



ISSN
1019-1100

NUMBER 45, 2015

ASD OIL PALM PAPERS



Evolution Blue. A new oil palm variety with superior characteristics: high yielding and precocity, high oil content in the bunches and reduced vegetative growth.
Evolution Blue. Una nueva variedad de palma aceitera con características superiores: alto rendimiento de fruto y aceite, alta precocidad y reducido crecimiento vegetativo.



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

Number 45

2015

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. *Evolution Blue: a new oil palm variety with reduced growth and high oil content*
9. Evolution Blue: una nueva variedad de palma aceitera de reducido crecimiento y alto aceite
A. Alvarado , J. Henry
17. *Recovery of oil palms (Elaeis guineensis Jacq.) affected by spear rots*
30. Recuperación de palmas aceiteras (Elaeis guineensis Jacq.) afectadas por pudriciones del cogollo
Henry Jeremy, Gutiérrez Marco, Torres Joaquín, Chinchilla Carlos, Escobar Ricardo, Mata Rafael,
Arauz Felipe

Cover page

Evolution Blue. A new oil palm variety with superior characteristics:
high yielding and precosity, high oil content in the bunches and reduced
vegetative growth.

Evolution Blue. Una nueva variedad de palma aceitera con características
superiores: alto rendimiento de fruta y aceite, alta precocidad y reducido
crecimiento vegetativo.

Evolution Blue: a new oil palm variety with reduced growth and high oil content

A. Alvarado¹, J. Henry²

Abstract

The development of varieties with high oil and kernel production potential per area comprise the primary objective of oil palm breeding programs. ASD Costa Rica developed a new variety named Evolution Blue, which is characterized by high production and reduced growth. Evolution Blue was obtained from the crossing of a maternal population with low vegetative growth ('compact' growth) derived from the advanced BC₁F₂ generation (second filial generation, F₂, from the first cycle of backcrossing, BC₁)³ from a palm identified as the original "compact palm", and the pollen source from an Evolution composite origin. The ASD "compact" population shows slow trunk growth, reduced leaf length and moderate tolerance to spear rots. Most of the complementary traits are concentrated in the Evolution paternal line: high fruit production and high oil content in the bunch. This article summarizes the work done to develop this variety and documents the behavior of the progenitors for commercial seed production and the preliminary results of the progeny trials carried out in Indonesia and Costa Rica. About 400 mother palms were selected in this first generation (22% of the population), that will be used to consolidate a new variety that tolerates high planting densities (160-170 plants/hectare) and achieves average oil productivities above eight tons per hectare per year.

Keywords: oil palm breeding, *Elaeis guineensis*, ASD Costa Rica

¹ ASD de Costa Rica, P. O. Box 30-1000, San José, Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com

² ASD de Costa Rica, j.hbejarano@asd-cr.com

³ The successive generations from backcrossing (BC₁, BC₂, BC₃) are defined starting with the original compact palm and this will be indicated throughout the document (for greater clarity, see table 1 and figure 1).

Evolution Blue: a new variety of oil palm with reduced growth and high oil content

Introduction

Since the decade of the 1970s, the work of ASD Costa Rica's oil palm breeding program concentrated on the development of varieties with slow trunk growth and short leaves. This phenotype, initially called 'compact', helps improve land use efficiency because it enables the planting of more palms per unit area and helps prolong the useful life of a plantation.

Specific combinations of *dura* mother palms (female progenitors) from populations with 'compact' growth, crossed with *pisifera* palms of *Elaeis guineensis* from advanced generations (male progenitors), have produced varieties now referred to as 'high density', which can be planted at densities of 160 to 170 palms per hectare (depending on soil and climatic conditions), making it possible to achieve average yields of nine or more tons of oil per hectare per year (Alvarado et al. 2006, Escobar & Alvarado 2004, Mohd Din et al. 2014).

ASD introduced seeds from Papua, New Guinea, which had a genetic combination unique among *tenera* palms; subsequently this gave rise to a population of composite *pisifera* palms⁴ that was given the name Evolution. The most outstanding traits in this population are that it is highly precocious and has elevated oil content in the bunch.

This article describes the selection process for the female progenitors of 'compact' origin and the paternal source of Evolution, as well as the combination of superior individuals that gave rise to a new 'composite' variety, with high oil production that can be planted at high density. The Evolution Blue variety also has moderate tolerance to the disorder known as bud rot or spear rot (Franqueville 2003).

Development of the maternal population of 'compact' origin BC₁F₃

More than 35 years of field trials with several backcrossing cycles were needed to fix the 'compact' phenotype (Sterling et al. 1987; Escobar & Alvarado 2004). The palm that originated this population was called the 'original compact palm' and approximately 25% of its genome was genes from *Elaeis oleifera*. To improve bunch composition and yield potential, several sources of *Elaeis guineensis* from improved populations were used, during three cycles. This process segregated different recombinant populations, the product of the mixing of '*oleifera*' and '*guineensis*' genes in diverse proportions (Escobar & Alvarado 2004) (Table 1).

Table 1. Concentration (theoretical proportion) of <i>Elaeis oleifera</i> genes in several populations of 'compact' origin	
Population	<i>E. oleifera</i> genes
OxG hybrid* (open pollination)	50%
Original compact palm (OCP)	25%
First backcross (BC ₁)	12.5%
Sub population: BC ₁ F ₁	12.5%
Sub population: BC ₁ F ₂	12.5%
Sub population: BC ₁ F ₃	12.5%
Sub population: BC ₁ F ₁ x <i>E. guineensis</i>	6.25%
Second backcross (BC ₂)	6.25%
Sub population: BC ₂ F ₁	6.25%
Sub population: BC ₂ F ₂	6.25%
Third backcross (BC ₃)	3.125%

* OxG = *E. oleifera* x *E. guineensis* hybrid, BC = backcross, F = filial generation

⁴Palms that result from the mixing of germplasm among selected advanced lines are referred to as composites.

In each backcrossing cycle, specific crosses were made to concentrate and stabilize the production and growth traits in advanced F₁, F₂ and F₃ generations, as shown in figure 1 for the populations derived from the first cycle (BC₁).

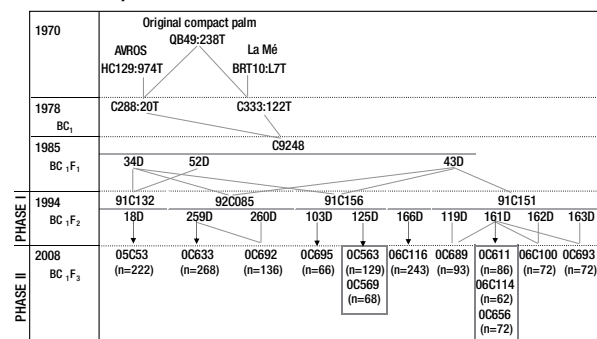


Fig. 1. Genealogy of the *dura* 'compact' population developed at ASD Costa Rica, which was used to develop the Evolution Blue variety.

The maternal BC₁F₃ and BC₂F₂ populations were planted in 2008. The weaknesses of the first population (lower percentages of oil in the mesocarp and oil in the bunch) were overcome in the BC₂F₂ population. However, the BC₁F₃ *dura* population was superior in bunch production (116 vs. 97 kg), shorter trunk height (172 vs. 214 cm), and shorter leaf length (368 vs. 431 cm) (Table 2). Some families of the BC₁F₃ population have high oil unsaturation as reflected in their iodine index values (65 on average vs. 55 in *E. guineensis* varieties), which is a trait inherited from *E. oleifera*.

Origin	FFB	TH	LL	M/F	O/M	O/B
Compact BC₁F₃						
Average	120.3	172	368	60.5	42.1	17.4
Minimum	74.2	141	319	55.8	34.0	13.5
Maximum	157.0	212	424	63.6	45.2	20.5
Standard deviation	18.9	15	34	2.4	2.4	1.3
C.V (%)	15.7	9	9	3.9	5.8	7.7
Compact BC₂F₂						
Average	98.1	214	431	62.2	49.1	20.6
Minimum	45.6	168	378	55.9	40.0	16.4
Maximum	136.4	282	468	69.3	55.1	24.6
Standard deviation	19.6	24	24	3.2	3.7	2.2
C.V (%)	20.0	11	6	5.2	7.5	10.7
Deli <i>dura</i>						
Average	104.9	267	531	67.1	44.2	20.7
Minimum	44.5	202	428	58.6	36.3	14.5
Maximum	163.8	380	685	72.3	51.1	25.6
Standard deviation	24.8	37	54	2.9	2.9	2.0
C.V (%)	23.7	14	10	4.3	6.5	9.6

FFB = fresh fruit, kg/palm/year (4.5 years of evaluation); TH = trunk height measured at the base of the petiole of leaf 6, 48 months, cm; LL = leaf length, 48 months, cm; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

Based on the behavior of the two maternal populations, it was thought that the development of the new varieties for 'high density planting' could be concentrated in the descendants of the first backcrossing cycle, BC₁. The 'high density' maternal population BC₁F₂ was planted in 1994 (10 families and 203 palms) and sufficient variability was found to select the best families for the next selection cycle. During the period evaluated, fresh fruit bunch production varied between 84 and 124 kg per palm, and the percentage of oil in the bunch varied from 16.6 to 19.6% (Table 3).

The next generation BC₁F₃ was obtained from ten palms selected from four families: 91C132, 91C151, 91C156 and 92C085. These are characterized by having higher contents of oil in the mesocarp (48.8%, family 91C132), reduced trunk growth and shorter leaf length (61 cm and 363 cm, respectively, family 91C151), and a higher percentage of mesocarp in the fruit (60.3% in 91C151 and 58.0% in 91C156), with respect to the entire population (Table 3).

Family	Female	Male	n	FFB	TH	LL	M/F	O/M	O/B	
91C053	52D	34D	24	115.8	78	437	57.0	47.4	18.2	
91C110	34D	52D	12	104.8	76	428	54.3	45.4	17.7	
91C137	15D	52D	23	112.1	68	436	50.9	44.5	17.4	
91C192	52D	52D	20	119.0	103	426	57.9	45.0	18.4	
91C212	15D	43D	10	120.7	99	441	54.9	43.4	18.1	
91C220	52D	43D	24	124.5	82	422	57.2	44.4	17.9	
91C132	34D	52D	23	121.3	89	438	55.5	48.8	19.6	
91C151	43D	43D	24	83.5	61	363	60.3	43.4	17.7	
91C156	34D	43D	24	110.6	69	413	58.0	44.7	17.9	
92C085	43D	34D	19	92.6	73	405	55.1	42.9	16.6	
Av.				203	110.5	80	421	56.1	45.0	18.0

n = number of palms per family; FFB = fresh fruit, kg/palm/year (3.8 years of evaluation); TH = trunk height at leaf 41, 60 months of age, cm; LL = leaf length, 60 months, cm; M/F = mesocarp in fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

The ten palms selected are high producers (up to 150 kg of fresh fruit/year), they have shorter trunks and shorter leaves (75 and 395 cm on average, respectively), and more mesocarp in the fruit (57.2 vs. 56.1%) with respect to the total population. Palms 161 and 162 were outstanding due to their reduced leaf lengths (333 and 344 cm, respectively) and high iodine indices (66.5 and 65.0).

The ten palms selected are high producers (up to 150 kg of fresh fruit/year), they have shorter trunks and shorter leaves (75 and 395 cm on average, respectively), and more mesocarp in the fruit (57.2 vs. 56.1%) with respect to the total population. Palms 161 and 162 were outstanding due to their reduced leaf lengths (333 and 344 cm, respectively) and high iodine indices (66.5 and 65.0). Other palms such as numbers 18 (151 kg) and 166 (156 kg) showed the highest fruit production and oil in the bunch (19.9 and 19.7%, respectively), while palm number 125 had the highest percentage of mesocarp in the fruit (62.1%) (Table 4).

Family	Palm	FFB	TH	LL	M/F	O/M	O/B
91C132	18	150.4	88	474	55.7	46.9	19.9
91C151	119	103.3	69	387	58.1	41.7	17.7
91C151	161	96.2	69	333	58.9	45.1	18.3
91C151	162	98.3	81	344	53.8	43.2	16.6
91C151	163	78.2	66	351	57.9	44.0	18.5
91C156	103	91.8	47	420	57.2	44.2	17.2
91C156	125	140.3	94	371	62.1	40.8	17.5
91C156	166	156.3	91	438	57.0	48.7	19.7
92C085	259	105.8	66	430	57.3	44.1	17.7
92C085	260	134.9	78	400	53.9	46.1	18.1
Experiment 203		110.5	80	421	56.1	45.0	18.0
Selected	10	115.5	75	395	57.2	44.5	18.1

FFB = fresh fruit, kg/palm/year (3.8 years of evaluation); TH = trunk height at leaf 41, 60 months of age, cm; LL = leaf length, 60 months, cm; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %, O/B = oil in the bunch, %.

The superior palms were self-pollinated and crossed with each other to obtain ten families BC1F3, which were planted in 2008 (Fig. 1). The first selection of mother palms was made from five families when the palms were six years old, taking into consideration high fruit production, health, architecture (better light penetration favored by the short, curved, non-erect leaves with a leaflet arrangement that is favorable to the passage of light through the crown), reduced trunk growth and high oil production. The group of palms selected was outstanding for their higher fruit (131 vs. 115 kg) and oil (18.7 vs. 17.5%) production, when compared to the averages for the total population (Table 5).

Expt.	Family	Female	Male	n	FFB	TH	LL	M/F	O/M	O/B	
CB082A	06C89	119D	161D	93	135.4	157	345	59.4	41.2	17.2	
CB082A	06C11	161D	161D	86	125.4	167	330	61.2	39.7	16.2	
CB082B	06C114	161D	161D	62	112.9	173	331	61.5	41.5	17.5	
CB082B	06C56	161D	161D	72	125.1	173	341	61.4	40.9	16.9	
CB082A	06C59	125D	125D	68	124.7	176	335	62.3	44.0	17.4	
CB082A	05C63	125D	125D	93	117.9	169	335	63.0	44.4	18.6	
CB082B	05C63	125D	125D	36	124.2	185	328	62.3	44.2	18.0	
CB082A	06C33	259D	259D	144	107.8	164	385	63.3	42.8	18.6	
CB082B	06C33	259D	259D	56	100.2	173	404	63.6	42.7	18.4	
CB088D	06C33	259D	259D	48	132.4	182	408	61.4	42.1	18.3	
CB082A	06C92	260D	259D	68	133.3	171	395	60.0	43.8	18.6	
CB088E	06C92	260D	259D	48	157.0	212	397	58.3	42.0	17.1	
Population BC1F3					1589	120.3	171	368	60.5	42.1	17.4
Palms selected					381	134.2	175	366	61.6	44.0	18.7

Expt. = experiment code; n = number of palms per family; FFB = fresh fruit, kg/palm/year (4.5 years of evaluation); TH = trunk height measured at the base of the petiole of leaf 6, 48 months, cm; LL = leaf length, 48 months, cm; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

Origin and improvement of the paternal Evolution population

The Evolution population has its origins in the 'Harrisons and Crossfield' breeding program in Papua, New Guinea, whose objective was to improve the bunch index (Dumortier et al. 2007). In an experiment planted in 1968, several *tenera* x *dura* progenies (trial 203) of Banting BM119 x Chemara origin were evaluated. From one of the families (DAM736), palm DAM736/107T was selected, characterized by its high bunch production, reduced trunk height, high mesocarp in the fruit, and high oil in the fruit and in the bunch (Table 6, C.J. Breure, 2012)⁵.

The production of palm DAM736/107T during the period between 1972 and 1977 was 243 kg/year, compared with 155 kg recorded as the trial average. On the other hand, this palm had 32.1% oil in the bunch versus the trial average of 24.6% and it showed 15% less growth in height (337 vs. 401 cm) (Table 6).

Palm DAM736/107T (50% AVROS Banting; 50% Deli Ulu Remis), was combined with DAM 774/201T (50% Elmina Dumpy; 25% AVROS - uncertain but possible -, 25% IRHO), giving rise to a composite family that was

⁵ Personal communication, 2012.

subsequently sent to Costa Rica, where it was called DAM586. This family has a pedigree consisting of 25% Elmina Dumpy, 25% Deli, 37.5% AVROS (from two sources) and 12.5% IRHO (Fig. 2).

Family	FFB	TH	M/F	O/M	O/B
Trial 203	155	401	80.6	48.5	24.6
DM736	159	400	84.7	50.6	27.2
DM736/107T	243	337	88.7	53.7	32.1

* C.J. Breure, personal communication, 2012

FFB = fresh fruit, kg/palm/year (4.5 to 9 years of age); TH (8 years of age); M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

In trial 7902 (Costa Rica), eight *tenera* x *tenera* progenies from the Dami Experimental Station were planted. Of these, the DAM586 family was outstanding due to the high percentage of oil in the mesocarp (53.3% vs. 45.8% of the commercial control cross and 48.9% in the trial) and oil in the bunch (32.6% vs. 26.1% in the control and 28.5% in the trial). These superior characteristics led to its being considered in the next breeding cycles, as a new source of composite pollen called Evolution (Table 7).

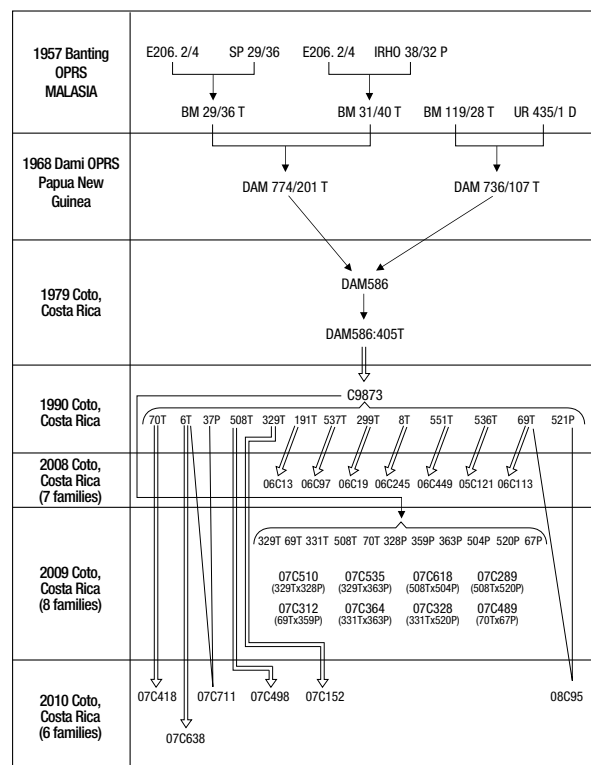


Fig. 2. Genealogy of the population Evolution planted at the ASD Experimental Station, Coto, Costa Rica.

Family	Female	Male	n	FFB	BW	M/F	O/M	O/B	
DAM576	735:105T	743:304T	80	80.8	3.8	87.0	47.3	25.8	
DAM577	735:105T	736:107T	77	80.4	4.1	89.1	49.5	29.0	
DAM582	736:302T	743:304T	81	81.0	3.9	88.0	51.7	30.6	
DAM587	774:204T	735:404T	76	86.8	3.6	85.7	46.3	26.4	
DAM588	774:211T	736:107T	78	104.6	3.9	87.4	50.3	30.6	
DAM589	774:310T	736:315T	80	90.7	4.0	87.7	47.7	28.8	
DAM591	775:304T	735:404T	78	84.6	4.1	84.1	48.3	26.3	
DAM586	774:201T	736:107T	78	94.1	4.7	87.6	53.3	32.6	
Control	HC132:1157D	CHE131:1079P	60	96.3	4.1	80.6	45.8	26.1	
Average				688	88.8	4.0	86.4	48.9	28.5

Control = Deli x AVROS; n = palms per family; FFB = fresh fruit, kg/palm/year (3 years of evaluation); BW = average bunch weight, kg; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

One palm from this family, DAM586:405T, was selected due to its higher production of fresh fruit bunches (133 kg vs. 94 kg as the average for its family), high percentage of mesocarp in the fruit (91.4%), high oil in the mesocarp (59.4%) and high production of oil in the bunch (39.4%).

Given its good attributes, palm DAM586:405T was self-pollinated and its progeny was planted in 1990, producing the first filial generation (family F1 C9873) of the Dami composite *tenera* population (Fig. 2). Fruit production in the C9873 family, evaluated in trial 9004, was relatively low due to the effect of endogamy; however, the percentage of oil in the bunch (35%) conserved the superiority seen in its progenitor and it was the highest in the trial that included five Nigeria families and one Evolution (Table 8).

Family	n	FFB	TH	LL	M/F	O/M	O/B
C9873	81	71.0	54	649	88.9	55.8	34.8
De x Nig DxT	16	156.2	52	611	86.3	47.5	28.0
Experiment	526	57.0	47	576	85.5	45.1	26.1

FFB = fresh fruit, kg/palm/year (3.8 years of evaluation); TH = trunk height measured at the base of the petiole of leaf 6, 48 months, cm; LL = leaf length, 48 months, cm; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

Use of the Evolution population

The strengths of the Evolution origin as a pollen source were seen when comparing their performance with other *tenera* populations established by ASD between 1979 and 2004. Fruit production was similar among the origins, while the growth rate in height was similar in Evolution and the Nigeria origin (48 cm). However, Evolution was the best paternal population according to fruit composition, since it had a high percentage of mesocarp in the fruit (89%), oil in the mesocarp (56%) and oil in the bunch (32%) (Table 9).

Origin	Families	Palms	FFB	THI	RL	M/F	O/M	O/B
AVROS	1	67	100.2	61	551	86.0	46.6	26.0
Ekona	2	49	105.7	53	584	88.4	53.5	30.7
Ghana	2	36	93.8	57	528	89.6	50.7	29.5
Nigeria	5	45	114.4	49	518	87.4	48.0	27.2
Evolution	1	97	97.0	48	594	89.1	55.8	32.3
Average	11	294	102.2	54	555	88.1	50.9	29.1

FFB = fresh fruit, first three years, kg/palm/year; THI = increase in trunk height, cm/year; RL = rachis length, cm; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

Due to the good performance of Evolution family C9873, 12 *tenera* and eight *pisifera* palms (F₁) were selected to develop the second generation (21 TxT and TxP F₂ families), planted from 2008 to 2010 (Fig. 2). The group of 12 *teneras* showed higher fruit and oil production with respect to the average of its

family, some of them outstanding due to their higher fresh fruit production (palms 299, 508 and 536), shorter leaf length (palms 508 and 551) and high oil in the bunch (palms 69, 508 and 551) (Table 10).

