

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

Number 47

2017

EDITOR: Carlos Ml. 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>

CONTENIDO (CONTENT)

1. *Mejoramiento genético de la palma aceitera y producción de semillas en ASD Costa Rica*
19. Seed production and oil palm breeding in Costa Rica
A. Alvarado y R. Escobar
35. *“Fisura basal del tallo: posiblemente un desorden fisiológico*
39. “Basal stem cracking: a possible physiological disorder
C. Chinchilla

MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA PALMA ACEITERA Y PRODUCCIÓN DE SEMILLAS EN ASD COSTA RICA

A. Alvarado¹, R. Escobar¹

RESUMEN

Durante casi 50 años, el programa de mejoramiento genético de ASD Costa Rica ha usado la diversidad encontrada en las dos especies palma aceitera (*Elaeis oleifera* y *E. guineensis*) para crear variedades comerciales. El objetivo ha sido obtener palmas con menor desarrollo vegetativo a través de retro-cruces; lo cual ha dado como resultado variedades con troncos y hojas cortas y con alto potencial de producción. Este fenotipo, denominado 'compacto', se desarrolló para hacer un mejor uso del recurso tierra, pues puede ser plantado a mayor densidad que las variedades convencionales y permite extender la vida útil de las plantaciones. La obtención de las variedades 'compactas' ha sido el resultado de un largo proceso de selección; donde las buenas características de rendimiento de las poblaciones de *E. guineensis* fueron recuperadas a través de cuatro ciclos de retro-cruzamiento a partir de una palma OxG silvestre que tenía hojas y troncos cortos.

Las poblaciones de *E. guineensis* utilizadas en el programa de retro-cruzamiento fueron AVROS, La Me, Ekona y Deli; lo cual dio como resultado recombinantes que dieron origen a poblaciones 'compactas' *dura* y *tenera/pisifera*. A partir del año 2004, un nuevo grupo de variedades DxP 'compactas' fue desarrollado a partir de nuevos retro-cruces hacia otras familias *E. guineensis* de poblaciones Ghana, Nigeria T/P y Deli D. Adicionalmente, un híbrido OxG (Amazon) fue desarrollado usando *pisiferas* de origen compacto. Durante los últimos 16 años, ASD Costa Rica ha comercializado cerca de 30 millones de semillas de variedades 'compactas' y actualmente se está en la fase de producir una nueva generación de estas variedades. Los mejores individuos de las poblaciones compactas se utilizan para obtener clones comerciales que pueden ser plantados a altas densidades (160-180 palmas/ha), algunos de los cuales tienen el potencial de producir 10-12 toneladas de aceite por hectárea por año.

En los últimos años, nuevos recursos genéticos han sido evaluados para mejorar características como el potencial de producción de aceite, la tolerancia a estrés y enfermedades (en particular las pudriciones del cogollo), menor dehiscencia de los frutos y mayor contenido de oleína. Las poblaciones *E. guineensis* usadas en el desarrollo de nuevos recombinantes son de origen Tanzania, el 'compuesto' Evolution (ex. Dami composite), Ekona y Mobai (Sierra Leona).

El programa de mejoramiento genético de la palma aceitera de ASD comenzó y floreció debido a la disponibilidad de una amplia base genética de *E. oleifera* y a través de programas de intercambio con otros programas de mejoramiento en África y Asia, de donde se obtuvieron poblaciones diversas de *E. guineensis*. Durante los últimos 25 años, los genotipos mejorados por ASD han sido vendidos a programas de mejoramiento en Tailandia e Indonesia y a partir de ellos se desarrollaron programas de semillas comerciales. Esta es una razón adicional por la que ASD continúa el desarrollo de nuevas variedades mejoradas para el corto y mediano plazo.

Key words: *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera*, retro-cruce, producción de semillas

¹ ASD Costa Rica (Agricultural Services & Development), PO Box 30-1000, San Jose, Costa Rica, Sales@asd-cr.com

INTRODUCCIÓN

ASD Costa Rica (Agricultural Services and Development) es una empresa dedicada a producir materiales de siembra de palma aceitera. Desde 1968 ASD ha acumulado una amplia colección de orígenes de palmas de ambas especies de *Elaeis* (*E. guineensis* y *E. oleífera*); lo cual le ha dado una ventaja para desarrollar diversas variedades y ser reconocido como un proveedor de semillas a nivel internacional. Durante el periodo entre 1986 y 2015, ASD vendió semillas con las cuales se han plantado más de 1.8 millones de hectárea en América, Asia y África.

ASD desarrolló una nueva generación de variedades con potencial para producir 30-35 t/ha de racimos de fruta, cuando las condiciones ambientales y el manejo son adecuados. Algunas de estas variedades también se han desempeñado bien en condiciones no óptimas incluyendo estrés hídrico, bajas temperaturas y presión de plagas y enfermedades; o bien pueden ser sembradas a altas densidades (160- 180 palmas/ha). La amplia base genética disponible ha permitido incorporar características especiales exigidas por

mercados particulares, tales como la tolerancia a las pudriciones del cogollo, aceite altamente insaturado (44% de ácido oleico) en *E. guineensis* y una alta relación de nuez en el racimo (10 - 12%).

