.

We also thank ICOMVIS-UNA for partially funding this research.

Literature cited

- Aratrakorn, S., S. Thunhikorn y P. F. Donald. 2006. Changes in bird communities following conversion of lowland forest to oil palm and rubber plantations in southern Thailand. *Bird Conservation International*. 16: 71–82.
- Bernard, E., y M. B. Fenton. 2003. Bat mobility and roosts in a fragmented landscape in central Amazonia, Brazil. *Biotropica*. 35(2): 262-277.
- Boron, V. y E. Payán. 2013. Abundancia de carnívoros en el agropaisaje de las plantaciones de palma de aceite del valle medio del río Magdalena, Colombia. p. 166–176 en C. Castaño-Uribe, J. F. González-Maya, D. Zárrate-Charry, C. Ange-Jaramillo y I.M. Vela-Varga. Editores. Plan de Conservación de Felinos del Caribe colombiano: Los felinos y su papel en la planificación regional integral basada en especies clave.
- Cárdenas, C., C. Harvey, M. Ibrahim y B. Finegan. 2003. Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10:78-85.
- Christen, C. 1994. Development and conservation on Costa Rica's Osa Peninsula, 1937-1977: A regional case study of historical land use policy and practice in a small neotropical country. Tesis de maestría. The Johns Hopkins University: Maryland, EE.UU.
- Fahrig, 2003. Effects of hábitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 34: 487-515.
- Guayasamin, J. M., S. Castroviejo-Fisher, L. Trueb, J. Ayarzagüena, M. Rada y C. Vilá. 2009. Phylogenetic systematics of Glassfrogs (Amphibia: Centrolenidae) and their sister taxon *Allophryne ruthveni*. *Zootaxa*. 2100: 1–97.
- Harvey, C. Sáenz, J. 2006. Evaluación y conservación de biodiversidad paisajes fragmentados de Mesoamérica, INBio, Heredia, Cost Rica.
- Lang, I., L. Gormey, C. A. Harvey y C. Villanueva. 2004. Composición de la comunidad de aves en cercas vivas de Río Frío, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10:86-92.
- Lynch, J.D., P.M. Ruiz-Carranza y M.C. Ardila-Robayo. 1996. Biogeographic patterns of Colombian frog and toads. *Revista Académica Colombiana Ciencia* 21(80): 237-248.
- Remsem, J. y S. Robinson. 1990. A classification scheme for foraging behaviour of birds in terrestrial habitats. *Studies in Avian Biology*. 13: 144-160.
- Sánchez, S. 2000. Vertebrados registrados en una parcela de palma aceitera en Tabasco México. ASR OIL Palm Paper. p. 20.
- Tilman D, Fargione J, Wolff B, D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, Schindler D, Schlesinger WH, Simberloff D & Swackhamer D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*. 292 (5515): 281-4.
- Vílchez, S., C. A. Harvey, D. Sánchez, A. Medina y B. Hernández. 2004. Diversidad de aves en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas, Nicaragua. *Encuentro* 36:60-75.



Ph.(506) 2284-1120 / 2257-2666 · Fax (506) 2257-2667 · E-mail: sales@asd-cr.com
Web site: www.asd-cr.com · P.O. Box 30-1000 San José, Costa Rica