The initial data for the F₂ population showed a performance of the *tenera* palms that was consistent with their origin, with values for mesocarp in the fruit between 48 and 59% and oil in the bunch between 28 and 36%.

Palm	FFB	LL	M/F	O/M	O/B
6	77.1	642	88.8	61.1	37.8
8	90.4	690	85.7	54.5	34.6
69	63.6	642	89.2	61.7	40.2
70	75.7	729	88.7	57.0	34.9
191	95.1	575	88.1	55.3	36.1
299	125.0	678	92.6	54.3	33.4
329	74.4	565	89.3	59.5	38.4
331	93.8	674	86.8	54.8	33.1
508	139.4	617	92.8	58.4	39.6
536	146.9	637	92.1	58.4	35.2
537	108.2	565	92.4	56.1	37.5
551	118.4	617	91.8	58.3	39.7
Average	100.7	636	89.9	57.4	36.7
Family	71.0	649	88.9	55.8	34.8

FFB = fresh fruit, kg/palm/year (3 years of evaluation); LL = leaf length, 60 months of age, cm; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

Commercial performance of the Evolution Blue variety

The Evolution pollen source was initially evaluated as a commercial line in a progeny trial planted in Indonesia (2010). In that trial its performance was compared together with other 'old' paternal populations (AVROS, Ekona) and 'modern' (Ghana, Nigeria), combined with mothers from two sources: Deli and *duras* of 'compact' origin from the second backcross (BC₂F₁).

The Deli x Evolution and 'Compact x Evolution' progenies, during the first three years, produced a similar quantity of fresh fruit per palm than other conventional varieties (440 kg/palm). However, in Compact x Evolution, the percentage of oil in the bunch was the highest (29.6%) and this cross had shorter rachis length than the conventional Deli origin varieties (360 cm vs. 370 to 380 cm) (C.J. Breure, 2014)⁶ (Table 11).

⁶Personal communication, 2012.

Table 11. Average performance of eleven varieties evaluated in an ASD progeny trial planted in Kisaran, Indonesia *

Variety	n	FFB	TH	RL	M/F	O/M	O/B
Deli x AVROS	26	454	103.5	378	85.4	50.7	24.0
Deli x Ekona	18	409	83.8	366	86.1	51.1	23.8
Deli x Ghana	87	461	101.3	374	83.2	52.0	25.6
Deli x Nigeria	91	463	88.1	367	85.7	53.6	24.4
Deli x Evolution	54	438	93.3	392	85.1	54.0	26.0
Deli x Compact	41	418	74.3	320	82.8	52.6	25.7
Average		440	90.7	366	84.7	52.3	24.9
Compact x AVROS	2	376	84.9	327	84.2	53.6	25.9
Compact x Ekona	10	365	76.1	337	86.2	53.8	25.8
Compact x Ghana	17	406	93.8	338	81.7	52.6	26.0
Compact x Nigeria	24	392	75.3	331	83.1	54.0	23.9
Compact x Evolution	5	440	98.9	360	83.2	57.4	29.6
Average		396	85.8	339	83.7	54.3	26.2

* C.J. Breure, personal communication, 2014

FFB = fresh fruit, kg/palm/year (3. years of evaluation); TH = trunk height measured at the base of the petiole of leaf 6, average of 4 measures between 24 and 48 months, cm; RL = rachis length, average of 4 measurements between 24 and 48 months, cm; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

To take advantage of the high oil production potential of the Evolution population and its lesser vegetative growth, another progeny evaluation was established in Costa Rica, but using mothers from the BC₁F₂ 'compact' population, whose growth is less than that of the palms derived from the second backcross, BC₂ (Table 2). It was hoped that this strategy would obtain a highly precocious commercial line with high oil and reduced growth. The particular genetic combination was named Evolution Blue.

The DxP Evolution Blue progeny evaluation was planted in 2008. In trial 082C, eight *duras* were evaluated with Ekona, Evolution, Ghana and Nigeria paternal lines. Of these, only four *duras* participated in the Evolution Blue crosses (91C132:18D, 91C156:125D, 91C151:119D and 92C085:260D), combined with the male Evolution progenitor C9873:67P.

Oil content in the bunch was higher in the Evolution Blue variety (29%), and growth in height and leaf length were lower than in the *E. guineensis* Deli x Nigeria variety (202 vs. 269 cm and 514 vs. 620 cm, respectively). This last trait of shorter leaves will allow the establishment of Evolution Blue plantations at a higher density (160 to 170 plants/ha), in

comparison with normal growth varieties, which are usually planted at 143 plants/ha (Table 12).

Table 12. Fresh fruit bunches, growth and bunch traits for three varieties of 'compact' origin and one 'normal' growth variety (Deli x Nigeria) compared with the Evolution Blue variety

Variety	FFB	TH	LL	M/F	O/M	O/B
Compact x Ghana	147.4	215	490	77.3	48.2	25.0
Compact x Nigeria	145.4	186	498	78.3	48.6	25.9
Compact x Ekona	154.8	211	534	79.6	50.1	27.8
Evolution Blue	158.2	202	514	78.7	52.6	29.0
Deli x Nigeria	182.4	269	620	86.4	51.0	28.0

FFB = fresh fruit, kg/palm/year (3.8 years of evaluation); TH = trunk height measured at the base of the petiole of leaf 6, 48 months, cm; LL = leaf length, 48 months, cm; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

During the first five years, fruit production per palm in the Deli x Nigeria commercial variety was higher than in the varieties of 'compact' origin (182 kg versus 145-158 kg, Table 12). However, when production per unit of area was estimated, adjusting the values to the densities of 143 palms/ha in Deli x Nigeria and 160 palms/ha in the 'compact' ones, the accumulated production of Evolution Blue by the fifth year was similar to the control (118 t/ha), and higher than that of the other 'compact' varieties, whose production reached 109 t/ha (Table 13).

Table 13. Fresh fruit bunches (t/ha/year) in four varieties of 'compact' origin. The year 'one' corresponds to the first six months of harvest. Years two to five are full calendar years. Data adjusted to the densities of 143 plants/ha in Deli x Nigeria and 160 plants/ha in the other varieties

Variety	t/ha/year					Total
	1	2	3	4	5	
Compact x Ghana	2.6	17.8	26.1	35.1	27.5	109.1
Compact x Nigeria	3.5	16.4	24.3	35.4	29.7	109.2
Compact x Ekona	4.3	16.4	26.5	35.9	33.2	116.3
Evolution Blue	8.0	15.7	26.9	36.8	30.2	117.6
Deli x Nigeria	6.0	18.9	30.2	38.5	24.8	118.5

In conclusion, the Evolution Blue variety has outstanding traits in both its vegetative and productive growth. The rate of trunk elongation is slow and its leaves are short (effect of the genes inherited from the 'compacts' mothers), when compared to traditional *Elaeis guineensis* varieties. In addition, the variety has high fresh fruit and oil production potential, thanks to the genes from the male Evolution palms. The development of Evolution Blue shows that it is possible to successfully combine

genes of different origin, including *Elaeis oleifera* genes, for the development of composite varieties that are stable in their genetic expression. Other secondary traits, such as disease tolerance - bud rots

in particular -, and oil quality, are being studied in the new parental families, for the purpose of consolidating a new commercial generation with higher added value.

Literature

- Alvarado A., Escobar R., Peralta F., Chinchilla C. 2006. Compact seeds and clones and their potential for high density planting. International Seminar on Yield Potential in the Oil Palm. International Soc. of Oil Palm Breeders (ISOPB), Phuket, Thailand, 27-28 Nov., 2006. 10 p.
- Dumortier F., Lord S., Lim T.K. 2007. Asegurando el mejoramiento continuo y la calidad de las semillas Dami. Palmas, Volumen 28, Tomo 1, pp 213 – 226.
- Escobar R., Alvarado, A. 2004. Strategies in Production of Oil Palm Compact Seeds and Clones. ASD Oil Palm Papers. No. 27:13-26.
- Franqueville, H. 2003. Oil palm bud rot in Latin America. Experimental Agriculture. 39(3):225-240.
- Mohd Din A., Rajanaidu N., Kushairi A., Tarmizi A.H., Noh A., Marhalil M, Zulkifli Y., Norziha A., Meilina O.A., Ravigadevi S. 2014. Performance and yield potential of oil palm planting materials. The Planter. 90(1065):881-904.
- Sterling F., Richardson D.L., Chaves C. 1987. Some phenotypic characteristics of the descendants of QB049, an exceptional hybrid of oil palm. Proceedings Oil Palm/Palm Oil Conference, Progress and Prospects. Palm Oil Research Institute of Malaysia. 135-146 pp.

Evolution Blue: una nueva variedad de palma aceitera de reducido crecimiento y alto aceite

A. Alvarado¹, J. Henry²

Resumen

El desarrollo de variedades con alto potencial productivo de aceite y almendra por unidad de área constituye el objetivo primario de los programas de mejoramiento genético en palma aceitera.

ASD Costa Rica desarrolló una nueva variedad denominada Evolution Blue, que se caracteriza por su alta producción y por su crecimiento reducido. Evolution Blue se obtuvo del cruzamiento entre una población materna de bajo crecimiento vegetativo (denominado crecimiento 'compacto'), proveniente de la generación avanzada BC₁F₂ (segunda generación filial, F₂, del primer ciclo de retrocruzamiento, BC₁)³ de una palma de bajo crecimiento; identificada como palma 'compacta' original, y la fuente de polen de origen compuesto Evolution. La población 'compacta' de ASD presenta lento crecimiento del tronco, reducida longitud de las hojas y tolerancia moderada al trastorno de la PC o pudrición del cogollo. En la línea paterna Evolution se concentran la mayoría de las características complementarias: alto potencial de producción de fruta y alto contenido de aceite en el racimo. En este artículo se resume el trabajo de desarrollo de esta variedad, el comportamiento de los progenitores para la producción comercial de semillas y se documentan los resultados preliminares de las pruebas de progenies realizadas en Indonesia y Costa Rica. En total se seleccionaron en esta primera generación cerca de 400 palmas madres (22% de la población), y con ellas se espera consolidar una nueva variedad que tolere altas densidades de siembra (160 a 170 plantas/hectárea) y que alcance productividades promedio de aceite por encima de ocho toneladas por hectárea por año.

Palabras clave: palma aceitera, *Elaeis guineensis*, mejoramiento genético, ASD Costa Rica

¹ ASD de Costa Rica, P. O. Box 30-1000, San José, Costa Rica, a.alvarado@asd-cr.com

² ASD de Costa Rica, j.hbejarano@asd-cr.com

³ Las sucesivas generaciones de retrocruzamiento (BC₁, BC₂, BC₃) se definen a partir de la palma compacta original y así se indicarán a lo largo del documento (para mayor claridad ver el cuadro 1 y la figura 1)

Evolution Blue: una nueva variedad de palma aceitera de reducido crecimiento y alto aceite

Introducción

Desde la década de los setenta, el trabajo de mejoramiento genético en palma aceitera de ASD Costa Rica, se concentró en el desarrollo de variedades de lento crecimiento del tronco y con hojas cortas. Este fenotipo, denominado ‘compacto’, permite mejorar la eficiencia en el uso de la tierra por la posibilidad de plantar más palmas por unidad de área y además permite prolongar la vida útil de la plantación.

Combinaciones específicas entre palmas madre *dura* (progenitores femeninos) provenientes de poblaciones con crecimiento ‘compacto’, cruzadas con palmas *pisiferas* de *E. guineensis* de generaciones avanzadas (progenitores masculinos), han permitido producir nuevas variedades denominadas de ‘alta densidad’, que pueden plantarse entre 160 y 170 palmas por hectárea (dependiendo de las condiciones de suelo y clima); lo que posibilita alcanzar rendimientos promedio de nueve o más t/ha de aceite por año (Alvarado et al. 2006, Escobar y Alvarado 2004, Mohd Din et al. 2014).

ASD introdujo de Papúa Nueva Guinea, semillas de una combinación genética única entre palmas *tenera*; la cual posteriormente dio lugar a una población de palmas *tenera/pisifera* compuestas⁴, denominada Evolution. Las características más sobresalientes en esta población son su alta precocidad y elevada producción de aceite en el racimo.

El presente artículo describe el proceso de selección de los progenitores femeninos de origen ‘compacto’ y de la fuente paterna Evolution, y cómo la combinación de individuos superiores dio lugar a una nueva variedad ‘compuesta’, de alta producción de aceite y que puede ser plantada a alta densidad. Esta variedad, Evolution Blue, posee además tolerancia moderada al desorden conocido como ‘flecha seca’, el cual es similar a la pudrición del cogollo (PC) descrito en América del Sur (Franquville 2003).

Desarrollo de la población materna de origen “compacto” BC₁F₃

Para fijar el fenotipo ‘compacto’ fueron necesarios más de 35 años de pruebas de campo con varios ciclos de retrocruzamientos (Sterling et al. 1987; Escobar y Alvarado 2004). La palma que dio origen a esta población se denominó ‘palma compacta original’ y tenía un estimado de 25% de genes de *Elaeis oleifera* en su genoma. Para mejorar la composición del racimo y su potencial de producción, fueron usadas varias fuentes de *Elaeis guineensis* de poblaciones mejoradas, a lo largo de tres ciclos. Este proceso segregó diferentes poblaciones recombinantes, producto de la mezcla de genes de ‘oleifera’ y ‘guineensis’ en diversas proporciones (Escobar y Alvarado 2004) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración (proporción teórica) de genes de <i>Elaeis oleifera</i> en varias poblaciones de origen ‘compacto’	
Población	Genes <i>E. oleifera</i>
Híbrido OxG* (polinización abierta)	50%
Palma compacta original (PCO)	25%
Primer retrocruce (BC ₁)	12.5%
Sub población: BC ₁ F ₁	12.5%
Sub población: BC ₁ F ₂	12.5%
Sub población: BC ₁ F ₃	12.5%
Sub población: BC ₁ F ₁ x <i>E. guineensis</i>	6.25%
Segundo retrocruce (BC ₂)	6.25%
Sub población: BC ₂ F ₁	6.25%
Sub población: BC ₂ F ₂	6.25%
Tercer retrocruce (BC ₃)	3.125%

* OxG = híbrido *E. oleifera* x *E. guineensis*, BC = retrocruce, F = generación filial

⁴Se denominan compuestas a palmas resultantes de la mezcla de germoplasma entre líneas seleccionadas avanzadas

En cada ciclo de retrocruzamiento se hicieron cruces particulares, para concentrar y estabilizar las características de producción y de crecimiento en generaciones avanzadas F₁, F₂ y F₃, como se muestra en la figura 1 para las poblaciones derivadas del primer ciclo (BC₁).

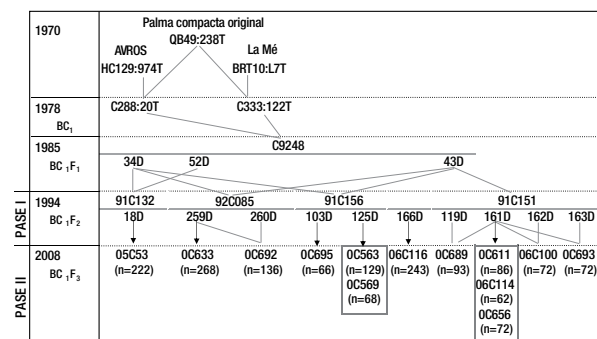


Fig. 1. Genealogía de la población 'compacta' dura desarrollada en la Estación Experimental de ASD, Coto, Costa Rica y utilizada para el desarrollo de la variedad Evolution Blue.

Las poblaciones maternas BC₁F₃ y BC₂F₂ se sembraron en 2008. Las debilidades de la primera población (menor porcentaje de aceite en el mesocarpio y de aceite en el racimo) fueron superadas en la BC₂F₂. No obstante, la población dura BC₁F₃ fue superior en producción de fruta fresca (116 vs 97 Kg), menor altura del tronco (172 vs 214 cm), y menor longitud foliar (368 vs 431 cm) (Cuadro 2). Algunas familias de la población BC₁F₃ poseen alta insaturación del aceite reflejada en su valor del índice de yodo (65 en promedio vs 55 en variedades *E. guineensis*); lo cual es una herencia de *E. oleifera*.

Cuadro 2. Características de dos poblaciones de palmas duras de crecimiento reducido sembradas en el 2008 (BC ₁ F ₃ = 21 cruces, BC ₂ F ₂ = 34 cruces, Deli dura como testigo = 107 cruces)						
Origen	KGS	ATR	LHJ	M/F	A/M	A/R
Compacta BC₁F₃						
Promedio	120.3	172	368	60.5	42.1	17.4
Mínimo	74.2	141	319	55.8	34.0	13.5
Máximo	157.0	212	424	63.6	45.2	20.5
Desviación estándar	18.9	15	34	2.4	2.4	1.3
C.V (%)	15.7	9	9	3.9	5.8	7.7
Compact BC₂F₂						
Promedio	98.1	214	431	62.2	49.1	20.6
Mínimo	45.6	168	378	55.9	40.0	16.4
Máximo	136.4	282	468	69.3	55.1	24.6
Desviación estándar	19.6	24	24	3.2	3.7	2.2
C.V (%)	20.0	11	6	5.2	7.5	10.7
Deli dura						
Promedio	104.9	267	531	67.1	44.2	20.7
Mínimo	44.5	202	428	58.6	36.3	14.5
Máximo	163.8	380	685	72.3	51.1	25.6
Desviación estándar	24.8	37	54	2.9	2.9	2.0
C.V (%)	23.7	14	10	4.3	6.5	9.6

KGS = fruta fresca, kg/palma/año (4 años y medio de evaluación); ATR = altura del tronco medida a la base del peciolo de la hoja 6, 48 meses, cm; LHJ = longitud de la hoja, 48 meses, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %

Con base en el comportamiento de las dos poblaciones maternas, se consideró que el desarrollo de las nuevas variedades para alta densidad de siembra, debía concentrarse en los descendientes del primer ciclo de retrocruzamiento, BC₁. La población materna BC₁F₂ de alta densidad, fue sembrada en 1994 (10 familias y 203 palmas) y se encontró suficiente variabilidad para seleccionar las mejores familias para el siguiente ciclo de selección. Durante el periodo evaluado, la producción de racimos de fruta fresca varió entre 84 y 124 kg por palma, y el porcentaje de aceite en el racimo entre 16.6 y 19.6% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características de producción y crecimiento de las familias 'compactas' dura' BC ₁ F ₂ , Experimento CB9403, Coto, Costa Rica									
Familia	Madre	Padre	n	KGS	ATR	LHJ	M/F	A/M	A/R
91C053	52D	34D	24	115.8	78	437	57.0	47.4	18.2
91C110	34D	52D	12	104.8	76	428	54.3	45.4	17.7
91C137	15D	52D	23	112.1	68	436	50.9	44.5	17.4
91C192	52D	52D	20	119.0	103	426	57.9	45.0	18.4
91C212	15D	43D	10	120.7	99	441	54.9	43.4	18.1
91C220	52D	43D	24	124.5	82	422	57.2	44.4	17.9
91C132	34D	52D	23	121.3	89	438	55.5	48.8	19.6
91C151	43D	43D	24	83.5	61	363	60.3	43.4	17.7
91C156	34D	43D	24	110.6	69	413	58.0	44.7	17.9
92C085	43D	34D	19	92.6	73	405	55.1	42.9	16.6
Prom. 203				110.5	80	421	56.1	45.0	18.0

n = número de palmas por familia; KGS = fruta fresca, kg/palma/año (3.8 años de evaluación); ATR = altura del tronco a la hoja 41, 60 meses de edad, cm; LHJ = longitud de la hoja, 60 meses, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %

La siguiente generación BC₁F₃ se obtuvo a partir de diez palmas seleccionadas en cuatro familias: 91C132, 91C151, 91C156 y 92C085. Estas se caracterizaron por tener mayor contenido de aceite en el mesocarpio (48.8%, familia 91C132), reducido crecimiento del tronco y menor longitud de las hojas (61 cm y 363 cm, respectivamente, familia 91C151) y mayor porcentaje de mesocarpio en el fruto (60.3% en 91C151 y 58.0% en 91C156), con respecto a toda la población (Cuadro 3).

Las diez palmas seleccionadas son altamente productoras (hasta 150 Kg de fruta fresca/año), tienen menor altura del tronco y menor longitud foliar (75 y 395 cm en promedio, respectivamente)

y mayor mesocarpio en el fruto (57.2 vs 56.1%) con respecto a la población total. Las palmas 161 y 162 fueron sobresalientes por su reducida longitud foliar (333 y 344 cm, respectivamente) y el alto índice de yodo (66.5 y 65.0). Otras palmas como la 18 (151 Kg) y la 166 (156 Kg) mostraron la mayor producción de fruta y de aceite en el racimo (19.9 y 19.7 %, respectivamente), mientras que la palma 125 tuvo el mayor porcentaje de mesocarpio en el fruto (62.1%) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Características de producción y crecimiento de las 10 palmas superiores de origen 'compacto' BCiF ₂ , seleccionadas para el desarrollo de la siguiente generación de madres. Experimento CB9403, Coto, Costa Rica							
Familia	Palma	KGS	ATR	LHJ	M/F	A/M	A/R
91C132	18	150.4	88	474	55.7	46.9	19.9
91C151	119	103.3	69	387	58.1	41.7	17.7
91C151	161	96.2	69	333	58.9	45.1	18.3
91C151	162	98.3	81	344	53.8	43.2	16.6
91C151	163	78.2	66	351	57.9	44.0	18.5
91C156	103	91.8	47	420	57.2	44.2	17.2
91C156	125	140.3	94	371	62.1	40.8	17.5
91C156	166	156.3	91	438	57.0	48.7	19.7
92C085	259	105.8	66	430	57.3	44.1	17.7
92C085	260	134.9	78	400	53.9	46.1	18.1
Experimento 203	110.5	80	421	56.1	45.0	18.0	
Seleccionadas 10	115.5	75	395	57.2	44.5	18.1	

KGS = fruta fresca, kg/palma/año (3.8 años de evaluación); ATR = altura del tronco a la hoja 41, 60 meses de edad, cm; LHJ = longitud de la hoja, 60 meses, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %

Las palmas superiores fueron autofecundadas y cruzadas entre ellas para obtener diez familias BCiF₃,

que fueron sembradas en 2008 (Fig. 1). La primera selección de palmas madres se hizo a los seis años de edad a partir de cinco familias; para lo cual se consideró alta producción de fruta, la sanidad, la arquitectura (mejor penetración de la luz favorecida por las hojas cortas y curvadas -no erectas-, y con una disposición de los foliolos favorable al paso de la luz a través del dosel), reducido crecimiento del tronco y alta producción de aceite. El grupo de palmas seleccionadas se destacó por su mayor producción de fruta (131 vs 115 Kg) y de aceite (18.7 vs 17.5%), cuando se compara con los promedios de la población total (Cuadro 5).