Este documento es una síntesis del trabajo pasado, presente y futuro de ASD para desarrollar variedades y clones de palma aceitera, que pueden ser sembrados a alta densidad y que tienen características particulares demandadas por el mercado. Se presenta un resumen sobre el origen y consolidación de la diversidad genética de *E. oleífera* y *E. guineensis*, la selección y mejoramiento de las poblaciones *dura* Deli y Tanzania, así como de las *tenera/pisífera* Ghana y el compuesto 'Evolution'.

Por último se hace énfasis en el programa de retro-cruces para obtener variedades y clones de crecimiento 'compacto' y se destaca la importancia de desarrollar nuevas poblaciones que permitan aumentar la densidad de siembra y el rendimiento de aceite por unidad de área, para aprovechar mejor el recurso tierra.

Diversidad genética

La diversidad genética ha sido la mayor fortaleza del programa de mejoramiento de la palma aceitera en ASD. Las primeras introducciones a América de semillas de palma aceitera de origen conocido se remontan a 1926; posteriormente, otras introducciones y redistribuciones fueron hechas entre 1926 y 1936. A pesar de esto, la industria no creció tanto en América como si lo hizo en el sureste de Asia (Richardson 1995). En las décadas de los sesenta y setenta, se reunió una amplia colección de germoplasma de *E. oleífera* obtenida de varias regiones en Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Surinam y Brasil (Escobar 1981, Sterling et al. 1999). La mayor parte de esta colección fue plantada y evaluada en Costa Rica, pero algunas semillas fueron usadas en programas de intercambio por *E. guineensis* de generaciones avanzadas provenientes de otros programas de mejoramiento.

La base genética inicial de *E. guineensis* fue obtenida de estaciones de mejoramiento

reconocidas en África y Asia. Esta incluye Deli *dura* de las estaciones Chemara, Harrison & Crossfield, Banting, Socfin y Mardi, (Malasia) y de Dami (Papua Nueva Guinea). También se introdujeron *pisíferas* AVROS de Harrison & Crossfield (Malasia), Ekona de Unilever (Camerún), Ghana y Nigeria de la estación de Kade (Ghana) y la estación NIFOR (Nigeria) y La Me y Yangambi del antiguo IRHO (Costa de Marfil). La colección de germoplasma fue después enriquecida con introducciones de palmas silvestres de las tierras altas de Bamenda en Camerún y de Tanzania y varios sitios en Sierra Leona, Uganda, Zambia y Malawi (Alvarado et al. 2009). Gracias a esta enorme diversidad de orígenes ASD inició y consolidó sus programas de mejoramiento y de producción de semillas.

El desarrollo de variedades comerciales de *E. guineensis* se inició en 1970 con las poblaciones Deli *dura* y AVROS permitiendo la liberación de variedades comerciales en 1977. En este periodo también se inició el ASD Oil Palm Papers, No 47, 2017

programa de mejoramiento de los híbridos OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*) y el de retro-cruces hacia *guineensis*; el cual partió de un híbrido silvestre y que posteriormente daría origen a las variedades denominadas 'compactas'. La consolidación de variedades 'compuestas' es una fortaleza del programa de mejoramiento de ASD; pues ha permitido

combinar germoplasma de orígenes diversos y con características particulares y desarrollar variedades de crecimiento reducido, por ejemplo, Evolution Blue y Amazon.

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

Debido a la diversidad genética disponible fue posible crear distintas variedades comerciales cuyos orígenes *dura* son Deli, Bamenda, Tanzania y 'compactas', las cuales son combinadas con los padres *pisifera* clásicos (AVROS, Yangambi, Ekona y La Me),

de reciente desarrollo (Ghana, Nigeria, Evolution) y de origen 'compacto' (Alvarado et al. 2009, Cuadro 1).

Cuadro 1. Características generales de las variedades de palma aceitera de ASD

Origen	Densi- dad de siembra	IAT	LH	t/ha	A/R	Tolerancia (si no se indica es normal)		
						Déficit hídrico	Baja temperatura	Baja radiación solar
Deli x AVROS *	135-143	60 - 65	8.0 - 8.5	25-30	26-28	B		B
Deli x La Me	143	50 - 55	7.6 - 8.0	25-30	<26	N/A		
Deli x Ghana	160	55 - 60	7.0 - 7.3	30-35	28 - 30	N/A	N/A	A
Deli x Nigeria	143	50 - 55	7.6 - 8.0	30-35	28 - 30			
Evolution	143	50 - 55	7.6 - 8.0	30-35	>30			
Tanzania x Ekona	143	50 - 55	7.6 - 8.0	25-30	26-28	N/A	A	
Bamenda x Ekona	143-160	45 - 50	7.6 - 8.0	22-25	26-28	N/A	A	
Deli x Compacta	160-170	45 - 50	6.6 - 6.9	30-35	28 - 30			N/A
Compacta x Ghana	170-180	45 - 50	6.6 - 6.9	30-35	28 - 30			A
Compacta x Nigeria	160-170	45 - 50	6.6 - 6.9	30-35	28 - 30			N/A