Cuadro 5. Características de producción y crecimiento de la población 'compacta dura' BCiF ₃ sembrada en 2008, Coto Costa Rica. Información de las familias seleccionadas como fuentes de palmas madres en la primera etapa											
Expto.	Familia	Madre	Padre	n	KGS	ATR	LHJ	M/F	O/M	O/B	
CB082A	06C89	119D	161D	93	135.4	157	345	59.4	41.2	17.2	
CB082A	06C11	161D	161D	86	125.4	167	330	61.2	39.7	16.2	
CB082B	06C114	161D	161D	62	112.9	173	331	61.5	41.5	17.5	
CB082B	06C56	161D	161D	72	125.1	173	341	61.4	40.9	16.9	
CB082A	06C59	125D	125D	68	124.7	176	335	62.3	44.0	17.4	
CB082A	05C63	125D	125D	93	117.9	169	335	63.0	44.4	18.6	
CB082B	05C63	125D	125D	36	124.2	185	328	62.3	44.2	18.0	
CB082A	06C33	259D	259D	144	107.8	164	385	63.3	42.8	18.6	
CB082B	06C33	259D	259D	56	100.2	173	404	63.6	42.7	18.4	
CB088D	06C33	259D	259D	48	132.4	182	408	61.4	42.1	18.3	
CB082A	06C92	260D	259D	68	133.3	171	395	60.0	43.8	18.6	
CB088E	06C92	260D	259D	48	157.0	212	397	58.3	42.0	17.1	
Población BCiF₃					1589	120.3	171	368	60.5	42.1	17.4
Palmas seleccionadas					381	134.2	175	366	61.6	44.0	18.7

Expto. = código del experimento; n = número de palmas por familia; KGS = fruta fresca, kg/palma/año (4.5 años de evaluación); ATR = altura del tronco medida a la base del peciolo de la hoja 6, 48 meses, cm; LHJ = longitud de la hoja, 48 meses, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %

Origen y mejoramiento de la población paterna Evolution

La población Evolution tiene sus orígenes en el programa de mejoramiento de 'Harrisons and Crossfield' en Papúa Nueva Guinea, cuyo objetivo era mejorar el índice de racimo (Dumortier et al. 2007). En un experimento sembrado en 1968, se evaluaron varias progenies *tenera x dura* (ensayo 203) de origen Banting BM119 x Chemara. De una de las familias (DAM736), se seleccionó la palma DAM736/107T, caracterizada por su alta producción de racimos, reducida altura del tronco,

alto mesocarpio en el fruto, alto aceite en el fruto y en el racimo (Cuadro 6, C.J. Breure, 2012)⁵.

La producción de la palma DAM736/107T durante el periodo entre 1972 y 1977 fue de 243 Kg/año, comparado con 155 Kg registrado como promedio del ensayo. Por otra parte, esta palma tenía 32.1% de aceite en el racimo versus el promedio del ensayo de 24.6% y mostró un crecimiento en altura 15% menor (337 vs 401 cm) (Cuadro 6).

⁵ Comunicación personal, 2012

Cuadro 6. Características de la palma superior DM736/107T en el ensayo 203 de la estación Dami, Papúa Nueva Guinea, siembra 1968*

Familia	KGS	ATR	M/F	A/M	A/R
Ensayo 203	155	401	80.6	48.5	24.6
DM736	159	400	84.7	50.6	27.2
DM736/107T	243	337	88.7	53.7	32.1

* C.J. Breure, comunicación personal, 2012
 KGS = fruta fresca, kg/palma/año (media 4 a 9 años de edad); ATR (8 años de edad); M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %

La palma DAM736/107T (50% AVROS Banting: 50% Deli Ulu Remis), se combinó con DAM 774/201T (50% Elmina Dumpy: 25% AVROS - incierto pero posible - :25% IRHO), dando origen a una familia compuesta, que posteriormente fue enviada a Costa Rica, donde se llamó DAM586. Esta familia tiene un pedigrí compuesto por 25% Elmina Dumpy, 25% Deli, 37.5% AVROS (de dos procedencias) y 12.5% IRHO (Fig. 2).

En el ensayo 7902 (Costa Rica) fueron sembradas ocho progenies *tenera* x *tenera* provenientes de la Estación Experimental de Dami. Entre ellas sobresalió la familia DAM586 por el alto porcentaje de aceite en el mesocarpio (53.3% vs. 45.8% del cruce testigo comercial y 48.9% en el ensayo) y de aceite en el racimo (32.6% vs.26.1% en el testigo y 28.5% en el ensayo). Esta condición superior hizo que se considerara en los siguientes ciclos de mejoramiento, como una nueva fuente de polen compuesto denominada Evolution (Cuadro 7).

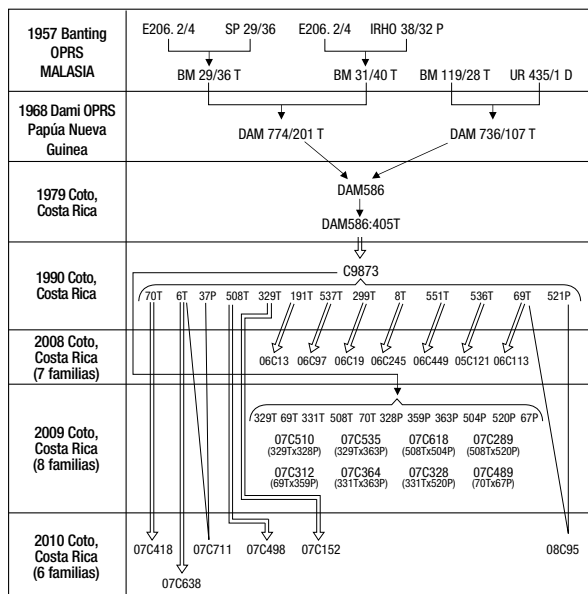


Fig. 2. Genealogía de la población Evolution sembrada en la Estación Experimental de ASD, Coto, Costa Rica.

Cuadro 7. Comportamiento de ocho progenies TxT provenientes de la Estación Experimental Dami y un cruzamiento testigo Deli x AVROS DxP (comercial), sembradas por ASD en 1979 (Experimento CB7902)

Familia	Madre	Padre	n	KGS	PR	M/F	A/M	A/R	
DAM576	735:105T	743:304T	80	80.8	3.8	87.0	47.3	25.8	
DAM577	735:105T	736:107T	77	80.4	4.1	89.1	49.5	29.0	
DAM582	736:302T	743:304T	81	81.0	3.9	88.0	51.7	30.6	
DAM587	774:204T	735:404T	76	86.8	3.6	85.7	46.3	26.4	
DAM588	774:211T	736:107T	78	104.6	3.9	87.4	50.3	30.6	
DAM589	774:310T	736:315T	80	90.7	4.0	87.7	47.7	28.8	
DAM591	775:304T	735:404T	78	84.6	4.1	84.1	48.3	26.3	
DAM586	774:201T	736:107T	78	94.1	4.7	87.6	53.3	32.6	
Testigo	HC132:1157D	CHE131:1079P	60	96.3	4.1	80.6	45.8	26.1	
Promedio				688	88.8	4.0	86.4	48.9	28.5

Testigo = Deli x AVROS; n = palmas por familia; KGS = fruta fresca, kg/palma/año (3 años de evaluación); PR = peso promedio del racimo, Kg; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %.

Una palma de esta familia, DAM586:405T fue seleccionada por su mayor producción de racimos de fruta fresca (133 Kg vs. 94 Kg como promedio de su familia), alto porcentaje de mesocarpio en el fruto (91.4%), aceite en el mesocarpio (59.4%) y alta producción de aceite en el racimo (39.4%).

Dados sus buenos atributos, la palma DAM586:405T fue autofecundada y su progenie se sembró en 1990, originando la primera generación filial (familia F_i C9873) de la población Dami compuesto *tenera* (Fig. 2). La producción de fruta en la familia C9873, evaluada en el ensayo 9004 fue relativamente baja por el efecto de endogamia; sin embargo, el porcentaje de aceite en el racimo (35%) conservó la superioridad observada en su progenitor y fue el más alto en el ensayo que incluyó cinco familias Nigeria y una Evolution (Cuadro 8).

Cuadro 8. Características de producción y crecimiento de la familia C9873 (Evolution, *tenera* autofecundada) comparada con una progenie DxT de origen Deli x Nigeria y con el promedio del ensayo (cinco familias Nigeria y una Evolution); experimento CB9403, Coto, Costa Rica

Familia	n	KGS	ATR	LHJ	M/F	A/M	A/R
C9873	81	71.0	54	649	88.9	55.8	34.8
De x Ng DxT	16	156.2	52	611	86.3	47.5	28.0
Experimento	526	57.0	47	576	85.5	45.1	26.1

KGS = fruta fresca, kg/palma/año (3.8 años de evaluación); ATR = altura del tronco medida a la base del peciolo de la hoja 6, 48 meses, cm; LHJ = longitud de la hoja, 48 meses, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %

Uso de la población Evolution

Las fortalezas del origen Evolution como fuente de polen, se observaron al comparar su desempeño con otras poblaciones *tenera*, establecidas por ASD entre los años 1979 y 2004. La producción de fruta fue similar entre los orígenes, mientras que la tasa de incremento en altura fue similar en Evolution y el origen Nigeria (48 cm). Sin embargo, Evolution fue la mejor población paterna según la composición del fruto, pues tenía un alto porcentaje de mesocarpio en el fruto (89%), de aceite en el mesocarpio (56%) y de aceite en el racimo (32%) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Promedio por origen de una muestra de palmas de 11 familias TxP (fuentes de polen) sembradas entre 1979 y 2004, Coto, Costa Rica. Evaluación realizada en el 2011

Origen	Familias	Palmas	KGS	ITR	LRQ	M/F	O/M	O/B
AVROS	1	67	100.2	61	551	86.0	46.6	26.0
Ekona	2	49	105.7	53	584	88.4	53.5	30.7
Ghana	2	36	93.8	57	528	89.6	50.7	29.5
Nigeria	5	45	114.4	49	518	87.4	48.0	27.2
Evolution	1	97	97.0	48	594	89.1	55.8	32.3
Promedio	11	294	102.2	54	555	88.1	50.9	29.1

KGS = fruta fresca, primeros tres años, kg/palma/año; ITR = incremento en altura del tronco, cm/año; LRQ = longitud del raquis, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %.

Debido al buen comportamiento de la familia Evolution C9873, se seleccionaron 12 palmas *tenera* y ocho *pisíferas* (F₁) para desarrollar la segunda generación (21 familias TxT y TxP F₂), sembrada entre 2008 y 2010 (Fig. 2). El grupo de 12 *teneras* mostró mayor producción de fruta y de aceite con

respecto al promedio de su familia, sobresaliendo algunas de ellas por su mayor producción de fruta fresca (palmas 299, 508 y 536), menor longitud foliar (palmas 508 y 551) y alto aceite en el racimo (palmas 69, 508 y 551) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comportamiento de las 12 palmas *tenera* provenientes de la familia Evolution C9873, usadas para desarrollar la generación F₂

Palma	KGS	LHJ	M/F	O/M	O/B
6	77.1	642	88.8	61.1	37.8
8	90.4	690	85.7	54.5	34.6
69	63.6	642	89.2	61.7	40.2
70	75.7	729	88.7	57.0	34.9
191	95.1	575	88.1	55.3	36.1
299	125.0	678	92.6	54.3	33.4
329	74.4	565	89.3	59.5	38.4
331	93.8	674	86.8	54.8	33.1
508	139.4	617	92.8	58.4	39.6
536	146.9	637	92.1	58.4	35.2
537	108.2	565	92.4	56.1	37.5
551	118.4	617	91.8	58.3	39.7
Promedio	100.7	636	89.9	57.4	36.7
Familia	71.0	649	88.9	55.8	34.8

KGS = fruta fresca, kg/palma/año (3 años de evaluación); LHJ = longitud de la hoja, 60 meses de edad, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %.

Los datos iniciales de la población F₂ muestran un comportamiento de las palmas *tenera* consistente con su origen, con valores de mesocarpio en el fruto entre 48 y 59% y de aceite en el racimo de 28 a 36%.

Comportamiento comercial de la variedad Evolution Blue

La fuente de polen Evolution se evaluó inicialmente como línea comercial en una prueba de progenies sembrada en Indonesia (2010). En dicho ensayo se comparó su comportamiento junto con otras poblaciones paternas “viejas” (AVROS, Ekona) y ‘modernas’ (Ghana, Nigeria), combinadas con madres de dos procedencias: Deli y *duras* de origen “compacto” del segundo retrocruce (BC₂F₁).

Las progenies Deli x Evolution y ‘Compacta x Evolution’ produjeron durante los primeros tres años una cantidad similar de fruta fresca por palma que otras variedades convencionales (440 kg/palma). Sin embargo, en Compacta x Evolution, el porcentaje de aceite en el racimo fue el mayor (29.6%) y este cruce tenía menor longitud del raquis que las variedades convencionales de origen Deli (360 cm vs 370 a 380 cm) (C.J. Breure, 2014)⁶ (Cuadro 11).

⁶ Comunicación personal, 2014

Cuadro 11. Comportamiento promedio de once variedades evaluadas en una prueba de progenies de ASD sembrada en Kisaran, Indonesia *							
Variedad	n	KGS	ATR	LRQ	M/F	O/M	O/B
Deli x AVROS	26	454	103.5	378	85.4	50.7	24.0
Deli x Ekona	18	409	83.8	366	86.1	51.1	23.8
Deli x Ghana	87	461	101.3	374	83.2	52.0	25.6
Deli x Nigeria	91	463	88.1	367	85.7	53.6	24.4
Deli x Evolution	54	438	93.3	392	85.1	54.0	26.0
Deli x Compact	41	418	74.3	320	82.8	52.6	25.7
Promedio		440	90.7	366	84.7	52.3	24.9
Compact x AVROS	2	376	84.9	327	84.2	53.6	25.9
Compact x Ekona	10	365	76.1	337	86.2	53.8	25.8
Compact x Ghana	17	406	93.8	338	81.7	52.6	26.0
Compact x Nigeria	24	392	75.3	331	83.1	54.0	23.9
Compact x Evolution	5	440	98.9	360	83.2	57.4	29.6
Promedio		396	85.8	339	83.7	54.3	26.2

* C.J. Breure, comunicación personal, 2014

KGS = fruta fresca, kg/palma/año (3 años de evaluación); ATR = altura del tronco medida a la base del peciolo de la hoja 6, promedio de 4 medidas entre los 24 y 48 meses, cm; LRQ = longitud del raquis, promedio de 4 medidas entre los 24 y 48 meses, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %

Para aprovechar el alto potencial de producción de aceite de la población Evolution y su menor crecimiento vegetativo, se estableció otra evaluación de progenies en Costa Rica, pero utilizando madres de la población 'compacta' BC₁F₂, cuyo crecimiento es menor que el de los derivados del segundo retrocruce, BC₂ (Cuadro 2). Con esta estrategia se esperaba obtener una línea comercial de alta precocidad, alto aceite y crecimiento reducido. Esta combinación genética particular fue denominada Evolution Blue.

La evaluación de progenies DxP Evolution Blue fue sembrada en 2008. En el ensayo 082C, ocho *duras* fueron evaluadas con líneas paternas Ekona, Evolution, Ghana y Nigeria. De ellas solamente cuatro *duras* participaron en los cruces Evolution Blue (91C132:18D, 91C156:125D, 91C151:119D y 92C085:260D), combinadas con el progenitor masculino Evolution C9873:67P.

El contenido de aceite en el racimo fue mayor en la variedad Evolution Blue (29%), y el crecimiento en altura y la longitud foliar fueron menores que en la variedad *E. guineensis* Deli x Nigeria (202 vs 269 cm y 514 vs 620 cm, respectivamente). Esta última característica de hojas más cortas, permitiría establecer plantaciones de Evolution Blue a una densidad superior (160 a 170

plantas/ha), en comparación con las variedades de crecimiento normal; las cuales se siembran comúnmente a 143 plantas/ha (Cuadro 12).

Table 12. Racimos de fruta fresca, crecimiento y características del racimo de tres variedades de origen 'compacto' y una variedad de crecimiento 'normal' (Deli x Nigeria) comparadas con la variedad Evolution Blue

Variedad	KGS	ATR	LHJ	M/F	A/M	A/R
Compacta x Ghana	147.4	215	490	77.3	48.2	25.0
Compacta x Nigeria	145.4	186	498	78.3	48.6	25.9
Compacta x Ekona	154.8	211	534	79.6	50.1	27.8
Evolution Blue	158.2	202	514	78.7	52.6	29.0
Deli x Nigeria	182.4	269	620	86.4	51.0	28.0

KGS = fruta fresca, kg/palma/año (3.8 años de evaluación); ATR = altura del tronco medida a la base del peciolo de la hoja 6, 48 meses, cm; LHJ = longitud de la hoja, 48 meses, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %

Durante los primeros cinco años, la producción de fruta por palma en la variedad comercial Deli x Nigeria fue mayor que en las variedades de origen 'compacto' (182 Kg versus 145-158 Kg, Cuadro 12). Sin embargo, cuando se estimó la producción por unidad de área, ajustando los valores a las densidades de 143 palmas/ha en Deli x Nigeria y 160 palmas/ha en las 'compactas', la producción acumulada de Evolution Blue al quinto año fue similar al testigo (118 t/ha), y superior al de otras variedades 'compactas', cuya producción alcanzó 109 t/ha (Cuadro 13).

Cuadro 13. Racimos de fruta fresca (t/ha/año) en cuatro variedades de origen 'compacto'. El año 'uno' corresponde a los primeros seis meses de cosecha y del año dos al cinco son años calendario completos. Datos ajustados a las densidades de 143 plantas/ha en Deli x Nigeria y 160 plantas/ha en las otras variedades

Variedad	t/ha/año					Total
	1	2	3	4	5	
Compacta x Ghana	2.6	17.8	26.1	35.1	27.5	109.1
Compacta x Nigeria	3.5	16.4	24.3	35.4	29.7	109.2
Compacta x Ekona	4.3	16.4	26.5	35.9	33.2	116.3
Evolution Blue	8.0	15.7	26.9	36.8	30.2	117.6
Deli x Nigeria	6.0	18.9	30.2	38.5	24.8	118.5

En conclusión, la variedad Evolution Blue posee características sobresalientes tanto en su crecimiento vegetativo como productivo. La tasa de elongación del tronco es lenta y sus hojas son cortas (efecto de los genes heredados de las madres 'compactas'), cuando se comparan con las variedades de *Elaeis guineensis* tradicionales. Adicionalmente, la variedad tiene un alto potencial de producción de fruta fresca y de aceite, gracias a los genes de las palmas masculinas Evolution. El desarrollo de Evolution Blue demuestra

que es posible combinar exitosamente genes de origen diferente para el desarrollo de variedades compuestas estables en su expresión genética. Otras características secundarias, como la tolerancia a enfermedades, en particular a la PC o pudrición del

cogollo, y la calidad del aceite, están siendo estudiadas en las nuevas familias parentales, con el propósito de consolidar en el futuro una nueva generación comercial con mayor valor agregado.

Literatura

- Alvarado A., Escobar R., Peralta F., Chinchilla C. 2006. Compact seeds and clones and their potential for high density planting. International Seminar on Yield Potential in the Oil Palm. International Soc. of Oil Palm Breeders (ISOPB), Phuket, Thailand, 27-28 Nov., 2006. 10 p.
- Dumortier F., Lord S., Lim T.K. 2007. Asegurando el mejoramiento continuo y la calidad de las semillas Dami. Palmas, Volumen 28, Tomo 1, pp 213 – 226.
- Escobar R., Alvarado, A. 2004. Strategies in Production of Oil Palm Compact Seeds and Clones. ASD Oil Palm Papers. No. 27:13-26.
- Franqueville, H. 2003. Oil palm bud rot in Latin America. *Experimental Agriculture*. 39(3):225-240.
- Mohd Din A., Rajanaidu N., Kushairi A., Tarmizi A.H., Noh A., Marhalil M, Zulkifli Y., Norziha A., Meilina O.A., Ravigadevi S. 2014. Performance and yield potential of oil palm planting materials. *The Planter*. 90(1065):881-904.
- Sterling F., Richardson D.L., Chaves C. 1987. Some phenotypic characteristics of the descendants of QB049, an exceptional hybrid of oil palm. *Proceedings Oil Palm/Palm Oil Conference, Progress and Prospects*. Palm Oil Research Institute of Malaysia. 135-146 pp.

Recovery of oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) affected by spear rots

Henry Jeremy¹, Gutiérrez Marco², Torres Joaquín³, Chinchilla Carlos⁴, Escobar Ricardo⁵, Mata Rafael⁶, Arauz Felipe⁷

Abstract

Spear rot or PC (for the Spanish name *podrición del cogollo*), known locally in Costa Rica as '*flecha seca*' is a disorder that affects the development, physiology and yield of the oil palm. It is associated with the deterioration of the fine root system under unfavorable weather and soil conditions. The disorder is not lethal and most palms can overcome the symptoms after a variable period. The hypothesis tested in this work was that it is possible to reduce the severity of the symptoms and eventually the recovery period, using practices that improve the physical and microbiological conditions of the soil to stimulate root growth and improve the nutritional and energy status of the palms. The response obtained was measured using data on morphology, growth, physiology and yield of treated and control palms. In addition, the physical, chemical and microbiological properties of the soil were characterized. To reduce the genetic effect, the study was done with a particular clone that was known to be highly susceptibility to the disorder and that required a long period to recover from the symptoms. The study began when the palms were 28 months old and continued for two years.

Two edaphic units (Coarse, Aquic Eutrudept and Medial, Aquic Eutrudept) were identified at the experimental site; where the terrain was irregular, the soil had poor drainage in the first 30 cm, high bulk density, low hydraulic conductivity and few air spaces. All these physical properties favored the presence of standing water during prolonged periods. At the end of the rainy season of 2012, a deterioration of the fine root system was observed when the soil volumetric water content increased above 40%. Imbalances were found between some nutritional elements and in the physiology of the affected palms and later on appeared the typical aerial symptoms of PC: chlorosis and drying of the leaflets at the base of the new leaves and other drying and decay of the petiole bases.

The palms that received the recovery treatments showed a remission of symptoms in approximately 18 months, while the control palms were still showing major PC symptoms after two years. Visual (vegetative) recovery was associated with the remediation of the physical, chemical and microbiological properties of the soil, which in turn improved root mass and root health. The nutrient content in the leaves (N, Fe, S and K), root density, trunk height, photosynthesis, fruit production and bunch oil content increased significantly in the recovered palms compared to the untreated controls.

Nutrient application (to the soil and the aerial part), and surgical removal of affected tissues in particular, helped to obtain more rapid recovery. It was evident that the removal of necrotic tissue from the petiole bases extended the longevity of the leaves. Nevertheless, the effect sought with the systematic removal of the inflorescences (for the purpose of diverting assimilates to the roots) was not clear.

We conclude that the recovery from PC should focus on the regeneration and maintenance of a healthy root system and that the possibilities for success increase when symptomatic palms are treated early. However, emphasis should be placed on prevention, which means taking prompt measures to minimize the negative effects of brusque changes in environmental conditions that could stress the plants. In addition, there should be early detection and immediate correction of any factor or factors (primarily physical, chemical and microbiological aspects of the soil) that could negatively affect the maintenance of a healthy root system.

Keywords: *Elaeis guineensis*, pudrición del cogollo, spear rot, recovery, predisposition

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

² EEAFCM, Fac. Ciencias Agroalimentarias, Univ. de Costa Rica, marcovgutierrez82@gmail.com

³ ASD de Costa Rica, jtorresa@asd-cr.com

⁴ Consultor, cmlchinchilla@gmail.com

⁵ ASD de Costa Rica, r.escobar@asd-cr.com

⁶ CIA. Fac. Ciencias Agroalimentarias, Univ. de Costa Rica, rafaelmata@ucr.ac.cr

⁷ CIPROC. Fac. Ciencias Agroalimentarias, Univ. de Costa Rica, felipe.arauz@ucr.ac.cr

Introduction

Spear rot or '*podrición del cogollo*' (PC) is a disorder that affects the development, physiology and yield of the oil palm. Initial symptoms of PC on the foliage; normally include chlorosis of some leaflets at the base of some of the recently opened leaves. Some leaflets may show necrotic lesions while forming part of unopened leaves (spears), which can end up as generalized drying or decay. Occasionally, the lesions may penetrate deeply into the meristem region, causing the death of the palm. PC symptoms generally occur in soils with poor aeration, acid-base imbalances, and impoverished microbiological activity. The appearance of the disorder may be preceded by changes in the precipitation pattern (very dry seasons followed by abnormally heavy rainy seasons) associated with previous conditions favorable for high bunch production (Albertazzi et al. 2005, Chinchilla & Durán 1999, Torres et al. 2014).

The efforts to associate the entire range of PC symptoms with a single pathogen have not yielded definitive results. There have been several candidates (fungi, bacteria, viroids, etc.), and with some of them the

rot symptoms have been replicated, but not the entire range of symptoms that the syndrome encompasses. Nor have the treatments to attack the possible pathogens given conclusive results. The role of the many organisms associated with PC appears to be opportunistic, attacking palms that have suffered some kind of stress sustained over time, predisposing the palms to infection (Chinchilla 2008, 2010).

The ideal situation would be to take effective measures to prevent the palms from becoming affected, and the experience with PC suggests that the identification and prompt correction of situations that negatively affect the root system and the energy status of the palm is a sound strategy. Nevertheless, given that many plantations are already affected by PC, this work was done to test the hypothesis that if an affected palm (particularly a highly susceptible clone) received special attention, its vegetative and reproductive recovery could be accelerated and that both processes were related to the recovery of the root system.

Materials and Methods

The study was carried out in a plot planted with an oil palm clone (Alvarado et al. 2006) known for its high susceptibility to PC and long recovery period. The palms were 28 months of age, planted at a density of 160 palms/ha in 2010. The climate of this Southern Pacific region of Costa Rica is wet (fewer than three relatively dry months), with annual precipitation above 4,000 mm. The rainiest periods occurs between May and November, with precipitations of 800 mm or more per month. The soil is of alluvial origin, with sandy clay textures predominating and an *udic* moisture regime (less than three dry months per year). The study area was located in the vicinity of the alluvial plain sediments of the Coto-Colorado River.

Field information was obtained between November 2012 and June 2014, a period that included two periods with less rainfall (November 2012 - April 2013: monthly average 160 mm, and December 2013 - April 2014: monthly average 140 mm). During the intermediate rainy period (May-November 2013), an average of 450 mm/month was recorded. The aerial environment was measured using an automatic weather station (Watch Dog), located 2 km away.

At the start, the palms were grouped into three categories according to the severity of the PC symptoms that were observed in November 2012 (Fig. 1).



Fig. 1. Categories according to the severity of PC symptoms in November 2012 in the clone (beginning of the study). Left to right: PC 0: Healthy palm; PC 1: Advanced PC symptoms; PC 2: Severe PC symptoms (note the broken lower leaves). The progress of the symptoms was very rapid in this clone and recovery was slow; therefore, it was not very common to find palms with symptoms that could be characterized as intermediate between advanced and severe.

The palms deemed healthy (PC 0) had a normal appearance with no chlorosis or drying. The PxS index (petiole cross-section) showed the normal trend for an increase in the newest leaves and the root system appeared healthy. Leaves on the palms in the advanced symptom category (PC 1) showed partial to extensive chlorosis and drying of the leaflets on new leaves, accumulation of spear leaves, gradual reduction of the PxS index in new leaves, and a reduction in root density. In the severe symptom category (PC 2), the palms showed extensive chlorosis, drying of the leaflets on new leaves, presence of rot at the petiole bases, petiole breakage on lower leaves, accumulation and rotting of spear leaves, gradual reduction of the PxS index in new leaves, reduction of root density and discontinuous reproductive cycles.

Recovery treatments

Each one of the eight treatments for recovery were applied to a group of 10 palms (not necessarily neighbors), that were initially placed in the three symptom categories indicated above (Table 1 and Fig. 1).

Table 1. Treatments for recovery in an oil palm clone. The palms were initially classified into three categories of spear rot severity (' <i>podrición del cogollo</i> ' or PC) (Figure 1)					
PC	Treatment	Agrochemicals on the foliage	Soil remediation	Removal of inflorescences	Surgical removal of affected tissue
0	T1				
	T2	Healthy control palms			
1	T3				
	T4				
	T5	Affected control palms			
2	T6				
	T7				
	T8	Affected control palms			

The shaded area indicates the treatment applied.

The application of agrochemicals to the foliage was done in an attempt to improve the palms' natural defenses (Foliveex polysaccharides and multi-minerals, Kmax, Mgmax and Alexin). In addition, starting in February 2013, applications of other fertilizers were done to improve the nutritional status of the plants (urea, potassium sulfate, magnesium sulfate and sodium pentaborate).

Surgery was carried out to remove necrotic tissue and prevent additional damage by opportunist pathogens. Special emphasis was placed on eliminating affected tissue at the petiole bases, because this was the most conspicuous symptom on affected palms. Kilol, Sevin, Metalaxil MZ, Cosmoin and Cosmoagua were applied to the wounds. Subsequently, the commercial sealer Agrofíxer was applied. The elimination of young inflorescences of both sexes (referred to as 'ablation' in the rest of the document) was done monthly over 18 months for the purpose of inducing the partition of photosynthates toward vegetative development.

The soil remediation treatment was applied with the objective of improve the physical properties, reduce the soil volumetric water content, and increase microbial activity and nutrient uptake. These tasks were concentrated near the base of the plant (corona or circle) to facilitate the evacuation of surface water. In addition, the compacting of the soil surface was reduced in an area within a two meter radius around the base of the trunk, followed by the incorporation of humitec 80, Kmag, zinc sulfate, and compost consisting of empty oil palm bunches, split into three applications of 200 kg every six months. In general,

the treatments were chosen based on previous experience dealing with this disorder (Chinchilla & Durán 1999, Albertazzi et al. 2009b, Chinchilla 2010).

Site characterization

The ground contour was determined using a clinometer (Suunto, Mod. Tandem-360PC) at 30 points, which were georeferenced using a GPS unit (Garmin 62 SC) in January 2013. The contour map was created using the Surfer program version 8 (Golden Software) and the classification guide of the National Soil Survey Center (Schoeneberger et al. 2002).

The physical properties of the soil were measured in November 2012 toward the end of the rainy season. Effective depth, bulk density, total porosity, hydraulic conductivity, gravimetric humidity and texture were determined. The changes in the soil volumetric water content were determined monthly at 80 cm depth in a point around 20 palms distributed throughout the area, using a TDR (time domain reflectometer, Eijkelkamp, Mod. MP406-ICT).

Soil nutrient content in the first 70 cm of the soil profile was determined in May 2013 (580 mm of precipitation) and in November 2013. At the end of the 2013 rainy season (November), microbiological diversity was documented in the rhizosphere of five control palms and five palms where soil remediation was done. The sample was taken from the first 10 cm of soil depth at one meter distance from the base of the trunk. The DNA of the phylogenetic groups and genera of beneficial and potentially pathogenic microorganisms were determined and their expression was quantified using real-time PCR (Thermo Scientific, model PikoReal-96) using SYBR Green probes.

Vegetative and production variables

Ten palms were measured in each one of the eight treatments in December 2012, February, May and October 2013 and March 2014: trunk height and number of leaves with less than 30% of the area showing symptoms, rachis length and PxS for leaf No. 9.

Evaluations of root density were done for seven palms per treatment in June, September and November 2013 and in January and May 2014. The samples were taken at 0-15 cm and 15-30 cm of depth, at distances of half, one and two meters from the base of the trunk with a 750 cm³ auger (Eijkelkamp). The roots extracted were washed with water, their total length was quantified, and the result was divided by the volume of the auger cylinder to obtain root density (cm/cm³), using the "WinRhizo" software (Gutiérrez et al. 2014).

Bunch production was quantified for the same 10 palms for certain treatments (T1, T2, T4, T5, T7 and T8: treatments without the removal of inflorescences, Table 1). The data correspond to the sum in kilograms of fresh fruit produced per palm in the period from June 2013 to June 2014. Bunch oil content was determined in a sample of 11 bunches from the same treatment groups in November 2013. Leaf nutrient content was determined in May 2014 in a sample of the basal, medial and distal leaflets of leaf No. 9 in five palms per treatment.

Physiological variables

Due to the dynamic nature of PC and the effect of the treatments, the severity of the symptoms changed over time and some initially affected plants were subsequently classified as recovered (healthy) or as having more severe symptoms. The initial classification (PC 0, PC 1 and PC 2) was used to define the group of plants to which the treatments were applied, to make statistical comparisons of growth and production, and to prepare the severity curves. During the physiological measurements, the palms received a new classification according to their severity at the time and palms that apparently were recovered (PC 0) or with recovery underway (PC 1) were compared. The severe symptom category (PC 2) was taken from control palms that were healthy initially and became affected during the course of the work. In each new category of PC severity, measurements were taken on five palms regarding the physiological condition of the basal, medial and distal leaflets on leaves in positions 1, 9 and 17 in the phyllotaxy. The measurements were done in the dry

(February-March) and rainy (September-October) seasons of 2013 and the dry season of 2014 (March).

The water potential was taken using a pressure chamber Scholander (Mod. PMS 1000, Oregon) from 5:00 to 6:00 am and from 11:00 am to 1:00 pm. Photosynthesis was measured between 7:00 and 15:00 hours, with one-hour intervals between each round. For this purpose, a portable system was used to measure photosynthesis (Li-6400XT, LiCor Biosciences, Lincoln, NE) by quantifying photosynthetically active radiation (PAR), net photosynthesis (A), stomatal conductance (g_s) and transpiration (E) of the medial leaflets of leaf No. 9.

Data analysis and interpretation

Each one of the 80 palms evaluated was considered as an experimental unit or replicate. Treatments T1 and T2 (initially healthy palms) were treated separately from the rest and compared using a *t*-test. The statistical analysis of growth variables for categories PC 1 and PC 2 (as for November 2012), were done using

data from March 2014 (16 months after the treatments were initiated) and two sources of variation were considered: the initial PC severity and the treatments for recovery. The significance of the difference between means for initial PC severities was verified using the minimum significant difference, while treatments T3 and T4 (advanced symptoms, complete treatment with and without ablation, respectively) and T6 and T7 (severe symptoms, complete treatment with and without ablation) were compared against their respective controls (T5 and T8), using Dunnett's test ($P < 0.05$).

Production variables and bunch characteristics were analyzed using a *t*-test, in which the means of treatments T4 and T7 (advanced and severe symptoms with complete treatment without ablation, respectively) were compared against the respective controls (T5 and T8) ($P < 0.05$). For the physiological variables, an analysis of variance was done between the three categories of PC severity using a multiple comparison of all the pairs of means using the DGC test ($P < 0.05$).

Results

Climatic conditions

The average rainfall per month between November 2012 and April 2013 was 131 mm, and 136 mm in the next low rainy season between December 2013 and April 2014. During the rainy season, precipitation fluctuated between 445 and 560 mm/month. Other climatic data are shown in figure 1. The previous year (2011) had been very rainy (5900 mm versus. 3343 and 3350 mm in 2013 and 2014, respectively).

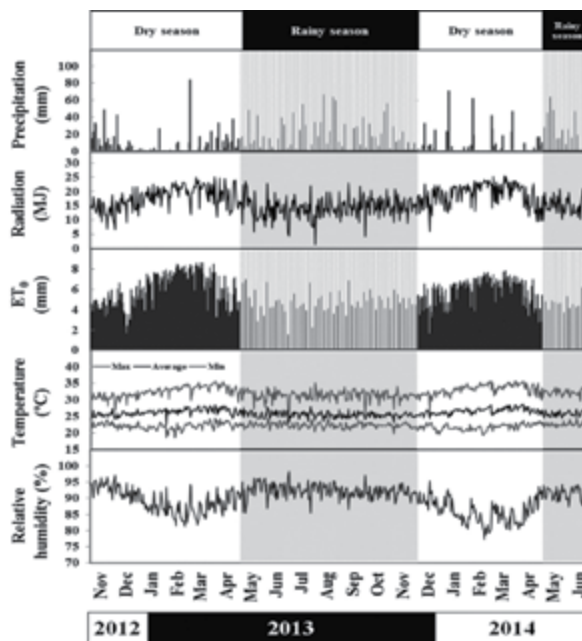


Fig. 2. Precipitation, total solar radiation, potential evaporation (ET_p), temperature and relative humidity of the air, were measured daily between November 2012 and June 2014. The periods with less rain are labeled as 'dry season' in the figure.

Geomorphology and soil physics

The soil formation process in the study area varied according to the size of the particles deposited in the different alluvial episodes and the topography of the terrain (Figs. 3, 4). The Coarse, Aquic Eutrudept edaphic unit (low terrain: 30% of the area) was characterized by the predominance of larger particles, while in the upper land (Medial, Aquic Eutrudept), finer textures prevailed (60% of the area). The low zone presented moderately slow drainage, while in the high zone, drainage was slow to very slow.

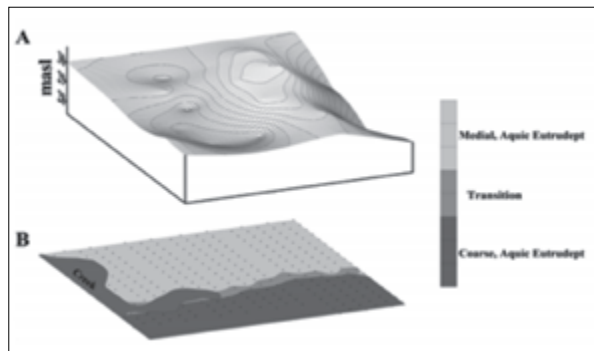


Fig. 3. Above. Variations in the ground contour. Below. Spatial distribution of the edaphic units. The diagrams were generated from 80 observations at sites with palms selected in the study and the description of two soil pits (Fig. 4). The interpolation was done using the Kriging method and the Surfer 8 program.

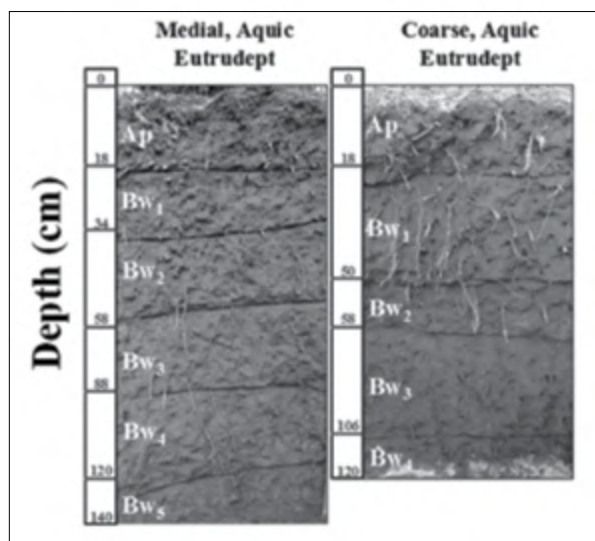


Fig. 4. Effective depth, nomenclature of the horizons and taxonomic classification of the soil in the two edaphic units of the study area. Both units showed drainage limitations at surface level (Ap horizon) (classification according to USDA soil taxonomy).

Although bunch yield potential was high in the two edaphic units identified, the limitations of the site were evident at surface level (Ap horizon), particularly in the Coarse, Aquic Eutrudept unit,

where porosity and hydraulic conductivity were lower, which favored moisture saturation (Table 2).

Table 2. Physical properties of the two edaphic units of the area where the treatments for the recovery of palms with PC were implemented. The values are weighted averages taking into account the depth of the horizons in each one of the profiles. Nov. 2012

Variable	Edaphic unit		Ap horizon	
	Medial, Aquic Eutrudept	Coarse, Aquic Eutrudept	Coarse, Aquic Eutrudept	Medial, Aquic Eutrudept
Effective depth (cm)	145.0	115.0	18.0	18.0
Bulk density (g/cm^3)	1.1	1.1	1.3	1.0
Total porosity (%)	48.0	51.1	39.2	51.1
Air spaces (%)	13.2	22.6	12.2	22.1
Hydraulic conductivity (cm/h)	0.4	1.1	1.0	1.1
Gravimetric water content (%)	31.2	25.0	21.2	28.5
Texture	sandy clay loam	sandy loam	sandy loam	sandy clay loam
Clay (%)	29.6	10.6	15.0	25.0

PC symptoms in the clone

Chlorosis normally started on the distal part of the young leaves and from the tips of the leaflets progressing toward the base. Nevertheless, it could also followed the opposite pattern (the first leaflets showing the symptom were those at the base of the leaf). Eventually, the chlorosis degenerated into necrosis from the distal end of the leaflets. Necrosis of the petiole bases was severe, often causing the leaves to break in that section; plants could therefore lose 30% or more of their leaves prematurely. The fruitlets did not fill out normally and became dehydrated (Fig. 5).

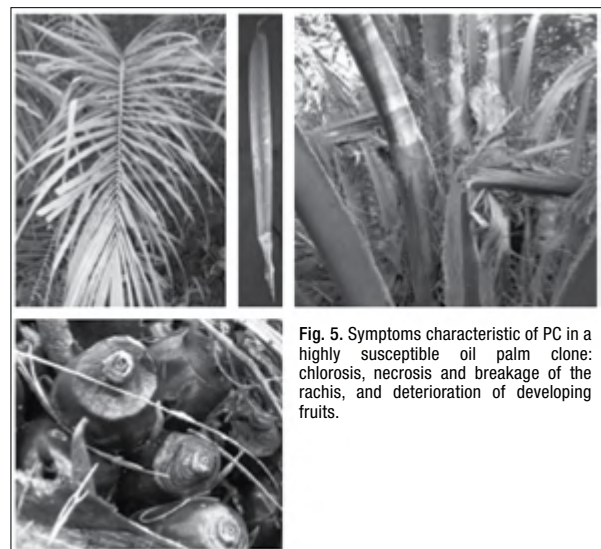


Fig. 5. Symptoms characteristic of PC in a highly susceptible oil palm clone: chlorosis, necrosis and breakage of the rachis, and deterioration of developing fruits.

Spatial distribution of PC and soil volumetric water content

The capacity to evacuate superficial water (runoff) was different in the two soil types, even though they shared a similar drainage infrastructure. At the start of the rainy season in May 2013, the incidence of PC increased in the lower area and this was associated with the increase in the soil volumetric water content (SVWC). The increase in SVWC to 42% as precipitation escalated between June and November, was also associated with the 'spread' of PC in nearly the entire area. In December 2013, when VH SVWC fell to 30%, PC incidence diminished and a clear trend toward recovery from the symptoms in the affected palms was noted, particularly in those that received the treatments. By June 2014, the only palms that still had clear PC symptoms were the controls and the originally healthy palms that had progressively become affected (Fig. 6).

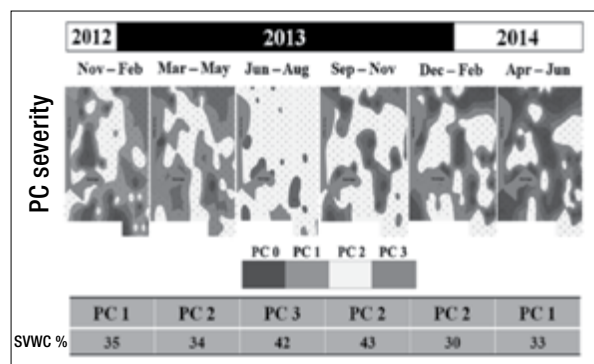


Fig. 6. Progress of PC over time (average of three months) in relation to changes in the soil volumetric water content (SVWC, %) at 0 to 80 cm of depth. SVWC diagrams were prepared based on measurements over time at 20 sampling points and the level of PC severity in 80 palms. The interpolations were done using Kriging and the Surfer 8 program.