IAT = = incremento en altura del tronco, cm/año; LH = largo máximo de la hoja, m; t/ha = t RFF/ha; A/R = aceite en el racimo, %. Información obtenida en la estación experimental de ASD en Costa Rica, en donde las condiciones climáticas favorecen un crecimiento vegetativo vigoroso y limitan el potencial productivo debido a excesos de lluvia. * La variedad Deli x AVROS ya no es comercializada, pero se incluye para comparar el desempeño de las otras variedades, en particular el origen 'compacto'. B= bajo; N = normal; A = alto

La primera variedad ofrecida por ASD al mercado en 1986 fue la clásica Deli x AVROS. Gradualmente y después de 1995, otras variedades han acaparado el mercado, tales como Deli x Ghana, Deli x Nigeria y en menor grado Deli x La Me; las cuales son de

crecimiento aéreo menos vigoroso. A partir del año 2005, las variedades 'compactas' se han popularizado debido a su alto potencial productivo por unidad de área, gracias en parte a que pueden ser sembradas a mayores densidades (160-180 palmas/ha) (Fig. 1).

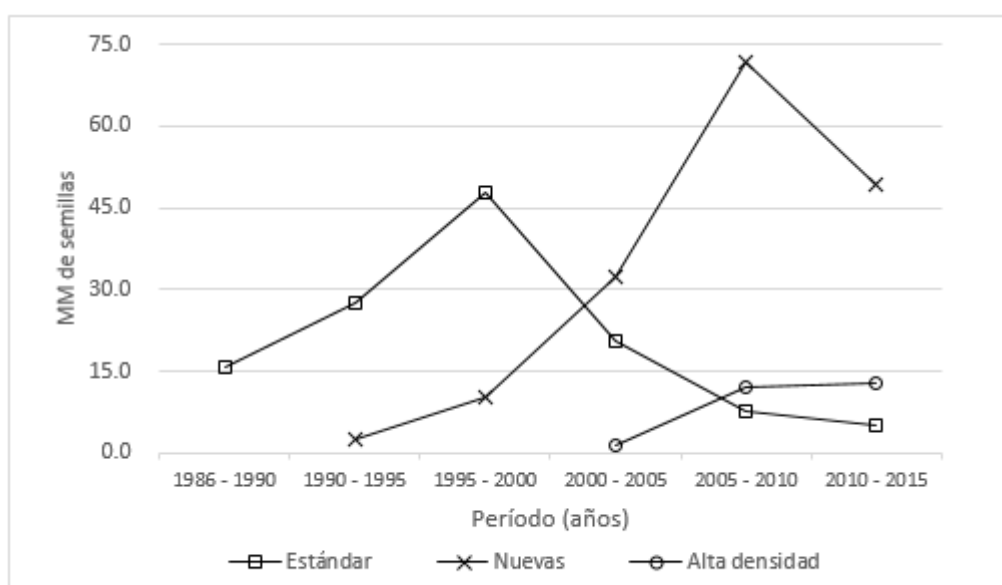


Fig. 1. Demanda de semillas por grupo de variedades. Periodo 1985-2015.

La mayor parte de estas semillas ha sido plantada en América y Asia y una menor proporción en África (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de semillas de palma aceitera vendido por ASD en el periodo entre 1986 y 2015 (000's)

Región	Semillas (000's)	Hectáreas (000's)	Mundo ((000's)	Participación
América	148 541	874	1235	71%
Asia	153 962	906	13 812	7%
África	10 162	60	1039	6%
Total	312 665	1 840 ha	16 086 ha	11%

EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE ASD

E. guineensis

Dentro de las poblaciones *dura* (D) y *tenera/pisifera* (T/P) disponibles, ASD se enfocó originalmente en las Deli *dura* de desarrollo avanzado. Posteriormente, con el avance en el conocimiento local del germoplasma, se encontró potencial en las palmas *dura* Tanzania silvestres, así como en los orígenes T/P Ghana por su buen comportamiento general y 'Evolution' por su alta producción de aceite.

Deli dura

El mejoramiento de la población Deli en Costa Rica inició en los años setenta usando germoplasma de generaciones avanzadas, introducidas desde programas de mejoramiento ya establecidos en Asia. Los materiales fueron agrupados en cinco sub poblaciones según el centro de origen: Banting, Chemara, Dami, Mardi y Socfin. Para el año 2008, se habían realizado cuatro ciclos de selección en líneas puras y recombinaciones entre los diferentes grupos Deli (Alvarado et al. 2009, Cuadro 3)

Cuadro 3. Número de pruebas de campo (Exp.: experimento), líneas y palmas *Deli dura* evaluadas en Costa Rica a través de cuatro ciclos de selección y mejoramiento. Adaptado de Alvarado et al. 2009