Chemical properties of the soil

The soil was classified as eutric due to its high calcium (>15 cmol (+)/L) and magnesium (> 2.5 cmol (+)/L) contents. With the soil remediation treatment acidity and acid saturation were reduced in comparison with the untreated control soil (2.32 to 0.23 cmol (+)/L and 8 to 0.7 %, respectively). The amount of Mg increased from 5.15 to 6.65 cmol (+)/L, K content rose from 1.39 to 7.16 cmol (+)/L, and the effective cation exchange capacity of the soil increased from 29.16 to 32.93 cmol (+)/L. However, with the five-fold increase in K content, the cation ratios Ca/K, Mg/K and (Ca+Mg)/K fell below optimum levels.

Microbiological properties of the soil

One year after (Nov. 2013) the start of the application of the recovery treatments, 29 phylogenetic groups were identified in the rhizosphere of the untreated control palms, of which 26 were potentially pathogenic and three corresponded to beneficial microorganisms. We found high concentrations (above 300 pg DNA/ml of soil) of *Thielaviopsis* sp., *Phytophthora* sp., *Fusarium* sp., *Pseudomonas maculicola* and *Pseudomonas* sp. High concentrations of α and β -proteobacteria and *Bacillus* sp., were determined to be the main beneficial microorganisms (Fig. 7).

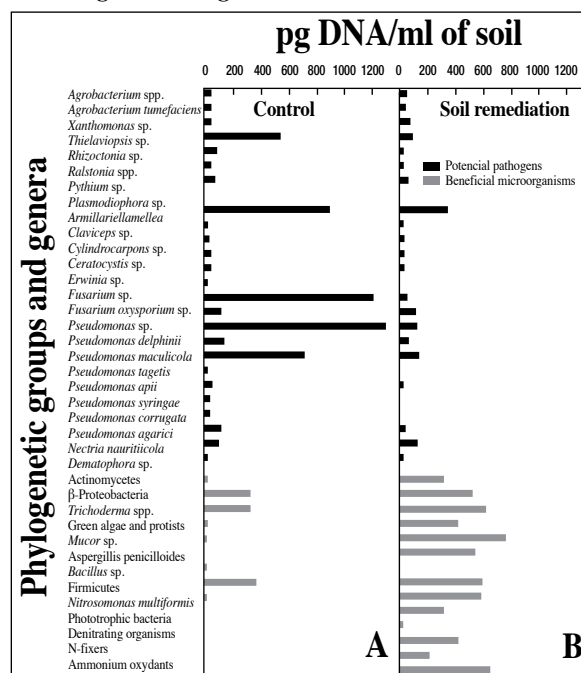


Fig. 7. Abundance expressed in pg DNA/ml of soil, for the main phylogenetic groups and genera present in the rhizosphere 12 months after the application of the recovery treatments. A: Absolute controls and B: Soil remediation. The results correspond to the rainy season of 2013 (November), based on a sample consisting of five palms for each treatment; the samples were taken in the first 10 cm of soil depth, one meter from the base of the trunk.

With the soil remediation treatment, the diversity of beneficial microorganisms in the rhizosphere rose from 3 to 12 genera, which is equivalent to an increase of 1065 to 6000 pg DNA/ml of soil. The principal beneficial microorganisms identified were: Actinomycetes, α and β -proteobacteria, *Trichoderma* spp., *Mucor* sp., green algae and Protista, *Bacillus* sp., *Streptomyces* spp., Firmicutes, *Curtobacterium* spp., *Nitrosomonas multiformis* and nitrifying and ammonia oxidizing bacteria, while the concentration of potentially pathogenic groups was notably reduced, identified mainly as *Pseudomonas* sp., *Fusarium* sp. and *Phytophthora* sp. (Fig. 7).

Response to treatments

Initially, in November 2012, three groups of PC severity were distinguished: healthy palms, palms with advanced PC symptoms and palms with severe symptoms of the disorder (Fig. 1). In May 2013, at the height of the rainy season (precipitation: 550 mm), all the palms selected, including the initially healthy controls, showed PC symptoms. During the start of the 2014 season with less precipitation, all the affected palms that received special care showed a progressive reduction of symptoms and were apparently healthy in June of that same year (Table 1 and Fig. 8).

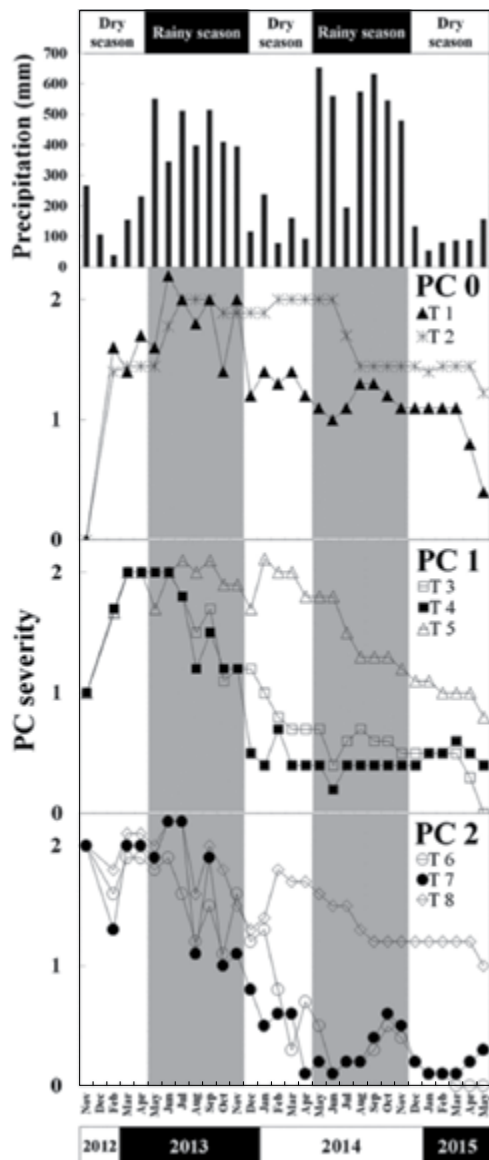


Fig. 8. Severity of the PC disorder over time based on initial PC symptoms (November 2012) and the recovery treatment. PC 0, PC 1 and PC 2 describe the initial condition of the palms: healthy, with advanced symptoms, and severe symptoms, respectively. T2, T5 and T8 = control; T3 and T6: complete treatments for recovery with ablation; T4 and T7 complete treatment without ablation (Table 1).

Root density

Changes in the aerial PC symptoms over time were related to the dynamic of the root system. The treated palms showed a significant increase in root density one year after the treatments were initiated, which was associated with an increase in the PxS of the new leaves and even with the height of the plant. The remission of visual PC symptoms 19 months after treatments began (June 2014) was preceded by a highly significant increase ($P < 0.01$) in root density. The differences between the controls and the treatments with or without ablation were $16 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ and $14 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ in palms with advanced and severe symptoms, respectively (Fig. 9).

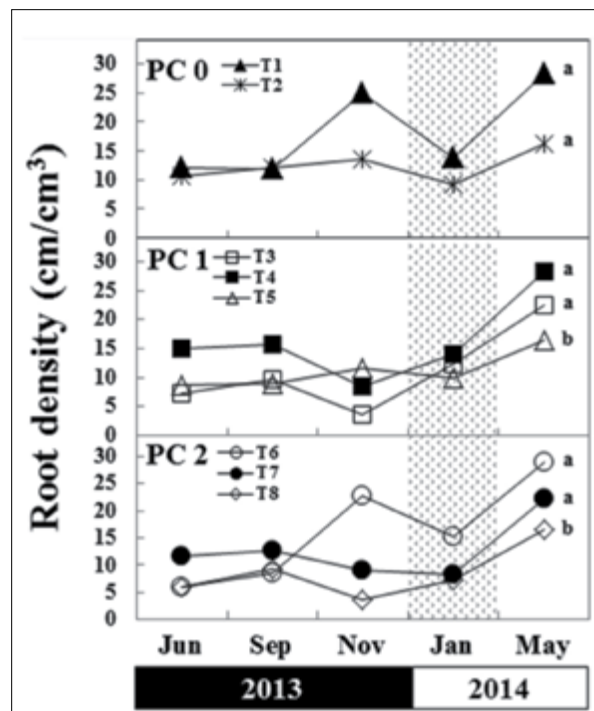


Fig. 9. Root density (cm^3/cm^3) according to PC severity and the recovery treatment. Samples were taken from 0 to 30 cm depth, at 0.5, 1 m and 2 m from the base of the palm trunk. The comparison between PC severities were performed using the minimum significant difference. Treatments that included the application of agrochemicals and soil remediation with and without the removal of inflorescences were compared with the respective controls using Dunnett's test ($P < 0.01$). Means of seven samples per treatment per evaluation date. T5 and T8 = controls; T3 and T6 equivalent to the complete treatment for recovery with removal of inflorescences; T4 and T7, complete treatment without removal of inflorescences (Table 1).

Vegetative growth

Trunk height, with an increase of 25 cm at the end of the evaluation period, was higher in palms that received the complete treatment including ablation, in comparison with the control treatment. Other variables, such as the number of leaves and the PxS index did not show significant differences between treatments, except at the start of the rainy season in

May 2013, when palms with the complete treatment had a larger PxS than those treatments where ablation was not applied and the controls. However, there was greater vegetative development (larger PxS and longer rachis) in initially affected palms that were treated.

Physiology

Water potential (Ψ_H) was similar among the different treatment groups during the period with less rain, but it varied during the rainy season of 2013, particularly during the afternoon hours, when leaves Nos. 1 and 9 of the recovered palms and those with advanced symptoms (PC 0 and PC 1, respectively) showed a lower Ψ_H than the palms with the more severe symptoms ($P < 0.05$). During the morning of the rainy season of 2014, the leaf No.9 on of palms with advanced symptoms showed a significant reduction in Ψ_H . In the dry season of 2014, leaves Nos. 1 and 9 of the recovered palms and the ones with severe symptoms showed significantly higher water potentials in comparison to palms with advanced symptoms (Fig. 10).

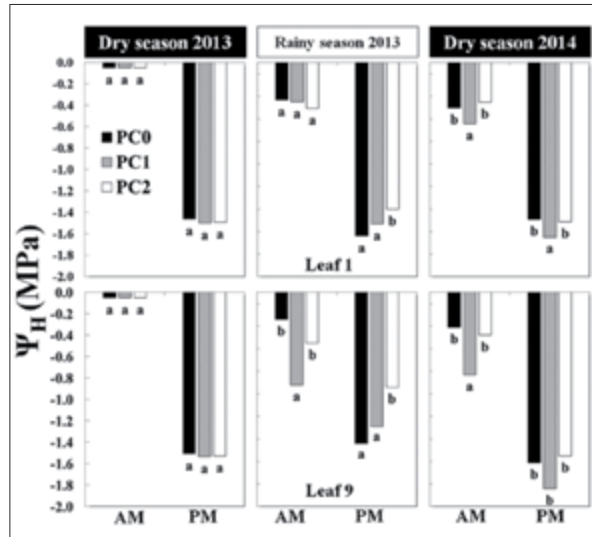


Fig. 10. Water potential (Ψ_H) of leaves No. 1 and 9 in the three categories of PC severity. Measurements between 5:00 and 6:00 am and 11:00 and 1:00 pm in February-March 2013 (low precipitation), September-October 2013 (rainy season) and March 2014 (dry season). Multiple comparison of pairs of means using the DGC test. Means of 250 samples in each season. Identical letters denote non-significant differences ($P < 0.05$). Severities PC 0 and PC 1 included palms for the treatments T3, T4, T6 and T7; and severity PC 2 included palms for the control treatments = T2, T5 and T8 (Table 1).

Photosynthesis

The recovery of the palms with the different treatments was monitored using measurements of photosynthetic activity throughout the day. In the rainy season of 2013, the photosynthetic rate of the recovered palms (PC 0), reached $14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ during most of the day, while the palms in recovery (PC 1) and palms with severe symptoms (PC 2) barely exceeded $7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Transpiration of healthy palms was significantly higher than that for PC affected palms with both degrees of severity, which indicates intense physiological activity and high soil water extraction capacity (figs. 10 and 11). In the dry season of 2014, the greatest physiological activity occurred in the recovered palms (photosynthetic rate of $17 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), while palms with PC symptoms reached a maximum of $13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 11).

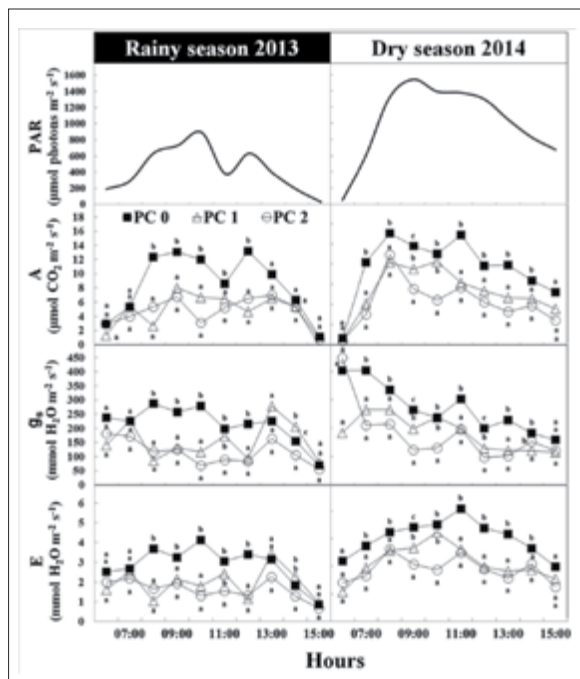


Fig. 11. Photosynthetically active radiation (PAR), net photosynthesis (A), stomatal conductance (g_s) and transpiration (E) of leaf No. 9 in the three categories of PC severity. Multiple comparison of pairs of means using the DGC test. Means of 24 samples per hour per severity in each season. Identical letters denote non-significant differences ($P < 0.05$). The severities PC 0 and PC 1 included palms for the treatments T3, T4, T6 and T7; and severity PC 2 included control palms = T2, T5 and T8. 'Dry season' simply denotes the less rainy period (Fig. 2).

Nutrients in the leaves

The palms recovered from PC showed optimum contents of macro and micronutrients. Their contents of N, Fe, S and K were higher than in the controls, but the contents of B and Ca were lower. In all the treatments, the Fe/Mn ratios were 1:2; indicating a possible imbalance.

Fruit and oil yield

The effectiveness of the recovery induced by the treatments and reflected in the higher photosynthetic activity, growth and recovery from PC symptoms, was also evident in fruit yield (complete treatment without ablation). Palms with initially advanced and severe symptoms produced 27 and 19 more kilograms of fruit bunches than the absolute control ($P < 0.05$). The increase was in the number of bunches, but not in their weight. The gain in oil

production was estimated at one ton in the case of palms with initial advanced symptoms (PC 1) and at 1.4 tons for palms with severe symptoms (PC 2) (Table 3).

Table 3. Production of fresh fruit and oil versus initial PC severity (November 2012) and treatments for recovery. Means of 10 samples per treatment. Comparison of means using the *t*-test ($P < 0.05$)

PC	Treatment	Fruit production (kg palm ⁻¹ year ⁻¹)	Number of bunches (No. palm ⁻¹ year ⁻¹)	Bunch weight (kg)	Oil in bunch (%)	Oil/HA tons year ⁻¹
1	T4	108.2	15.6	6.9	17.0	2.9
	T5	81.2	11.8	6.9	15.2	1.9
	difference between means	27.0*	3.8*	0.0 n.s.	1.8*	1.0*
2	T7	128.2	17.5	7.3	16.3	3.3
	T8	110.1	15.6	7.0	11.1	1.9
	difference between means	18.1 *	1.9*	0.3 n.s.	5.2*	1.4*

t-test; * = statistically significant differences and n.s. = non-significant differences.

Discussion and Conclusions

PC symptoms were initially observed in late 2012. This event was preceded by a prolonged period of rains that extended from May to November (average of 390 mm/month), followed by a significant reduction in rain from January to March 2013 (average of 35 mm/month). From May to November of the next year (2013), another prolonged period of high precipitation occurred (445 mm average/month), which was associated with a notable increase in the incidence and severity of PC. At this site, Torres et al (2014) found a relationship between PC and soil moisture saturation during La Niña years (deterioration of roots due to hypoxia), followed by El Niño years with abnormally dry seasons that further deteriorated the root system.

The pattern of the appearance of new PC cases was associated to a greater extent with variations in ground contour (discreet foci in depressions of the terrain) and with the deterioration of the physical properties of the soil; both factors had a negative effect on surface drainage during the rainy season. This situation caused an increment in the soil

volumetric water content in the upper layers; which was associated with a significant reduction of root density and an increase in the severity of the symptoms. Surface drainage was also limited due to soil compaction and the loss of structure in the Ap horizon due to the intensive tilling that these soils suffered in the past.

As a result of the stress suffered, an abnormal behavior was observed in the physiology of the PC affected palms. In the dry season of 2013, the affected palms showed a transitory increase in stomatal conductance and leaf temperature, but with their reduced root density, the capacity to absorb soil water and minerals in sufficient quantities was diminished. Eventually, a water and energy imbalance was generated that was manifested in the rainy season of 2013, when the PC symptoms were most severe, significantly diminishing photosynthesis, stomata conductance and transpiration of palms with severe symptoms, particularly in the lower areas of the plot, where the water table reached the root zone. All this may affect the chemical signals generated by the roots (Davies & Zhang 1991; Rajagopal et al. 1986).

In the 'dry' season of 2014, palms with PC symptoms showed less capacity to regulate water potential of the leaves and they were incapable of responding to the elevated evaporative demand of the atmosphere, probably as a mechanism to prevent the excessive loss of water during photosynthesis, which diminished significantly (Chinchilla & Durán 1999). Similarly, Moreno et al (2013) documented that the different stages of PC development significantly affected photosynthesis, stomata conductance, transpiration, and the metabolism of the oil palm.

The application of the recovery treatments was associated with the progressive reduction of the severity of aerial symptoms, and many palms appeared to be healthy after 18 months, which is not the norm in a susceptible clone like the one studied. Recovery was preceded by an increase in root density, which made the recovery of stomata control possible, increasing the water potential of the leaves and photosynthetic activity, increasing vegetative growth, bunch production, oil accumulation and tolerance to biotic and abiotic stress.

Soil remediation improved the physical, chemical and microbiological properties of the soil, achieving a more rapid recovery of the root system. The improvement of surface drainage in the circle around the palm and the application of compost made a favorable environment for root growth (Bever et al. 2012, Mohammad et al. 2012, Mangan et al. 2010). The beneficial effect of the organic matter on the regeneration of the root system of palms affected by PC had been observed by Albertazzi et al. (2009b). In soil that was not treated with compost, there was a prevalence of potentially pathogenic microorganisms that appeared to have greater tolerance to anaerobiosis.

The poor surface drainage at the site was corrected by excavating surface drainage waterways specifically designed for the irregularities of the terrain around each palm. This made possible the rapid evacuation of surface water toward the quaternary network of canals, such that during the rainiest months of 2014 (400 mm/month), the soil volumetric water content at the site remained near 33%.

There was little difference in root density between treatments where inflorescences were removed or not. These data, and the fact that the differences in severity were not very notable with or without ablation, appear to indicate that this practice was not determinant in assisting root development or PC recovery. In addition, the differences in severity between treatments T1 and T2, which did not include ablation, did not show notable differences in severity when the disorder appeared in these initially healthy palms. Nevertheless, aerial vegetative growth was indeed greater with ablation of the inflorescences, especially the increase in trunk height.

The partition of assimilates occurs between antagonistic but complementary processes: vegetative growth, reproductive development, the storage of reserves, and defense activities. Modern varieties of palms are precocious, with high fruit and oil yields; therefore they can be highly susceptible to environmental stresses because they have sacrificed the assignment of resources to vegetative growth and to defense in order to increase oil yield.

Ablation is a little explored agricultural practice in oil palm (Corley & Breure 1992; Legros et al. 2009). The removal of inflorescences and bunches in development is an attempt to modify the distribution pattern of the assimilates and divert them to vegetative growth, which effectively occurred in the clone with respect to the aerial part. However, the benefits regarding root development were not clear. Palms store large quantities of reserve substances in the trunk for the purpose of buffering photosynthetic deficiencies of the crown under unfavorable climatic conditions, but rapid transport of these substances toward the roots might not occur (Basri et al. 2004; Legros et al. 2009; Milaet-Serra et al. 2006).

We conclude that the application of a soil remediation treatment, together with agrochemicals on the foliage did not impede the development of symptoms in plants with an initial healthy appearance (according to the initial evaluation in November 2012), nor did they appear to reduce the period necessary for a natural recovery (which occurred after a variable period). However, the severity of the symptoms was less in the treated plants.

The early removal of necrotic tissue from the petiole bases had an effect on the recovery of palms with PC, since it prolonged the longevity of the leaf tissue, which otherwise would have died prematurely with the breakage of the leaf in the petiole area.

Palms that did not fully recover from PC symptoms during the evaluation period (controls) showed a significant reduction in fruit and oil yields. The increase in the number of bunches on treated palms could have been due to a lower percentage of abortion and/or failure thereof. The reduction in oil content in the fruits of the control could have been related to the interruption of the oil synthesis process and the reduction of the number of fertile fruits in the bunch (Chinchilla & Durán 1999).

Due to the difficulty of carrying out some of the soil remediation treatments for individual palms in some situations (for example, where there is extensive deterioration in the entire palm crop area (making suitable drainage for individual palms impossible)), their execution might not be feasible unless the improvement practice is done previously for the whole plantation. On the other hand, if the problem is allowed to expand and the number of plants to be

treated augments considerably, it might not be feasible to give 'personalized' attention to each affected palm. In addition, it could be argued that the cost of such detailed work on each palm could not be sound from an economical point of view.

In addition, we recognize that it is not possible to separate the effects of each practice carried out. In particular, the effect of each agrochemical applied to the foliage or the soil cannot be distinguished, and it is possible that the large amount of fertilizer added to the soil would create eventually significant imbalances among various nutrients, with possible undesirable consequences. Therefore, these details must still be clarified. Nevertheless, the initial proposed objective intended to demonstrate that it is possible to reduce symptom severity and eventually accelerate the recovery of a PC affected palm, even in the case of a highly susceptible clone with a long natural recovery period, through agronomic improvement of the soil properties to allow better root development, which was documented in this study. We conclude that in order to achieve recovery from PC symptoms, first the oil palm root system must be regenerated, to allow subsequent recovery of vegetative aerial growth and finally, an increase in oil and bunch production.

Literature cited

- Albertazzi H., Bulgarelli J., Chinchilla, C. Ml. 2005. Onset of spear rot symptoms in oil palm and prior -and contemporary- events. ASD Oil Palm Papers, 28: 21- 33.
- Albertazzi H., Chinchilla C. Ml., Ramírez C. 2009a. Soil characteristics and root development in young oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) planted in sites affected by bud rots (pudrición del cogollo) . ASD Oil Palm Papers, 33: 1-14.
- Albertazzi H., Chinchilla C. Ml., Ramírez C. 2009b. Oil palm root development as a response to mineral and organic nutrition in soils with prevalence of spear rots. ASD Oil Palm Papers, 33: 3-39.
- Alvarado A., Guzmán N., Escobar R., Peralta F., Chinchilla C. Ml. 2006. Cloning program for oil palm compact varieties: realities and commercial potential. *In*. XV Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, FEDEPALMA. Cartagena, Colombia, Septiembre 2006.
- Ayres P. 1984. The interaction between environmental stress injury and biotic disease physiology. *Annu. Rev. Phytopathol*, 22: 53-75.
- Basri M., Siti Nor Akmar A., Henson I. 2004. Oil palm: Achievements and potential. *Plant Production Science*, 8(3): 288-297.
- Bever J., Platt., T., Morton E. 2012. Microbial population and community dynamics on plant roots and their feedbacks on plant communities. *Annu. Rev. Microbiol*, 66: 265-283.
- Chinchilla C. Ml., Durán N. 1999. Nature and Management of Spear Rot-Like Problems in Oil Palm: A case Study in Costa Rica. Proceedings of the 1999 PORIM International Palm Oil Congress (Agriculture). 24 p.
- Chinchilla C. Ml. 2008. The many faces of spear rots in oil palm and the need for an integrated management approach. ASD Oil Palm Papers, 32:1-10.
- Chinchilla C. Ml. 2010. There is no known evidence of a relationship between incidence and severity of spear rot (PC= pudrición del cogollo) in oil palm and the commercial origin of oil palm varieties planted in the past in tropical America. ASD Oil Palm Papers, 35: 13-17.
- Chinchilla C. Ml. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. ASD de Costa Rica. Publicaciones misceláneas. 22 p. (disponible en www.asd-cr.com, publicaciones misceláneas)
- Corley R., Breure C. 1992. Fruiting activity, growth and yield of oil palm. I. Effects of fruit removal. *Expl Agric*, 28: 99-109.
- Davies W., Zhang C. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42: 55-76.
- Gutiérrez M., Torres J., Araya J. 2014. Using WinRhizo® to study and quantify the roots of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Agronomía Mesoamericana*, 25 (1): 181-188.
- Kananam W., Tachapattaworakul T., Suksaroj C. 2011. Biochemical changes during oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches composting with decanter sludge and chicken manure. *Science Asia*, 37: 17-23.
- Legros S., Mialet-Serra I., Caliman J., Siregar F., Clement-Vidal A., Fabre D., Dingkuhn M. 2009b. Phenology, growth and physiological adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to sink limitation induced by fruit pruning. *Annals of Botany*, 104: 1183-1194.
- Mangan A., Schnitzer S., Herre E., Mack K., Valencia M. 2010. Negative plant-soil feedback predicts tree-species relative abundance in a tropical forest. *Nature*, 466: 752-756.
- Fourgerolles K., Sayag S., Escoute J., Verdeil J., Davrieux F., Deveau A., Dingkuhn M. 2006. The transitory carbon reserves in two palms: The coconut and the oil palms. CIRAD: Proceedings – Final meeting of ATP-Reserves, 11: 39-50.
- Mohammad N., Zahangir M., Kabbashi N., Ahsan A. 2012. Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 58: 69-78.
- Moreno A., Camperos J., Avila R., Romero H. 2013. Biochemical and physiological responses of oil palm to bud rot caused by *Phytophthora palmivora*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70: 246-251.
- Rajagopal V., Patil D., Sumathykuttyamma B. 1986. Abnormal stomatal opening in coconuts palms affected with rot wilt disease. *Journal of Experimental Botany*, 37: 1398-1405.
- Schoeneberger P., Wysocki D., Benham E., Broderson W. (editors). 2002. Field book for describing and sampling soils, Version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 218 p.
- Torres J., Gutiérrez M., Chinchilla C. Ml., Mata R. 2014. Soil characteristics, root development and spear rot incidence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). ASD Oil Palm Papers, 43: 12-22.
- Torres J., Gutiérrez M., Chinchilla C. Ml. 2015. Morpho-physiological monitoring of oil palm (*Elaeis guineensis*) affected by spear rots (PC). ASD Oil Palm Papers, 45: 26-34.

Recuperación de palmas aceiteras (*Elaeis guineensis* Jacq.) afectadas por pudriciones del cogollo

Henry Jeremy¹, Gutiérrez Marco², Torres Joaquín³, Chinchilla Carlos⁴, Escobar Ricardo⁵, Mata Rafael⁶, Arauz Felipe⁷

Resumen

La pudrición del cogollo o PC (conocida localmente en Costa Rica como 'flecha seca') es un trastorno que afecta el desarrollo, la fisiología y el rendimiento de la palma aceitera y está relacionado con el deterioro de las raíces finas en condiciones climáticas y edáficas desfavorables. El trastorno normalmente no es letal y las palmas pueden superar los síntomas luego de un tiempo variable. En este trabajo se puso a prueba la hipótesis de que es posible reducir la severidad de los síntomas y eventualmente el periodo de recuperación, mediante prácticas que mejoren las condiciones físicas y microbiológicas del suelo, para estimular el crecimiento radical y mejorar el estado nutricional y energético de las palmas. La respuesta obtenida se midió con datos de la morfología, el crecimiento, la fisiología y el rendimiento de las palmas tratadas y los testigos respectivos. Adicionalmente, se caracterizó las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. Se trabajó con un clon particular para reducir el efecto genético y porque se conocía sobre su alta susceptibilidad al trastorno y tiempo prolongado para obtener recuperación de los síntomas. El estudio inició cuando las palmas tenían 28 meses de edad y se continuó durante dos años.

En el sitio se identificaron dos unidades edáficas (Coarse, Aquic Eutrudept y Medial, Aquic Eutrudept), donde los suelos presentaban drenaje pobre en los primeros 30 cm, alta densidad aparente, baja conductividad hidráulica, escasos espacios aéreos, y un relieve irregular; condiciones que favorecían el encharcamiento. A finales de la estación lluviosa de 2012, se observó un deterioro del sistema radical fino cuando la humedad volumétrica del suelo fue mayor que 40 %. Se observaron desequilibrios entre elementos nutritivos y en la fisiología de las palmas afectadas y eventualmente aparecieron los síntomas aéreos típicos de PC: clorosis y secamiento de los folíolos en la base de las hojas nuevas y otros secamientos y pudriciones de las bases peciolares.

Las palmas que recibieron los tratamientos de recuperación mostraron una remisión de los síntomas en aproximadamente un año y medio, mientras que las palmas testigo aún dos años después mostraban síntomas importantes de PC. La recuperación visual (vegetativa) se asoció con la mejora de las condiciones físicas y químicas del suelo, la riqueza microbiológica del suelo y la salud y desarrollo radical. El contenido de nutrimentos en las hojas (N, Fe, S y K), la densidad de raíces, la altura del tronco, la fotosíntesis, la producción de fruta y el contenido de aceite en el racimo aumentaron significativamente en las palmas recuperadas con respecto al testigo sin tratar.

La aplicación de nutrientes (al suelo y a la parte aérea), y en particular la cirugía de los tejidos afectados, ayudaron a obtener una más rápida recuperación. Fue evidente que la remoción del tejido necrosado de las bases peciolares extendió la longevidad de las hojas. No obstante, el efecto buscado con la remoción sistemática de las inflorescencias (con el objetivo de desviar los asimilados hacia las raíces) no fue claro.

Se concluye que la recuperación de la PC debe enfocarse en la regeneración y el mantenimiento de un sistema radical saludable y que las posibilidades de éxito son mayores cuando se tratan palmas con síntomas iniciales. Sin embargo, el énfasis debe ser puesto en la prevención; lo cual implica tomar medidas en forma oportuna para minimizar los efectos negativos de cambios bruscos en la oferta ambiental que causen estrés sobre las plantas. Adicionalmente, se debe detectar tempranamente y corregir en forma oportuna cualquier factor o factores (físicos, químicos y microbiológicos del suelo principalmente) que puedan afectar en forma negativa el mantenimiento de un sistema radical saludable.

Palabras clave: *Elaeis guineensis*, pudrición del cogollo, recuperación, predisposición

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

² EEAFBM, Fac. Ciencias Agroalimentarias, Univ. de Costa Rica, marcogutierrez82@gmail.com

³ ASD de Costa Rica, jtorresa@asd-cr.com

⁴ Consultor, cmlchinchilla@gmail.com

⁵ ASD de Costa Rica, r.escobar@asd-cr.com

⁶ CIA. Fac. Ciencias Agroalimentarias, Univ. de Costa Rica, rafaelmata@ucr.ac.cr

⁷ CIPROC. Fac. Ciencias Agroalimentarias, Univ. de Costa Rica, felipe.arauz@ucr.ac.cr

Introducción

La 'flecha seca' o 'pudrición del cogollo' (PC) es un trastorno que afecta el desarrollo, la fisiología y el rendimiento de la palma aceitera. Los síntomas iniciales de PC en el follaje se manifiestan normalmente con la clorosis de unos pocos foliolos localizados en la base de algunas de las hojas recientemente abiertas. Algunos foliolos presentan lesiones necróticas en las hojas sin abrir (flechas); las cuales pueden terminar como pudriciones o secamientos generalizados. En casos muy severos (pero no frecuentes), las lesiones penetran profundamente en la región del meristemo provocando la muerte de la palma. Los síntomas de PC se presentan por lo general en suelos con baja aireación, con desequilibrios de bases, y biomasa microbiana benéfica empobrecida. La aparición y aumento en la incidencia del trastorno está precedida por cambios en el patrón de precipitación (veranos muy secos seguidos de inviernos anormalmente lluviosos) asociados con condiciones previas favorables para una alta producción de racimos (Albertazzi et al. 2005, Chinchilla y Durán 1999, Torres et al. 2014).

Los esfuerzos por asociar toda la gama de síntomas de la PC con un único patógeno particular han dado resultados poco claros. Los candidatos han sido varios (hongos, bacterias, viroides, etc.), y con algunos de ellos

se han repetido síntomas de pudriciones, pero no toda la gama que incluye el síndrome. Adicionalmente, los tratamientos hechos para atacar estos posibles patógenos, tampoco han dado resultados concluyentes. El papel de los numerosos organismos asociados con la PC parece ser más bien el de oportunistas, atacando aquellas palmas que han sufrido algún tipo de estrés sostenido por algún tiempo y por consiguiente predispuestas a la infección (Chinchilla 2008, 2010).

La idea principal cuando se intenta manejar la PC es evitar que las palmas se enfermen, pero si eso ocurre, entonces se pueden tomar medidas para que los síntomas sean leves y la recuperación rápida; tanto en el aspecto vegetativo como reproductivo. La experiencia con la PC indica que la mejor defensa es la prevención, mediante la identificación y corrección oportuna de situaciones que afecten negativamente el sistema radical y el estado energético de la palma. No obstante, debido a que muchas plantaciones ya están afectadas por PC; este trabajo se realizó con el objetivo de poner a prueba la hipótesis de que si una palma afectada (particularmente si se trata de un clon muy susceptible) recibe atención especial, se puede acelerar su recuperación vegetativa y reproductiva; ambos procesos relacionados con la recuperación del sistema radical.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó sobre un clon obtenido del programa de mejoramiento de ASD en Costa Rica (Alvarado et al. 2006) de 28 meses de edad, sembrado a una densidad de 160 palmas/ha en el año 2010. El clima de esta región del Pacífico Sur de Costa Rica es muy húmedo (menos de tres meses relativamente secos), con una precipitación pluvial anual superior a 4,000 mm. Los periodos más lluviosos ocurren entre mayo y noviembre, con precipitaciones de 800 mm o más por mes. El suelo es de origen aluvial, con predominancia de texturas arcillo-arenosas y con un régimen de humedad údico (menos de tres meses secos al año). El área de estudio se ubicó en la cercanía de la llanura de sedimentación aluvial del río Coto-Colorado.

La información de campo se tomó entre noviembre de 2012 y junio de 2014, tiempo que incluyó dos periodos con menos lluvia (noviembre 2012 - abril 2013: promedio mensual de 160 mm y diciembre 2013 - abril de 2014: promedio mensual de 140 mm). Durante el periodo lluvioso intermedio (mayo-noviembre de 2013) se registró un promedio de 450 mm/mes. El ambiente aéreo se midió con una estación meteorológica automática (Watch Dog), localizada a 2 km de distancia.

En un inicio las palmas se agruparon en tres categorías según la severidad de los síntomas de PC que presentaban en noviembre de 2012 (Fig. 1).



Fig. 1. Categorías según la severidad de los síntomas de la PC en noviembre del 2012 en el clon (inicio del estudio). Izquierda a derecha: PC 0: Palma sana; PC 1: Síntomas avanzados de PC; PC 2: Síntomas severos de PC (observese las hojas bajas quebradas). El progreso de los síntomas es rápido en este clon y la recuperación lenta; de manera que no es común encontrar palmas con síntomas que puedan denominarse intermedios entre avanzados y severos.

Las palmas denominadas sanas (PC 0) presentaban una apariencia normal con ausencia de clorosis o secamientos. El índice PxS (sección transversal del peciolo) presentaba la tendencia normal a un aumento en las hojas más nuevas y el sistema radical parecía sano. Las hojas en las palmas en la categoría de síntomas avanzados (PC 1) mostraban clorosis parcial a generalizada y secamiento de los folíolos en las hojas nuevas, acumulación de hojas flecha, reducción gradual del índice PxS en las hojas nuevas y reducción de la densidad de las raíces. En la categoría de síntomas severos (PC 2), las palmas presentaban clorosis generalizada, secamiento de los folíolos en las hojas nuevas, presencia de pudriciones en las bases peciolares, quebradura del peciolo de hojas bajas, acumulación y pudrición de hojas flechas, reducción gradual del índice PxS en las hojas nuevas, reducción de la densidad de las raíces y ciclos reproductivos discontinuos.

Tratamientos de recuperación

Cada uno de los ocho tratamientos de recuperación se aplicó a un grupo de 10 palmas (no necesariamente vecinas), que inicialmente fueron colocadas en las tres categorías indicadas anteriormente (Cuadro 1 y Fig. 1).

Cuadro 1. Tratamientos de recuperación en palmas de un clon de palma aceitera. Las palmas fueron clasificadas inicialmente en tres categorías de severidad de la 'pudrición del cogollo' o PC (figura 1)

PC	Tratamiento	Agroquímicos al follaje	Acondicionamiento del suelo	Remoción de inflorescencias	Cirugía del tejido enfermo
0	T1				
	T2	Testigo palmas sanas			
1	T3				
	T4				
2	T5	Testigo palmas enfermas			
	T6				
	T7				
	T8	Testigo palmas enfermas			

El área oscura indica el tratamiento aplicado

Con la aplicación de agroquímicos al follaje se hizo un intento de mejorar las defensas naturales de las palmas (Foliveex polisacáridos y multiminerales, Kmax, Mgmox y Alexin). Adicionalmente, a partir de febrero de 2013, se incluyó aplicaciones de otros fertilizantes para mejorar el estado nutricional de las plantas (urea, sulfato de potasio, sulfato de magnesio y pentaborato de sodio).

Se realizó la cirugía para retirar el tejido necrosado y evitar mayor daño por patógenos oportunistas. Se puso especial énfasis en eliminar el tejido afectado en las bases peciolares, ya que este era un síntoma muy conspicuo en este clon particular. Sobre las heridas se aplicó Kilol, Sevin, Metalaxil MZ, Cosmoim y Cosmoagua. Posteriormente, se aplicó el sellador comercial Agrofíxer. La eliminación de las inflorescencias jóvenes de ambos sexos (denominada como 'ablación' en el resto del documento) se realizó mensualmente durante 18 meses con el objeto de inducir la partición de fotosintatos hacia el desarrollo vegetativo.

Los tratamientos dirigidos al acondicionamiento del suelo tenían como objetivo mejorar las condiciones físicas, reducir la saturación de humedad, mejorar la actividad microbiana y la toma de nutrientes. Las labores se concentraron cerca de la base de la planta (corona o círculo) para facilitar la evacuación del agua superficial. Adicionalmente, se redujo la compactación de la superficie del suelo en un área de dos metros de radio alrededor de la base del tronco y seguidamente se aplicó humitec 80, Kmagde, sulfato de zinc y 600 kg de compost de racimos vacíos de palma aceitera, fraccionados en tres aplicaciones de 200 kg cada

seis meses. En general, los tratamientos se escogieron con base a experiencias previas de recuperación de este problema en otras plantaciones (Chinchilla y Durán 1999, Albertazzi et al. 2009b, Chinchilla 2010).

Caracterización del sitio

El microrelieve se determinó con un clinómetro (Suunto, Mod. Tandem-360PC) en 30 puntos, que fueron georeferenciados con un GPS (Garmin 62 SC) en enero del 2013. El mapa del relieve se generó con el programa Surfer versión 8 (Golden Software) y la guía de clasificación del relieve del National Soil Survey Center (Schoeneberger et al. 2002).

Las propiedades físicas del suelo se midieron en noviembre de 2012 hacia el final de la época de lluvias. Se determinó la profundidad efectiva, la densidad aparente, la porosidad total, el espacio aéreo, la conductividad hidráulica, la humedad gravimétrica, la textura y el porcentaje de arcilla. Los cambios en la humedad volumétrica del suelo se determinaron mensualmente a 80 cm de profundidad en un punto alrededor de 20 palmas distribuidas en toda el área, con un TDR (time domain reflectometer, Eijkelkamp, Mod. MP406-ICT).

El contenido de nutrimentos en el suelo se determinó en los primeros 70 cm del perfil en mayo del 2013 (580 mm de precipitación) y en noviembre de 2013. A finales de la estación lluviosa de 2013 (noviembre), se documentó la diversidad microbiológica en la rizosfera de cinco palmas testigo y cinco palmas donde se realizó el acondicionamiento del suelo. La muestra se tomó en los primeros 10 cm de profundidad a un metro de distancia de la base del tronco, se determinó el ADN de los grupos filogenéticos y géneros de microorganismos benéficos y potencialmente patogénicos y se cuantificó su expresión mediante la técnica de PCR en tiempo real (Thermo Scientific, modelo PikoReal-96) utilizando sondas SYBR Green.

Variables vegetativas y de producción

Se midió el crecimiento vegetativo (altura del tronco y número de hojas con menos de 30% del área con síntomas), longitud del raquis y PxS en la hoja 9. Se

midieron 10 palmas en cada uno de los ocho tratamientos en diciembre de 2012, febrero, mayo y octubre de 2013 y marzo de 2014.

Las evaluaciones de la densidad de raíces fueron hechas en siete palmas por tratamiento en junio, setiembre y noviembre de 2013 y en enero y mayo de 2014. Las muestras se tomaron a 0-15 cm y 15-30 cm de profundidad, a la distancia de 0,5 m, 1 y 2 m de la base del tronco con un barreno de 750 cm (Eijkelkamp). Las raíces extraídas se lavaron con agua y se cuantificó la longitud total de las mismas y el resultado se dividió entre el volumen del cilindro para obtener la densidad de raíces definida en términos de cm/cm, para lo cual se utilizó el paquete informático "WinRhizo"[®] (Gutiérrez et al. 2014).

La carga de racimos se cuantificó en las mismas 10 palmas de algunos tratamientos particulares (T1, T2, T4, T5, T7 y T8: tratamientos sin remoción de inflorescencias, Cuadro 1). El dato corresponde a la sumatoria de kilogramos de fruta fresca producidos por palma en el periodo de junio de 2013 a junio de 2014. El contenido de aceite en el racimo se determinó en una muestra de 11 racimos de los mismos tratamientos en noviembre de 2013. Los contenidos foliares de nutrimentos se determinaron en mayo de 2014 en una muestra de los foliolos basales, mediales y distales de la hoja No. 9 en cinco palmas por tratamiento.

Variables fisiológicas

Debido a la naturaleza dinámica de la PC y al efecto de los tratamientos, la severidad de los síntomas cambió en el tiempo e incluso algunas plantas, inicialmente enfermas fueron clasificadas posteriormente como recuperadas (sanas), o bien con síntomas más severos. La clasificación inicial (PC 0, PC 1 y PC 2) se usó para definir el grupo de plantas a las cuales se aplicó los tratamientos y para hacer las comparaciones estadísticas de crecimiento y producción, y para hacer las curvas de severidad.

Durante las mediciones fisiológicas, sin embargo, las palmas recibieron una nueva clasificación según la severidad del momento y se compararon palmas que estuvieran aparentemente recuperadas (PC 0) o bien en recuperación (PC 1). La categoría de síntomas severos (PC

(2) se tomó de palmas testigo que estaban inicialmente sanas y enfermaron durante el transcurso del trabajo. En cada nueva categoría de severidad de la PC se realizaron mediciones en cinco palmas sobre la condición fisiológica de los folíolos basales, medios y distales en las hojas en las posiciones 1, 9 y 17 en la filotaxia. Las mediciones fueron hechas en las estaciones seca (febrero-marzo) y lluviosa (setiembre-octubre) del año 2013 y seca del año 2014 (marzo).