Ciclo	Periodo	Exp.	Líneas	Palmas	Origen (puro y entre-poblaciones)*
1	1969 - 1982	15	62	4,321	B, Che, D, Mar, Soc
2	1985 - 1992	21	100	4,827	B, Che, D, Soc, Che x B, Che x Mar, Che x D, D x Soc
3	1996 - 2003	11	235	8,917	B, Che, D, Mar, Soc, B x Che, Che x Mar, Che x D, D x Mar
4	2008 - 2016	10	91	8,232	B, Che, D, Mar, Soc, B x Che, Che x Mar, Che x D, D x Mar
Total		57	488	26,297	

* B = Banting, Che = Chemara, D = Dami, Mar= Mardi, Soc = Socfin

A pesar que las accesiones introducidas en el periodo 1969-1979 provenían de poblaciones avanzadas, la producción de racimos fue baja (rendimiento promedio durante los primeros tres años fue de 106 - 120 Kg/palma) y el aceite en el racimo varió entre 18 y 24% (Cuadro 4). En los siguientes

ciclos se realizaron cruzamientos entre y dentro de poblaciones para aumentar los rendimientos de fruta y de aceite, y reducir el crecimiento vegetativo, procurando aumentar el índice de cosecha

Cuadro 4. Rendimiento promedio y componentes del aceite durante el primer ciclo de selección (1969-1982) de las 33 accesiones *Deli dura* introducidas de programas de mejoramiento en Asia

Introducción	Origen	Accesiones	Palmas	RFF	M/F	A/M	A/R
Primera (1969 – 71)	Socfin	3	146	106.2	62.2	43.7	19.4
	Chemara	6	354	120.4	62.9	46.8	20.4
	Banting	3	175	114.4	60.7	42.3	18.1
Segunda (1979)	Dami	20	1621	112.2	66.3	43.7	20.6
	Mardi	1	59	114.6	67.8	48.8	23.7

RFF = racimos de fruta fresca, kg/palma/año: primeros tres años; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %.

En el ciclo más reciente, sembrado en 2008, fueron evaluadas 91 autofecundaciones *dura*, que represen las cinco poblaciones originales (Cuadro 3). Se encontraron diferencias en las características del racimo y en la producción de fruta entre grupos. El contenido de aceite en el racimo varió de 20 a 26% (lo cual es superior al determinado por la industria para la selección de *duras*), y por esta razón se seleccionaron más de 1400

palmas que son usadas actualmente para la producción de semillas (Cuadro 5). Un grupo de 32 palmas élite fueron cruzadas dentro y entre poblaciones para ser plantadas en 2018 y obtener una nueva generación. La mayoría de estas palmas provienen de las poblaciones Chemara y Dami y tienen alto rendimiento de fruta y aceite (Chemara) y al menor desarrollo vegetativo en Dami (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimiento promedio de fruta y aceite y crecimiento vegetativo por población de las 32 palmas *Deli dura* seleccionadas en el cuarto ciclo para producir una nueva generación de palmas madres

Población	Palmas	RFF	TH	LL	M/F	O/M	O/B
Banting	2	151.8	275	529	70.1	45.2	22.2
Chemara	14	175.6	286	509	70.1	49.6	24.6
Dami	13	154.9	231	505	68.6	45.2	20.8
Socfin	3	142.8	223	506	72.3	50.8	25.5
Average		162.6	254	508	69.7	47.6	23.0
Seed production duras	1450	137.0	-	-	68.7	45.7	22.1

RFF = racimos de fruta fresca por palma, kg/palma/año; AT = altura del tronco al peciolo de la hoja 6, cm; LH = longitud de la hoja, cm; M/F = mesocarpio en fruto, %; A/M = aceite en mesocarpio, %; A/R = aceite en racimo, %. Rendimiento de cuatro años. Crecimiento a los 48 meses de edad.

Tanzania *dura*

Las líneas *dura* de África aumentaron la base genética de madres disponibles y se han mantenido como poblaciones separadas de *Deli dura*. Debido al origen de las líneas

africanas, provenientes de regiones con baja precipitación y de sitios de elevada altitud, se espera obtener con ellas tolerancia al déficit hídrico y a las bajas temperaturas (Alvarado et al. 2009, Alvarado y Peralta 2010) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Altitud y precipitación en sitios donde se colectaron las líneas *dura* en África y tolerancia esperada hacia déficit hídrico y bajas temperaturas

País y sitio de origen	Altitud (msnm)	Lluvia mm/año	Tolerancia esperada
Camerún, Bamenda	1600	2480	frio
Tanzania, Kigoma	880	960	frio, sequía
Uganda, Entebbe	1100	1530	frio, sequía
Zambia, Kawambwa	1300	1300	frio, sequía
Malawi, Karonga	530	1180	sequía
Sierra Leona, Kenema	60	970	sequía

msnm= metros sobre el nivel del mar

Dentro de las poblaciones africanas, el origen Tanzania fue sobresaliente debido a las características del racimo (Richardson y Chavez 1986); por lo cual fue usado para producir semilla comercial desde el año 2000, destinada especialmente para áreas marginales. La selección de las palmas madres se basó en 11 líneas de la población F₁ sembradas en 1994, las cuales mostraron

alto rendimiento de fruta (180 Kg/palma como promedio de cinco años) y 20% de aceite en el racimo. A partir de dicha población, se seleccionaron siete palmas que conservaban la mayor parte de la variabilidad así como el alto rendimiento de fruta (187 Kg/palma) y de aceite en el racimo (22%) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Rendimiento de fruta, aceite y crecimiento vegetativo de las siete palmas *dura* seleccionadas del origen Tanzania F₁ sembrado en 1994