Los datos tomados fueron el potencial hídrico con una cámara de presión de Scholander (Mod. PMS 1000, Oregon) de 5:00 a 6:00 am y de 11:00 am a 1:00 pm. La fotosíntesis fue medida entre las 7:00 y las 15:00 horas, con intervalos de una hora entre cada ronda. Para este efecto se utilizó un sistema portátil para la medición de la fotosíntesis (Li-6400XT, LiCor Biosciences, Lincoln, NE), con el cual se midió la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la fotosíntesis neta (A), la conductancia estomática (gs) y la transpiración (E) de los folíolos mediales de la hoja No. 9.

Análisis e interpretación de los datos

Cada una de las 80 palmas evaluadas fue considerada como una unidad experimental o repetición. Los

tratamientos T1 y T2 (palmas sanas inicialmente) fueron tratados separadamente del resto y comparados mediante una prueba de *t*. El análisis estadístico de las variables de crecimiento para las severidades iniciales de PC 1 y PC 2, se realizó con los datos de marzo de 2014 (16 meses después de iniciados los tratamientos) y se consideraron dos fuentes de variación: la severidad inicial de PC y los tratamientos de recuperación. La significancia de la diferencia entre medias de las severidades iniciales de PC se verificó mediante el método de la diferencia mínima significativa, mientras que los tratamientos T3 y T4 (síntomas avanzados, tratamiento completo con y sin ablación, respectivamente) y T6 y T7 (síntomas severos, tratamiento completo con y sin ablación) fueron comparados contra el testigo respectivo (T5 y T8), mediante la prueba de Dunnett ($P < 0,05$).

Las variables de producción y las características del racimo fueron analizadas mediante una prueba de *t*, en donde las medias de los tratamientos T4 y T7 (síntomas avanzados y severos con tratamiento completo sin ablación, respectivamente) fueron comparadas contra los testigos respectivos (T5 y T8) ($P < 0,05$). Con las variables fisiológicas se realizó un análisis de la varianza entre las tres categorías de severidad de PC mediante la comparación múltiple de todos los pares de medias utilizando la prueba de DGC ($P < 0,05$).

Resultados

Condiciones climáticas

La lluvia promedio por mes entre noviembre 2012 y abril 2013 fue de 131 mm, y 136 mm en la siguiente estación de menos lluvias entre diciembre 2013 y abril 2014. Durante la estación de lluvias, la precipitación fluctuó entre 445 y 560 mm/mes. Otros datos climáticos se muestran en la figura uno. El año anterior (2011) había sido muy lluvioso (5900 mm vs. 3343 y 3350 mm en 2013 y 2014, respectivamente).

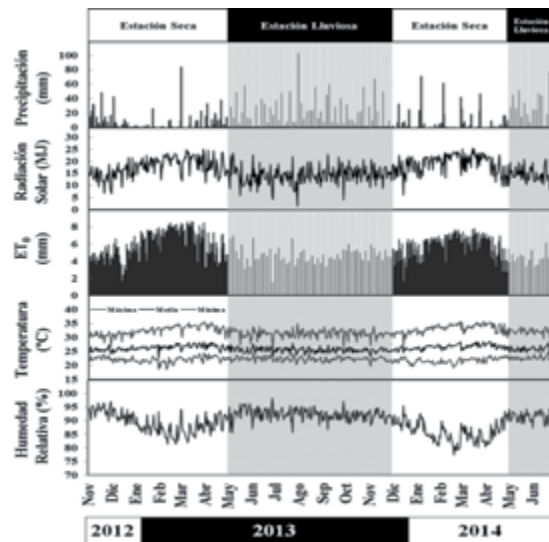


Fig. 2. Precipitación, radiación solar total, evaporación potencial (ET_p), temperatura y humedad relativa del aire medidos diariamente entre noviembre de 2012 y junio de 2014. Los periodos de menos lluvias se denominan 'estación seca' en la figura.

Geomorfología y física del suelo

El proceso de formación de los suelos en el área de estudio varió en función del tamaño de las partículas arrastradas en los diferentes episodios aluviales y de la topografía del terreno (Figs. 3 y 4). La unidad edáfica Coarse, Aquic Eutrudept (zona baja: 30% del área) se caracterizó por la predominancia de partículas más gruesas, mientras que en la zona más alta (Medial, Aquic Eutrudept) predominaron las texturas más finas (60% del área). La zona baja presentó un drenaje moderadamente lento, mientras que en la zona alta, el drenaje fue de lento a muy lento.

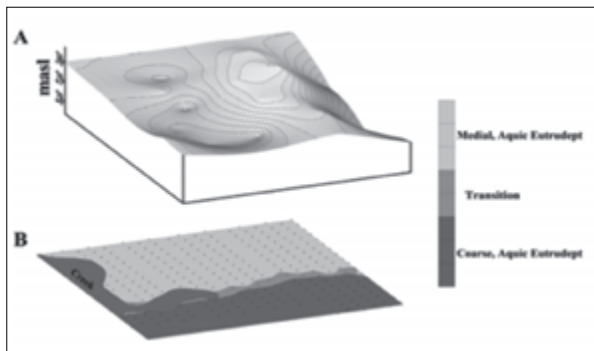


Fig. 3. Arriba. Variaciones en el relieve del sitio. Abajo. Distribución espacial de las unidades edáficas. Los diagramas fueron generados a partir de 80 observaciones en sitios con palmas seleccionadas en el estudio y la descripción de dos calicatas (Fig. 4). La interpolación se realizó con el método Kriging; utilizando el programa Surfer 8.

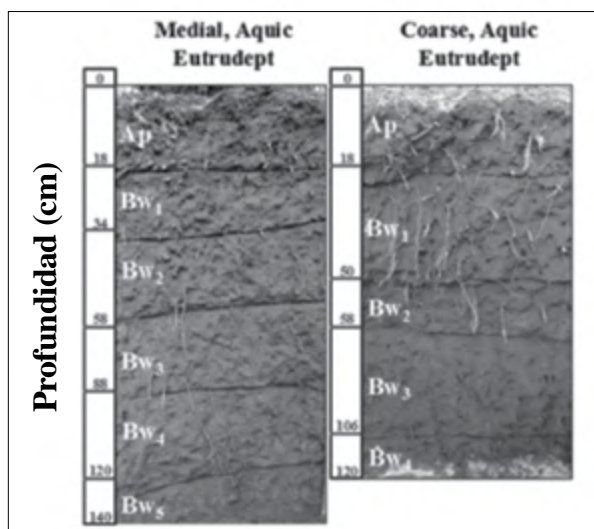


Fig. 4. Profundidad efectiva, nomenclatura de los horizontes y clasificación taxonómica del suelo en las dos unidades edáficas del área de estudio. Ambas unidades presentan limitaciones de drenaje superficial (horizonte Ap). (Clasificación según la taxonomía de suelos del USDA).

Aunque el potencial productivo en las dos unidades edáficas identificadas era alto, las limitaciones del sitio se presentaron en el horizonte superficial, particularmente en la unidad Coarse, Aquic

Eutrudept, donde la porosidad y conductividad hidráulica eran menores; lo cual favorecía la saturación con humedad (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades físicas de las dos unidades edáficas del área donde se implementaron los tratamientos de recuperación de palmas con PC. Los valores son promedios ponderados tomando en cuenta la profundidad de los horizontes en cada uno de los perfiles. Nov. 2012

Variable	Unidad edáfica		Horizonte Ap	
	Medial, Aquic Eutrudept	Coarse, Aquic Eutrudept	Coarse, Aquic Eutrudept	Medial, Aquic Eutrudept
Profundidad efectiva (cm)	145.0	115.0	18.0	18.0
Densidad aparente (g/cm ³)	1.1	1.1	1.3	1.0
Porosidad total (%)	48.0	51.1	39.2	51.1
Espacio aéreo (%)	13.2	22.6	12.2	22.1
Conductividad hidráulica (cm/h)	0.4	1.1	1.0	1.1
Humedad gravimétrica (%)	31.2	25.0	21.2	28.5
Textura ponderada	franco arcillo arenoso	franco arenoso	franco arenoso	franco arcillo arenoso
Cantidad de arcilla (%)	29.6	10.6	15.0	25.0

Síntomas de PC en el clon

La clorosis normalmente inició en la parte distal de las hojas jóvenes y a partir de la punta de los folíolos progresando hacia la base. No obstante, puede también seguir un patrón opuesto (los primeros folíolos que muestran el síntoma son los de la base de la hoja). Eventualmente, la clorosis degeneró en necrosis a partir de la zona distal de los folíolos. La necrosis de las bases peciolares se presentó con mucha intensidad; por lo cual las hojas se quebraban comúnmente en esa zona, de esta forma una planta podía perder 30% o más de sus hojas en forma prematura. Los frutos no se llenaron normalmente y se deshidrataron (Fig. 5).

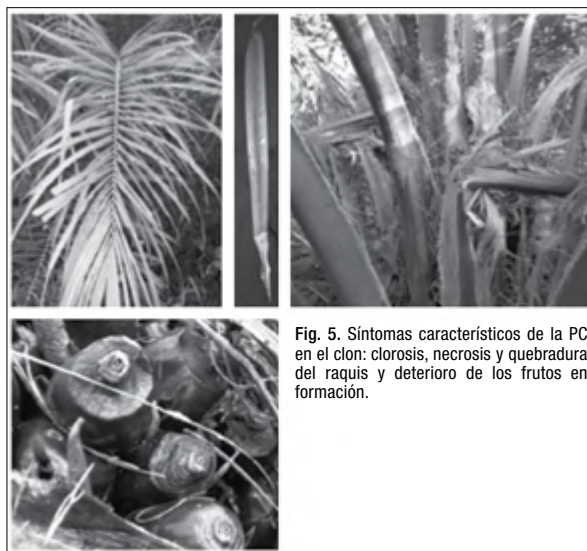


Fig. 5. Síntomas característicos de la PC en el clon: clorosis, necrosis y quebradura del raquis y deterioro de los frutos en formación.

Distribución espacial de la PC en función de la humedad volumétrica del suelo

La capacidad de evacuación de agua de escorrentía en las dos unidades de suelo fue diferente, pese a compartir una infraestructura de drenaje similar. Al inicio de la estación lluviosa en mayo de 2013, aumentó la incidencia de PC en la zona baja del área y esto se asoció con el aumento de la humedad volumétrica (HV). El aumento de la HV a 42% al incrementarse la precipitación entre junio y noviembre, también se asoció con la 'diseminación' de la PC en casi toda el área. En diciembre del 2013, cuando la HV disminuyó a 30%, los casos disminuyeron y se notó una clara tendencia a la recuperación de los síntomas en las palmas afectadas, particularmente en aquellas que recibieron los tratamientos. Para junio de 2014, las únicas palmas que permanecían con síntomas claros de PC eran los testigos y las palmas originalmente sanas que progresivamente enfermaron (Fig. 6).

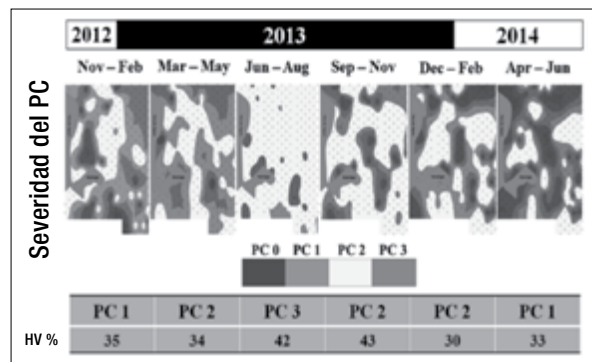


Fig. 6. Progreso de la PC a través de tiempo (promedio de tres meses) en relación con los cambios en la humedad volumétrica del suelo (HV, %) entre 0 y 80 cm de profundidad, en el área donde se implementaron los tratamientos de recuperación. Los diagramas de humedad del suelo se elaboraron a partir de mediciones a través del tiempo en 20 puntos de muestreo y el grado de severidad en 80 palmas. Las interpolaciones se realizaron con Kriging, utilizando el programa Surfer 8.

Propiedades químicas del suelo

El suelo fue clasificado como eútrico debido a los altos contenidos de calcio (>15 cmol (+)/L) y de magnesio (> 2,5 cmol (+)/L). Con los tratamientos de acondicionamiento del suelo, la acidez y la saturación de acidez se redujeron con respecto al suelo del testigo sin tratar (2,32 a 0,23 cmol(+)/L y de 8 a 0,7 %, respectivamente). La cantidad de Mg aumentó de 5,15 a 6,65 cmol(+)/L, el contenido de K pasó de 1,39 a 7,16 cmol(+)/L y la CICE del suelo se incrementó de 29,16 a 32,93 cmol (+)/L. No obstante, con el incremento del contenido de K en cinco veces, las relaciones entre cationes Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K disminuyeron por debajo del nivel óptimo.

Propiedades microbiológicas del suelo

Un año después (Nov. 2013) del inicio de la aplicación de los tratamientos de recuperación, se identificaron 29 grupos filogenéticos en la rizosfera de las palmas del testigo sin tratar; de los cuales 26 eran potencialmente patógenos y tres correspondían a microorganismos benéficos. Se encontraron altas concentraciones (por encima de 300 pg ADN/ml de suelo), de *Thielaviopsis* sp., *Phytophthora* sp., *Fusarium* sp., *Pseudomonas maculicola* y *Pseudomonas* sp. Como principales microorganismos benéficos se determinaron altas concentraciones de α y β -proteobacterias y *Bacillus* sp. (Fig. 7).

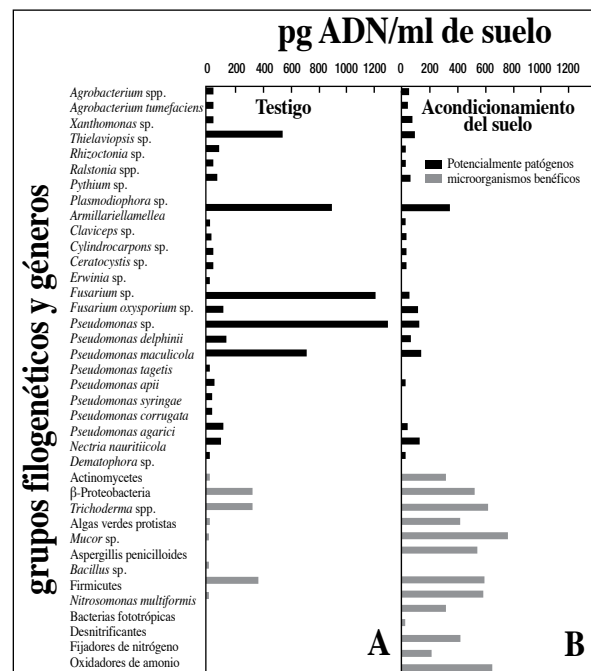


Fig. 7. Abundancia expresada en pg ADN/ml de suelo, de los principales grupos filogenéticos y géneros presentes en la rizosfera 12 meses después de la aplicación de los tratamientos de recuperación. A: Testigo absoluto y B: Acondicionamiento del suelo. Los resultados corresponden a la estación lluviosa de 2013 (noviembre), a partir de una muestra compuesta de cinco palmas de cada tratamiento; las muestras se tomaron en los primeros 10 cm de profundidad del suelo a un metro de la base del tronco.

Con el acondicionamiento del suelo aumentó la diversidad de microorganismos benéficos en la rizosfera de tres a 12 géneros, lo cual es equivalente a aumentar de 1065 a 6000 pg ADN/ml de suelo. Como principales microorganismos benéficos se identificaron: Actinomicetos, α y β -proteobacterias, *Trichoderma* spp., *Mucor* sp., algas verdes y protistas, *Bacillus* sp., *Streptomyces* spp., Firmicutes, *Curtobacterium* spp., *Nitrosomonas multiformis*, bacterias nitrificantes y oxidadores de amonio, mientras que la concentración de los grupos potencialmente patógenos se redujo notablemente, identificándose principalmente *Pseudomonas* sp., *Fusarium* sp. y *Phytophthora* sp. (Fig. 7).

Respuesta a los tratamientos

Inicialmente, en noviembre de 2012, se distinguieron tres grupos de severidad de la PC: palmas sanas, palmas con síntomas avanzados de PC y palmas con síntomas severos del trastorno. A partir de mayo de 2013, en plena estación lluviosa (precipitación: 550 mm), todas las palmas seleccionadas, incluyendo los testigos inicialmente sanos, presentaron síntomas de PC. Durante el inicio de la estación de menor precipitación de 2014, todas las palmas enfermas que recibieron cuidados especiales presentaron una reducción progresiva de los síntomas y aparecían como aparentemente sanas en junio de ese mismo año (Cuadro 1 y Fig. 8).

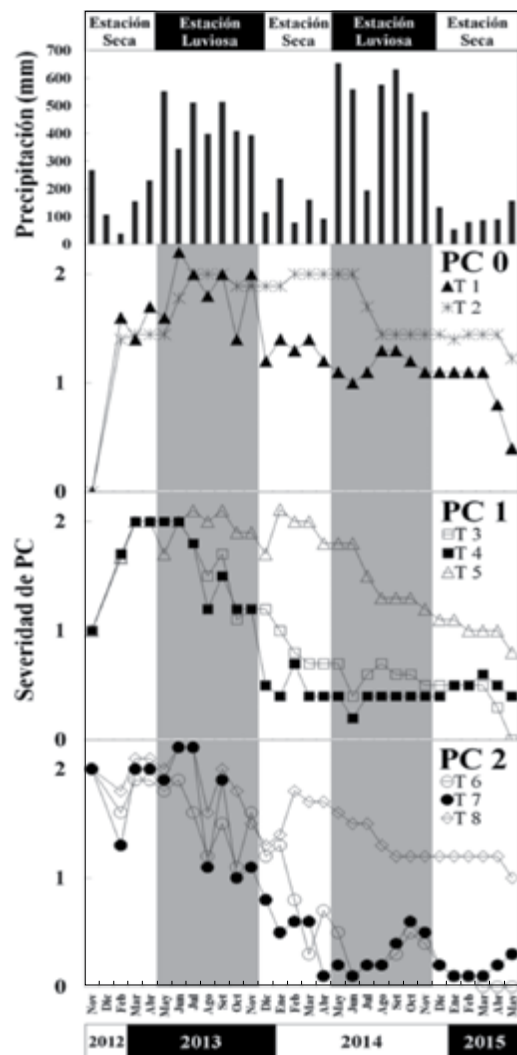


Fig. 8. Severidad del trastorno de la PC en el tiempo en función de la severidad inicial de PC (noviembre del 2012) y el tratamiento de recuperación. PC 0, PC 1 y PC 2 describen la condición inicial de las palmas: sanas, con síntomas avanzados y severos, respectivamente. T2, T5 y T8 = testigos; T3 y T6: tratamientos de recuperación completo con ablación; T4 y T7 tratamiento completo sin ablación según Cuadro 1.

Densidad de raíces

Los cambios en los síntomas aéreos de la PC a través del tiempo se relacionaron con la dinámica del sistema radical. Las palmas tratadas presentaron un incremento importante en la densidad de raíces un año después de iniciados los tratamientos, el cual estuvo asociado con el aumento en el PxS de las nuevas hojas e incluso con la altura de la planta. La remisión de los síntomas visuales de PC 19 meses después de iniciados los tratamientos (junio 2014), fue precedida por el aumento altamente significativo ($P < 0,01$) de la densidad de raíces. Las diferencias con el testigo entre los tratamientos que comprendían o no la ablación fue de 16 cm/cm^3 y 14 cm/cm^3 en palmas con síntomas avanzados y severos, respectivamente (Fig. 9).

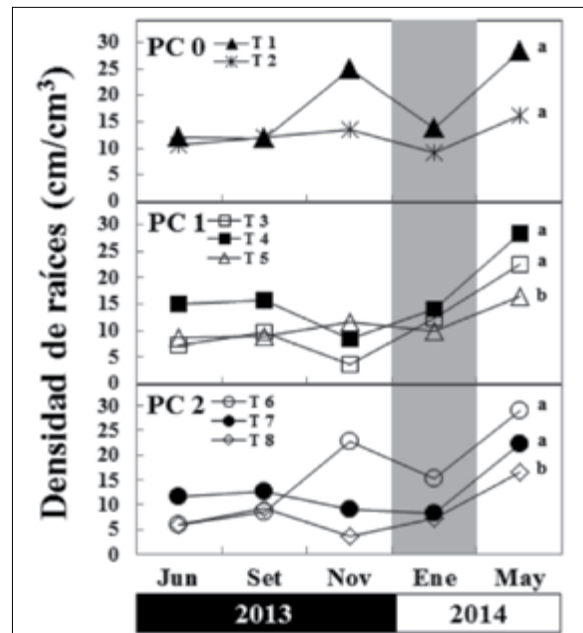


Fig. 9. Densidad de raíces (cm/cm^3) en función de la severidad de PC y los tratamientos de recuperación. Las muestras fueron tomadas de 0 a 30 cm de profundidad y a 0,5 y 1 m de distancia de la base del tronco. Comparación entre severidades de PC con la diferencia mínima significativa (dms). Los tratamientos que incluían la aplicación de agroquímicos y acondicionamiento del suelo con y sin remoción de inflorescencias se compararon con los testigos respectivos mediante la prueba de Dunnet ($P < 0,01$). Medias de siete muestras por tratamiento por fecha de evaluación. T5 y T8 = testigos; T3 y T6 equivalen al tratamiento de recuperación completo con remoción de inflorescencias; T4 y T7, tratamiento completo sin remoción de inflorescencias (Cuadro 1).

Crecimiento vegetativo

La altura del tronco, con un incremento de 25 cm al final del periodo de evaluación, fue mayor en las palmas que recibieron el tratamiento completo incluyendo la ablación, en relación con el tratamiento testigo. Otras variables, como el número de hojas y el valor de PxS no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, excepto al inicio de la estación

lluviosa, en mayo de 2013, cuando las palmas del tratamiento completo tenían un PXS mayor que aquellas con los tratamientos en donde se omitió la ablación y el testigo. No obstante, hubo un mejor desarrollo vegetativo (mayor PXS y mayor longitud del raquis) en las palmas inicialmente enfermas tratadas.