Línea	Palma	RFF	PR	AT	LH	M/F	A/M	A/R
91C184	21	141.6	6.1	133	570	56.3	57.2	21.2
91C070	64	179.5	7.2	192	667	57.8	53.3	20.6
91C124	70	204.9	6.5	184	578	58.9	58.6	23.7
91C184	84	173.6	6.5	159	542	61.6	53.7	23.4
91C124	103	199.3	7.3	124	607	63.9	54.2	23.3
91C200	117	191.7	8.1	182	601	49.5	53.3	18.6
91C135	228	218.8	7.1	138	581	52.9	57.1	22.1
Average		187.1	7.0	159	592	57.2	55.3	21.8

RFF = racimos de fruta fresca, kg/palma/año; PR = peso del racimo, kg; AT = altura del tronco, cm; LH = largo de la hoja, cm; M/F = mesocarpio en fruto, %; A/M = aceite en mesocarpio, %; A/R = aceite en racimo, %. Rendimiento evaluado durante 5 años. Crecimiento a los 71 meses de edad

La generación Tanzania F₂ (sembrada en 2006 - 2010) derivada de autofecundaciones de las siete palmas seleccionadas, presentó un bajo rendimiento de fruta debido a la endogamia (95 kg/palma como promedio de los primeros tres años de producción), pero mostró alto aceite en el racimo (19 - 22%). Las diferencias entre familias fueron explotadas para avanzar al siguiente ciclo F₃; para lo cual

se cruzaron entre sí ocho palmas F₂ para obtener contenidos similares o aún mayores de aceite que en el origen Deli *dura* (Cuadro 8). De la Tanzania F₃ se espera iniciar un programa de cruzamientos con diferentes fuentes de polen para obtener nuevas variedades con alta producción de aceite y tolerancia a estrés.

Cuadro 8. Características del racimo de las palmas Deli y Tanzania seleccionadas en el ciclo de mejoramiento más reciente para producir un nuevo grupo de palmas madres en 2018

Origen	Palmas	M/F	O/M	O/B
Deli	32	69.7	47.6	23.0
Tanzania F ₂	8	61.4	55.2	23.8

M/F = mesocarpio en fruto, %; A/M = aceite en mesocarpio, %; A/R = aceite en racimo, %.

Ghana *tenera*/pisífera

En sus inicios, ASD usó la población convencional AVROS como fuente de polen, pero luego los esfuerzos fueron puestos en otros orígenes en la búsqueda de un mayor potencial de rendimiento de fruta y aceite y menor desarrollo vegetativo. Dos fuentes alternativas de polen eran los orígenes Ghana y Evolution.

La población Ghana fue introducida a Costa Rica en 1981 desde la Estación Experimental Kade en Ghana, donde el desempeño de sus ancestros 851.253T y 32.3005T fue superior. Con base en las buenas características mostradas en Costa Rica, en particular los

componentes del racimo y sus hojas cortas (Richardson y Alvarado 2003), ASD produjo las poblaciones F₁ (1997) y F₂ (2008) e inició la producción comercial de semillas usando padres Ghana en 2005.

Las progenies Ghana tienen alta producción de fruta y alto aceite en el racimo, además de hojas cortas y tolerancia a déficit hídrico, bajas temperaturas y a la condición conocida como 'mal de juventud' o 'pudrición común de flecha' (Alvarado et al. 2009, Martínez 2012). Las hojas cortas y menor área foliar del origen Ghana también le permiten ser plantado a mayor densidad que la convencional (Cuadro 9) (Breure 2006, 2010).

Cuadro 9. Rendimiento de fruta y aceite y crecimiento vegetativo en una prueba de progenies en Indonesia, en donde se utilizaron varias fuentes de polen (Breure 2006)

Origen	Líneas	RFF	AT	LH	AF	A/R
AVROS	15	117	152	381	5.19	26.4
Ekona	10	121	130	382	5.05	26.1
Ghana	9	119	147	375	4.89	27.2
Nigeria	6	127	136	379	5.32	26.9
Promedio	50	120	141	377	5.04	26.6

RFF = rendimiento de fruta, kg/palma/año; AT = altura del tronco, cm; LH = largo de la hoja, cm; AF = área foliar, m²; A/R = aceite en racimo, %. El rendimiento fue evaluado durante 4.8 años. Crecimiento a los 71 meses de edad

Las poblaciones Ghana más recientes sembradas en Costa Rica (2008 a 2010) serán evaluadas usando palmas madres de los orígenes Deli, Tanzania y 'compacta', para determinar su habilidad combinatoria (HCG y HCE). Se espera de esta forma seleccionar las mejores familias y palmas *pisifera* que serán usadas en los ciclos de mejoramiento siguientes.

Evolution (compuesto) *tenera/pisifera*

La población Evolution T/P de ASD es de origen compuesto y se deriva de palmas sobresalientes en producción de aceite y

fruta (Alvarado y Henry 2015). Evolution se originó en el programa de mejoramiento genético de Harrisons & Crossfield en Papua Nueva Guinea, cuyo objetivo era mejorar el índice de racimos (Dumortier et al. 2007). En un experimento sembrado en 1968, fueron evaluadas varias progenies *tenera* x *dura* (ensayo 203) de origen Banting BM119 x Chemara. La palma DAM736/107T fue seleccionada debido a su alta producción de fruta (243 Kg vs 159 en la familia), tronco corto y altos valores en las relaciones de mesocarpio en el fruto, aceite en el fruto y aceite en el racimo (32.1%) (Cuadro 10, C.J. Breure 2012, comunicación personal).

Cuadro 10. Características de la palma élite DM736/107T en la prueba 203 de la estación Dami, Papua, Nueva Guinea, sembrada en 1968 (C.J. Breure, comunicación personal 2012)

Familia	RFF	AT	M/F	A/M	A/R
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

RFF = racimos de fruta fresca, kg/palma/año (4.5 - 9 años de edad); AT = altura del tronco, cm (8 años); M/F = mesocarpio en el fruto, %; O/M = % of oil in the mesocarp; O/B = % of oil in the bunch

La palma DAM736/107T (50% AVROS Banting: 50% Deli Ulu Remis) fue combinada con DAM 774/201T (50% Elmina Dumpy: 25% AVROS de origen desconocido, 25% IRHO) para dar origen a una familia compuesta que fue enviada a Costa Rica, donde se le denominó DAM586. Así, esta familia consiste de 25% Elmina Dumpy, 25% Deli, 37.5% AVROS y 12.5% IRHO. DAM586 sobresalió por

su alto contenido de aceite en el mesocarpio (53.3% vs. 45.8% en el control comercial) y de aceite en el racimo (32.6% vs. 26.1%); debido a lo cual fue usada como una nueva fuente de polen llamada Evolution. La mejor palma, DAM586:405T, tuvo una producción de racimos superior (133 Kg vs 94 como promedio para la familia) y alto contenido de aceite en el racimo (39.4%) (Fig. 2).

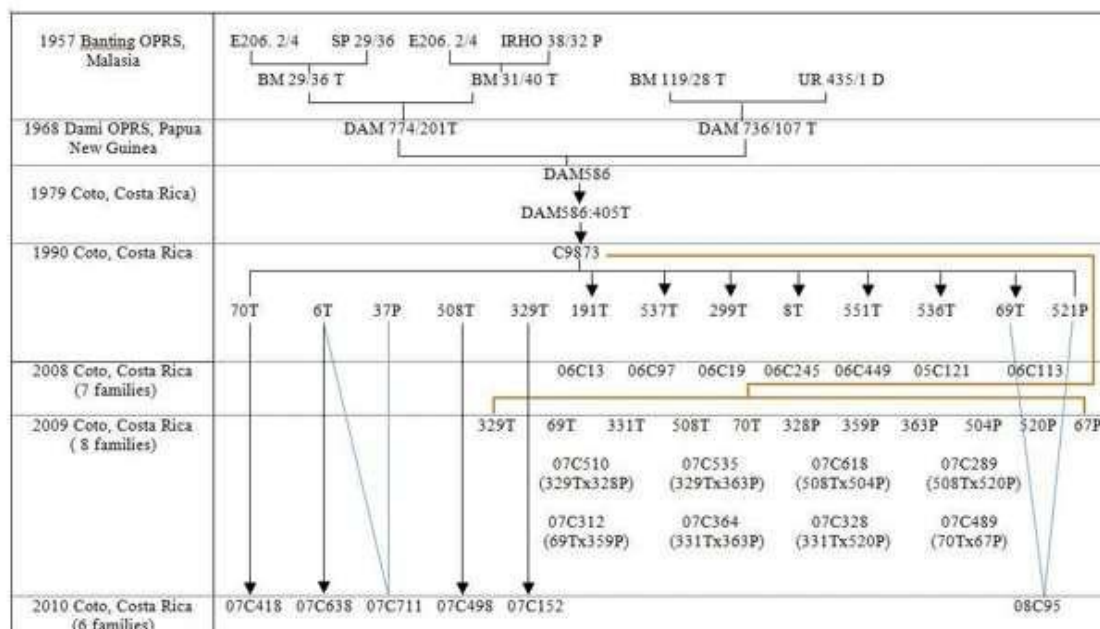


Fig. 2. Genealogía del compuesto Evolution sembrado en la Estación Experimental de ASD, Costa Rica