Fisiología

El potencial hídrico (Ψ_H) fue similar entre los distintos tratamientos durante la estación de menos lluvias, pero varió durante la estación lluviosa del 2013, particularmente durante las horas de la tarde, cuando las hojas No. 1 y 9 de las palmas recuperadas y aquellas con síntomas avanzados presentaron un Ψ_H menor que las palmas con síntomas más severos ($P < 0,05$). Durante la mañana, la hoja No. 9 de las palmas con síntomas avanzados mostró una reducción significativa del Ψ_H . En la estación seca de 2014, las hojas No. 1 y 9 de las palmas recuperadas y con síntomas severos presentaron potenciales hídricos significativamente mayores con respecto a las palmas con síntomas avanzados (Fig. 10).

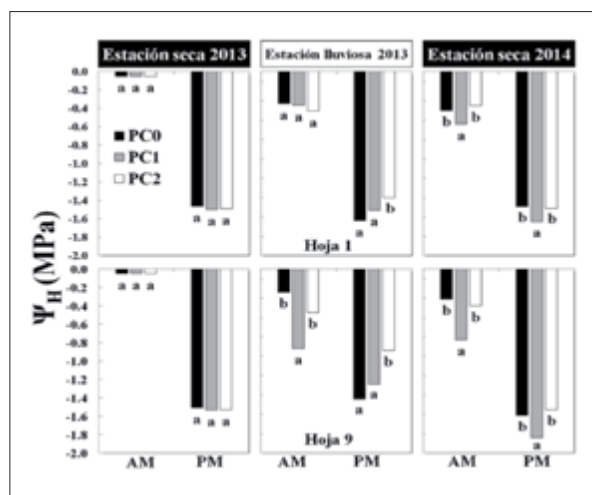


Fig. 10. Water potential (Ψ_H) of leaves No. 1 and 9 in the three categories of PC severity. Measurements between 5:00 and 6:00 am and 11:00 and 1:00 pm in February-March 2013 (low precipitation), September-October 2013 (rainy season) and March 2014 (dry season). Multiple comparison of pairs of means using the DGC test. Means of 250 samples in each season. Identical letters denote non-significant differences ($P < 0.05$). Severities PC 0 and PC 1 included palms for the treatments T3, T4, T6 and T7; and severity PC 2 included palms for the control treatments = T2, T5 and T8 (Table 1).

Fotosíntesis

La recuperación de las palmas con los distintos tratamientos fue seguida mediante la medición de la actividad fotosintética a lo largo del día. En la estación lluviosa del año 2013, la tasa fotosintética de las palmas recuperadas (PC 0), alcanzó $14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante la mayor parte del día, mientras que las palmas en recuperación (PC 1) y con síntomas severos (PC 2) apenas superaron $7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La transpiración de las palmas sanas fue significativamente mayor que la de aquellas afectadas por PC con ambos grados de severidad, lo que indica una intensa actividad fisiológica y alta capacidad de extracción de agua del suelo. En la estación seca de 2014, la mayor actividad fisiológica se presentó en las palmas recuperadas (tasa fotosintética de $17 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mientras que en las palmas con síntomas de PC esta alcanzó un máximo de $13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 11).

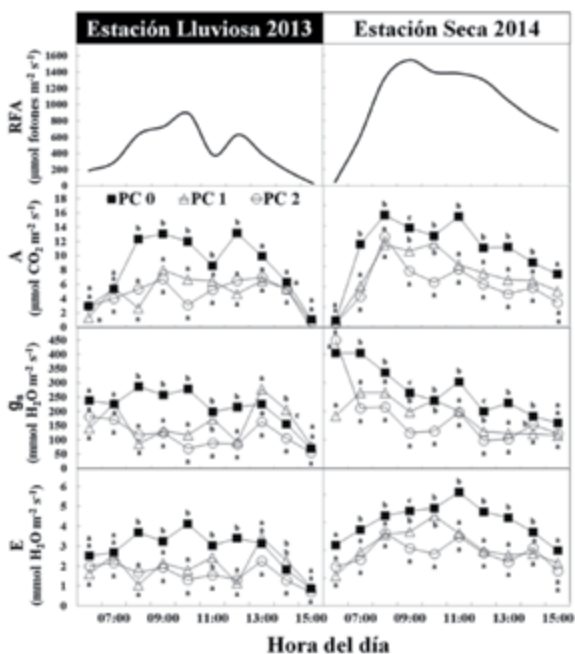


Fig. 11. Radiación fotosintéticamente activa (RFA), fotosíntesis neta (A), conductancia estomática (g_s) y transpiración (E) de la hoja No. 9 en las tres categorías de severidad de PC. Comparación múltiple de los pares de medias con DGC. Medias de 24 muestras por hora por severidad en cada estación. Letras iguales denotan diferencias no significativas ($P < 0,05$). Las severidades PC 0 y PC 1 incluyeron palmas de los tratamientos T3, T4, T6 y T7; y la severidad PC 2 incluyó palmas testigo = T2, T5 y T8. La 'estación seca' simplemente denomina el período de menos lluvias (Fig. 2)

Nutrientes en las hojas

Las palmas recuperadas de la PC presentaron contenidos óptimos de los macro y micronutrientes. Sus contenidos de N, Fe, S y K fueron mayores que en los testigos, pero los contenidos de B y Ca fueron menores. En todos los tratamientos la relación Fe/Mn fue de 1:2; lo cual indica un posible desbalance.

Producción de fruta y aceite

La efectividad de la recuperación inducida por los tratamientos y reflejada en la mayor actividad fotosintética, crecimiento y recuperación de los síntomas de PC, también se manifestó en el rendimiento de fruta (tratamiento completo sin ablación). Las palmas con síntomas avanzados y severos inicialmente, produjeron 27 y 19 kg de racimos de fruta más que el testigo absoluto ($P < 0,05$). El aumento fue en el número de racimos, pero

no en su peso. El aumento en producción de aceite se estimó en una tonelada en el caso de las palmas con síntomas iniciales avanzados (PC 1) y en 1,4 t para las palmas con síntomas severos (PC 2) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Producción de fruta fresca y aceite en función de la severidad inicial de PC (noviembre de 2012) y los tratamientos de recuperación. Medias de 10 muestras por tratamiento. Comparación de medias con la prueba de t ($P < 0,05$)

PC	Tratamiento	Producción de fruta (kg palma ⁻¹ año ⁻¹)	Número de racimos (No. palma ⁻¹ año ⁻¹)	Peso del racimo (kg)	Aceite en racimo (%)	Aceite/HA t año ⁻¹
1	T4	108.2	15.6	6.9	17.0	2.9
	T5	81.2	11.8	6.9	15.2	1.9
	diferencia entre medidas	27.0*	3.8*	0.0 n.s.	1.8*	1.0*
2	T7	128.2	17.5	7.3	16.3	3.3
	T8	110.1	15.6	7.0	11.1	1.9
	diferencia entre medidas	18.1 *	1.9*	0.3 n.s.	5.2*	1.4*

Prueba de t ; * diferencias estadísticamente significativas y n.s. diferencias no significativas

Discusión y Conclusiones

La aparición de la PC en el lote de estudio, a finales del año 2012, fue precedido por un periodo prolongado de lluvias que se extendió de mayo a noviembre (promedio de 390 mm/mes), seguido por una reducción importante de las lluvias en los meses de enero a marzo de 2013 (promedio de 35 mm/mes). Entre mayo y noviembre del año siguiente (2013) se presentó nuevamente un periodo prolongado de alta precipitación (445 mm promedio/mes), lo cual se asoció con un aumento notable de la incidencia y severidad de la PC. Torres et al (2014) encontraron en este sitio una relación entre la PC y la saturación de humedad en el suelo durante años de La Niña (deterioro de raíces por hipoxia), seguidos por años de El Niño con veranos anormalmente secos que deterioran aún más el sistema radical.

El patrón de aparición de nuevos casos de PC se asoció en mayor medida con las variaciones en el micro-relieve (focos discretos en las depresiones del terreno) y con el deterioro de las propiedades físicas del suelo; ambos factores tuvieron un efecto negativo sobre el drenaje superficial durante la estación lluviosa. La situación

provocó la presencia permanente de una alta humedad volumétrica en los primeros 80 cm de profundidad del suelo; lo cual estuvo asociado con una reducción significativa de la densidad de las raíces y el aumento de la severidad de los síntomas. El drenaje superficial también fue limitado por la compactación y la pérdida de estructura que han sufrido estos suelos por causa del laboreo intensivo en el horizonte Ap

Como resultado del estrés que estaban sufriendo las palmas afectadas por PC se presentaron comportamientos anormales en su fisiología. En la estación seca de 2013, las palmas enfermas mostraron un incremento transitorio de la conductancia estomática y la temperatura de la hoja, pero ante la reducida densidad de raíces disminuyó su capacidad de absorber agua y minerales del suelo en cantidades suficientes. Eventualmente se generó un desbalance hídrico y energético que se manifestó en la estación lluviosa de 2013, cuando los síntomas de la PC fueron más severos, y disminuyó significativamente la fotosíntesis, la conductancia estomática y la transpiración de las palmas con síntomas severos, particularmente en la zona baja

del lote, donde la tabla de agua llegó hasta la zona radical afectando las señales químicas generadas por las raíces (Davies y Zhang 1991; Rajagopal et al. 1986).

En la estación 'seca' de 2014, las palmas con síntomas de PC presentaron una menor capacidad de regulación del potencial hídrico de las hojas, siendo incapaces de responder a la elevada demanda evaporativa de la atmósfera, probablemente como un mecanismo para prevenir la pérdida excesiva de agua durante la fotosíntesis, la cual disminuyó significativamente (Chinchilla y Durán 1999). De manera similar, Moreno et al (2013) documentaron que los diferentes estados de desarrollo de la PC, afectaban significativamente la fotosíntesis, la conductancia estomática, la transpiración, y el metabolismo de la palma.

La aplicación de los tratamientos de recuperación se asociaron con la reducción progresiva de la severidad de los síntomas aéreos, y muchas palmas aparecían como aparentemente sanas luego de 18 meses; lo cual no es la norma en un clon susceptible como el utilizado. La recuperación estuvo precedida por el incremento de la densidad de raíces, lo cual permitió recuperar el control estomático, incrementar el potencial hídrico de las hojas y la actividad fotosintética, incrementándose el crecimiento vegetativo, la producción de racimos, la acumulación de aceite y la tolerancia al estrés biótico y abiótico.

Con el acondicionamiento del suelo mejoraron las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, lográndose una recuperación más rápida del sistema radical. El mejoramiento del drenaje superficial en la rodaja (círculo alrededor de la palma) y la aplicación de compost, propiciaron un ambiente favorable para el crecimiento de las raíces (Bever et al. 2012, Mohammad et al. 2012, Mangan et al. 2010). El efecto beneficioso de la materia orgánica en la regeneración del sistema radical de palmas afectadas por PC había sido observado por Albertazzi et al. (2009b). En el suelo no tratado con compost predominaban microorganismos potencialmente patogénicos, que parecen tener una mayor tolerancia a la anaerobiosis.

El pobre drenaje superficial en el sitio fue corregido mediante la excavación de canales de drenaje superficiales diseñados específicamente para el micro-relieve alrededor de cada palma. Esto permitió la evacuación rápida del agua de escorrentía hacia la red de canales cuaternarios; de manera que aún durante los meses más lluviosos de 2014 (400 mm/mes), la humedad volumétrica del sitio se mantuvo cercana a 33%.

La partición de asimilados ocurre entre procesos antagónicos, pero complementarios: el crecimiento vegetativo, el desarrollo reproductivo, el almacenamiento de reservas y las actividades de defensa. Las palmas de variedades modernas son precoces y de alto rendimiento de fruta y aceite; por lo cual pueden resultar muy susceptibles a los estreses ambientales pues han sacrificado la asignación de recursos al crecimiento vegetativo y a la defensa con el objetivo de incrementar el rendimiento de aceite.

La ablación es una práctica agrícola poco explorada en la palma aceitera (Corley y Breure 1992; Legros et al. 2009). Con la remoción de inflorescencias y racimos en formación se pretende modificar el patrón de distribución de los asimilados y desviarlos hacia el crecimiento vegetativo lo cual efectivamente ocurrió en el clon en lo referente a la parte aérea. No obstante, los beneficios sobre el desarrollo radical no fueron claros. Las palmas almacenan cantidades importantes de sustancias de reserva en el tronco con el objetivo de amortiguar las deficiencias fotosintéticas de la copa en condiciones climáticas desfavorables, pero podría no ocurrir un transporte rápido de estas sustancias hacia las raíces (Basri et al. 2004; Legros et al. 2009; Milaet-Serra et al. 2006).

Las diferencias en la densidad de raíces entre los tratamientos que comprendían o no la remoción de las inflorescencias fue poca. Este dato, y el hecho de que las diferencias en severidad no fueron muy notables entre la ablación o no, parecen indicar que esta práctica no fue determinante para ayudar en la recuperación. Adicionalmente, las diferencias en severidad entre los tratamientos T1 y T2, que no incluyen ablación, no mostraron diferencias notables en severidad cuando la enfermedad apareció en estas palmas inicialmente sanas.

No obstante, el crecimiento vegetativo aéreo si fue mayor con la ablación de las inflorescencias, en particular el incremento en altura del tronco.

Se concluye que la aplicación de los tratamientos de acondicionamiento al suelo y de los agroquímicos al follaje, no impidió que se desarrollaran los síntomas en las plantas inicialmente con apariencia sana (según la evaluación inicial en noviembre del 2012), y aparentemente tampoco redujeron el periodo necesario para una recuperación natural (lo cual ocurre luego de un periodo variable). No obstante, la severidad de los síntomas fue menor en las plantas tratadas.

La práctica de remover en forma temprana el tejido necrótico de las bases peciolares tuvo un efecto importante sobre la recuperación de las palmas con PC, pues permitió prologar la longevidad del tejido foliar, que de otra manera hubiera muerto prematuramente al quebrarse la hoja en la zona del peciolo.

Las palmas que no se recuperaron totalmente de los síntomas de PC durante el periodo de evaluación (testigos) presentaron una reducción significativa en el rendimiento de fruta y de aceite. El aumento en el número de racimos en las palmas tratadas pudo deberse a un menor porcentaje de aborto y/o falla de los mismos. La reducción en el contenido de aceite en los frutos pudo estar relacionada con la interrupción del proceso de síntesis del aceite y por la reducción del número de frutos fértiles en el racimo (Chinchilla y Durán 1999).

Debido a la dificultad de realizar con efectividad algunos de los tratamientos de acondicionamiento del suelo en palmas individuales en algunas situaciones, como por ejemplo cuando el deterioro de toda el

área donde crece la palma es alto (imposibilidad para drenarla adecuadamente) su ejecución podría no ser factible; si no se realiza un trabajo de mejoramiento previo en toda la plantación. Por otro lado, si se permite que el problema se extienda y el número de plantas por tratar es muy alto, tampoco podría ser factible dar una atención 'personalizada' a cada palma afectada. Además de esto, podría argumentarse que el costo de un trabajo minucioso en cada palma puede no ser económicamente factible.

Adicionalmente, se reconoce que no es posible separar los efectos de cada práctica que se realizó. En particular no es posible separar el efecto de cada agroquímico aplicado al follaje o al suelo, y es posible que la alta cantidad de fertilizante añadido al suelo creara desequilibrios importantes entre varios nutrimentos con posibles consecuencias eventualmente no deseables. Por consiguiente, estos detalles aún deben ser aclarados. No obstante, el objetivo inicial propuesto intentaba demostrar que es posible reducir la severidad de los síntomas y eventualmente acelerar la recuperación de una palma afectada por PC, aún en el caso de un clon muy susceptible y con un periodo natural de recuperación largo, mediante el mejoramiento agronómico del sitio donde crece para permitir un mejor desarrollo radical, lo cual fue documentado en esta investigación.

Se concluye que para lograr la recuperación de los síntomas de PC, es necesario primero regenerar el sistema radical de la palma aceitera, lo que posteriormente permitirá la recuperación del crecimiento vegetativo y en última instancia un aumento de la producción de racimos y aceite.

Literatura citada

- Albertazzi H., Bulgarelli J., Chinchilla, C. Ml. 2005. Onset of spear rot symptoms in oil palm and prior -and contemporary- events. ASD Oil Palm Papers, 28: 21- 33.
- Albertazzi H., Chinchilla C. Ml., Ramírez C. 2009a. Soil characteristics and root development in young oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) planted in sites affected by bud rots (pudrición del cogollo) . ASD Oil Palm Papers, 33: 1-14.
- Albertazzi H., Chinchilla C. Ml., Ramírez C. 2009b. Oil palm root development as a response to mineral and organic nutrition in soils with prevalence of spear rots. ASD Oil Palm Papers, 33: 3-39.
- Alvarado A., Guzmán N., Escobar R., Peralta F., Chinchilla C. Ml. 2006. Cloning program for oil palm compact varieties: realities and commercial potential. *In*. XV Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, FEDEPALMA. Cartagena, Colombia, Septiembre 2006.
- Ayres P. 1984. The interaction between environmental stress injury and biotic disease physiology. *Annu. Rev. Phytopathol*, 22: 53-75.
- Basri M., Siti Nor Akmar A., Henson I. 2004. Oil palm: Achievements and potential. *Plant Production Science*, 8(3): 288-297.
- Bever J., Platt., T., Morton E. 2012. Microbial population and community dynamics on plant roots and their feedbacks on plant communities. *Annu. Rev. Microbiol*, 66: 265-283.
- Chinchilla C. Ml., Durán N. 1999. Nature and Management of Spear Rot-Like Problems in Oil Palm: A case Study in Costa Rica. Proceedings of the 1999 PORIM International Palm Oil Congress (Agriculture). 24 p.
- Chinchilla C. Ml. 2008. The many faces of spear rots in oil palm and the need for an integrated management approach. ASD Oil Palm Papers, 32:1-10.
- Chinchilla C. Ml. 2010. There is no known evidence of a relationship between incidence and severity of spear rot (PC= pudrición del cogollo) in oil palm and the commercial origin of oil palm varieties planted in the past in tropical America. ASD Oil Palm Papers, 35: 13-17.
- Chinchilla C. Ml. 2010. Las pudriciones del cogollo en palma aceitera: la complejidad del desorden y una guía de convivencia. ASD de Costa Rica. Publicaciones misceláneas. 22 p. (disponible en www.asd-cr.com, publicaciones misceláneas)
- Corley R., Breure C. 1992. Fruiting activity, growth and yield of oil palm. I. Effects of fruit removal. *Expl Agric*, 28: 99-109.
- Davies W., Zhang C. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42: 55-76.
- Gutiérrez M., Torres J., Araya J. 2014. Using WinRhizo® to study and quantify the roots of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Agronomía Mesoamericana*, 25 (1): 181-188.
- Kananam W., Tachapattaworakul T., Suksaroj C. 2011. Biochemical changes during oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches composting with decanter sludge and chicken manure. *Science Asia*, 37: 17-23.
- Legros S., Mialet-Serra I., Caliman J., Siregar F., Clement-Vidal A., Fabre D., Dingkuhn M. 2009b. Phenology, growth and physiological adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to sink limitation induced by fruit pruning. *Annals of Botany*, 104: 1183-1194.
- Mangan A., Schnitzer S., Herre E., Mack K., Valencia M. 2010. Negative plant-soil feedback predicts tree-species relative abundance in a tropical forest. *Nature*, 466: 752-756.
- Fourgerolles K., Sayag S., Escoute J., Verdeil J., Davrieux F., Deveau A., Dingkuhn M. 2006. The transitory carbon reserves in two palms: The coconut and the oil palms. CIRAD: Proceedings – Final meeting of ATP-Reserves, 11: 39-50.
- Mohammad N., Zahangir M., Kabbashi N., Ahsan A. 2012. Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 58: 69-78.
- Moreno A., Camperos J., Avila R., Romero H. 2013. Biochemical and physiological responses of oil palm to bud rot caused by *Phytophthora palmivora*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70: 246-251.
- Rajagopal V., Patil D., Sumathykuttyamma B. 1986. Abnormal stomatal opening in coconuts palms affected with rot wilt disease. *Journal of Experimental Botany*, 37: 1398-1405.
- Schoeneberger P., Wysocki D., Benham E., Broderson W. (editors). 2002. Field book for describing and sampling soils, Version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 218 p.
- Torres J., Gutiérrez M., Chinchilla C. Ml., Mata R. 2014. Soil characteristics, root development and spear rot incidence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). ASD Oil Palm Papers, 43: 12-22.
- Torres J., Gutiérrez M., Chinchilla C. Ml. 2015. Morpho-physiological monitoring of oil palm (*Elaeis guineensis*) affected by spear rots (PC). ASD Oil Palm Papers, 45: 26-34.



Fig. 1

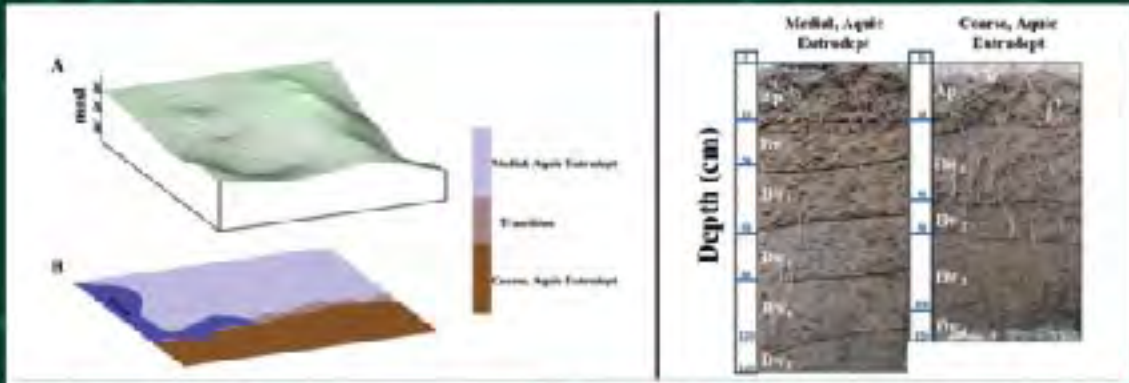


Fig. 3

Fig. 4



Fig. 5

Figures from paper by Hemry et al.