Las fortalezas del polen de origen Evolution se manifiestan cuando se compara con otras poblaciones *tenera* sembradas por ASD entre 1979 y 2004. La producción de fruta fue similar entre orígenes, pero el incremento en altura del tronco fue menor y

solo comparable al origen Nigeria (48 cm). Evolution, sin embargo, mostró la mejor composición del fruto: mayor mesocarpio en el fruto (89%), aceite en el mesocarpio (56%) y aceite en el racimo (32%) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Rendimiento de fruta, aceite y crecimiento vegetativo en varios orígenes de una muestra de palmas de 11 familias TxP (fuentes de polen), sembradas entre 1979 y 2004, Costa Rica

Origen	Familias	Palmas	RFF	IAT	LR	M/F	A/M	A/R
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

RFF = racimos de fruta, primeros tres años, kg/palma/año; IAT = incremento en altura del tronco, cm/año; LR = largo del raquis, cm; M/F = mesocarpio en fruto, %; A/M = aceite en mesocarpio, %; A/R = aceite en racimo, %. Crecimiento en 2011

En una prueba de progenies sembrada en 2008 en Costa Rica, algunas madres 'compactas' fueron combinadas con Evolution. Esta nueva variedad, llamada Evolution Blue, fue comparada con el control Deli x Nigeria y mostró tener un poco más de aceite en el racimo (29% vs 28%), un tronco más corto (202 vs 269 cm) y hojas de menor tamaño (514 vs 620 cm). Debido a esta última característica, Evolution Blue puede ser plantada a mayor densidad (160-170 plantas/ha) que otras variedades *guineensis* (143 plantas/ha).

Retro-cruces, poblaciones de alta densidad y clones

Desde 1970, el énfasis del programa de mejoramiento genético en ASD se concentró en el desarrollo de variedades con hojas cortas y lento crecimiento en altura del tronco. Este fenotipo, denominado 'compacto', fue desarrollado para optimizar el uso de la tierra, puesto que puede aumentarse el número de palmas sembradas por unidad de área y prolongar la vida útil de la plantación. Las variedades 'compactas'

son el resultado de un extenso programa de mejoramiento, donde palmas *E. guineensis* de alta producción fueron usadas como padres recurrentes a lo largo de cuatro ciclos de retro-cruzamientos.

El descubrimiento en 1966 de un híbrido OxG que tenía hojas más cortas que otras palmas OxG, y la posterior selección de un descendiente que combinaba hojas con tronco cortos (PCO: palma compacta original) condujo al programa de retro-

cruces en ASD. Dado que la PCO tenía una composición del racimo relativamente pobre, fue necesario dotarla de genes de *E. guineensis* para mejorarla (Richardson et al. 1987). Para lograr esto se establecieron dos estrategias: retro-cruzamientos sucesivos hacia *E. guineensis* para mejorar el rendimiento de aceite; y el desarrollo de poblaciones recombinantes en cada ciclo de retro-cruzamiento para estabilizar las características de crecimiento (Cuadro 12).

Cuadro 12. Desarrollo cronológico del programa de retro-cruces de ASD para producir las poblaciones ‘compactas’ y proporción estimada de genes de *E. oleifera* en cada ciclo

Años	Ciclo	Población	Genes de <i>E. oleifera</i>
1966	0	Híbrido OxG (sivestre, polinización abierta)	50%
1970	1	Palma compacta original (PCO) *	25%
1978	2	Primer retro-cruce (RC ₁)	12.5%
1985	2.1	Sub población: RC ₁ F ₁	12.5%
1994	2.2	Sub población: RC ₁ F ₂	12.5%
2008	2.3	Sub población: RC ₁ F ₃	12.5%
1986	3	Segundo retro-cruce (BC ₂)	6.25%
1995	3.1	Sub población: RC ₂ F ₁	6.25%
2008	3.2	Sub población: RC ₂ F ₂	6.25%
1995	4	Tercer retro-cruce (RC ₃)	3.125%
2008	4.1	Sub población: RC ₃ F ₁	3.125%

* La PCO es el primer retro-cruce, pero debido a que en el programa de ASD esta palma se considera el punto de inicio de la población ‘compacta’, la identificación de los retro-cruces parten de ella y por esta razón se denomina como primer retro-cruce a la población de 1978. La proporción indicada de genes de *E. oleifera* corresponden al promedio teórico debido al respectivo ciclo de retro-cruzamiento

Otros detalles sobre el desarrollo de la población ‘compacta’ aparecen en el cuadro 13.

Cuadro 13. Detalles del desarrollo cronológico del programa de retro-cruces de ASD para producir las líneas D y T/P 'compactas' en el periodo 1966-2008. Modificado de Escobar y Alvarado 2003

Generación	Ciclo	Detalles	Palmas
O x G	0	Se identifica un híbrido sobresaliente OxG de polinización abierta	1
PCO	1	Se selecciona la 'palma compacta original' (OCP) dentro de los descendientes del OxG (ver nota en el cuadro 12)	1
RC ₁	2	Primer retro-cruce hacia <i>E. guineensis</i> (La Me, Ekona, Ulu Remis, AVROS, Yangambi y Deli <i>dura</i>) de la OCP. Se seleccionan dos palmas T élite	567
RC ₁ F ₁	2.1	Las dos palmas élite se entrecruzan y se autopolinizan. Se seleccionan cinco palmas D y siete T en 1991	120
RC ₁ F ₂	2.2	Se entrecruzan las cinco D y las siete T. Se seleccionan <i>duras y teneras</i> seleccionadas en 2005	530
RC ₁ F ₃	2.3	Las palmas D y T seleccionadas son auto-polinizadas y se mantienen separadas como poblaciones D y T. Se seleccionan doce palmas D en 2016	
RC ₁ F ₄	2.4	Las palmas D seleccionadas del BC ₁ F ₃ se entrecruzan entre ellas para estabilizar el BC ₁	
RC ₂	3	La población del segundo retro-cruce originado de las dos palmas seleccionadas del BC ₁ se cruzan hacia <i>E. guineensis</i> Deli x AVROS, Bamenda, Ekona y AVROS. Se seleccionan 15 palmas D y 10 T.	2330
RC ₂ F ₁	3.1	Las 15 D élite y 10 T se entrecruzan entre ellas. Se seleccionan las D y T en 2005	2329
RC ₂ F ₂	3.2	Las nuevas poblaciones de las D y T seleccionadas en el BC ₂ F ₁ son auto-polinizadas y mantenidas separadas como grupos D y T/P y también son cruzadas en DxT para determinar GCA y SCA. Se seleccionan 12 palmas D en 2016	
RC ₂ F ₃	3.3	Las palmas D seleccionada del BC ₂ F ₂ son entrecruzadas para estabilizar la BC ₂	
RC ₃	4	La población seleccionada del tercer retro-cruce originada del BC ₂ se cruzan hacia <i>E. guineensis</i> (AVROS, Ekona, Nigeria, Calabar, La Me y Yangambi). Se seleccionan cuatro <i>teneras</i> en 2005	1088
RC ₃ F ₁	4.1	Las cuatro <i>teneras</i> son auto-polinizadas	

D = *dura*, T = *tenera*, P = *pisifera*. Ciclo = ciclo de selección, ver cuadro 12 para otros aspectos del ciclo. OxG = *E. oleifera* x *E. guineensis* F₁ híbrido; RC = retro-cruce; F = generación filial

Escobar y Alvarado (2003) resumieron el desempeño de las poblaciones 'compactas' durante el periodo 1978 - 1995, cuando compararon las palmas 'compactas' *tenera* con la variedad convencional Deli x AVROS. El rendimiento de fruta y de aceite en el racimo aumentó entre el primer y tercer ciclo de retro-cruces, pero también aumentó la altura del tronco; lo cual se interpretó como una 'dilución del gen compacto'. No obstante, el menor largo de las hojas se conservó a través de las generaciones.

Las palmas F₁ derivadas del segundo retro-cruce (RC₂F₁) fueron las mejores en término de aceite en el racimo y menor crecimiento vegetativo con respecto a la variedad control. Sin embargo, algunas familias del BC₁F₂ de hojas cortas, serán incluidas en los siguientes ciclos de selección para producir nuevas variedades que permitan ser sembradas a mayor densidad (Cuadro 14).

Cuadro 14. Comparación relativa (porcentaje del cruce estándar Deli x AVROS) de tres poblaciones *tenera* ‘compactas’. Modificado de Escobar y Alvarado (2003)

Origen	Palmas	Ciclo	% of Deli x AVROS			
			RFF	AT	LH	A/R
BC ₁	567	2	77.4	54.4	87.2	91.7
BC ₁ F ₁	120	2.1	58.2	83.1	73.4	98.3
BC ₁ F ₂	530	2.2	73.7	100.0	73.0	87.9
BC ₂	2330	3	87.3	67.1	87.2	102.3
BC ₂ F ₁	2329	3.1	84.9	59.3	76.5	108.8
BC ₃	1088	4	92.7	81.4	85.5	106.9

RC = retro-cruce; F = generación filial; Ciclo = ciclo de selección (ver cuadro 12). RFF = racimos de fruta; AT = altura del tronco; LH = largo de la hoja; A/R = aceite en racimo

Después de 1995, los esfuerzos fueron enfocados en las poblaciones derivadas del primer y segundo ciclos de retro-cruces. Las poblaciones BC₁F₃ y BC₂F₂, separadas en *duras* y *teneras*, fueron plantadas en 2008

como auto-polinizaciones, lo cual causó como era de esperar, un menor rendimiento de fruta comparado con el cruce testigo DxP (Cuadro 15).

Cuadro 15. Características de producción de racimos y aceite y crecimiento en poblaciones ‘compactas’ *dura* y *tenera* comparadas con Deli *dura* y con una variedad *E. guineensis* DxP, siembra en 2008

Origen	RFF	IAT	LH	M/F	A/M	A/R
Compacta RC₁F₃, auto-fecundación D						
Promedio (21 familias, 1589 palmas)	120.3	48	411	60.5	42.1	17.4
Desviación estándar	18.9	5	59	2.4	2.4	1.3
Compacta RC₂F₂, auto-fecundación D						
Promedio (34 familias, 2632 palmas)	98.1	53	512	62.2	49.3	20.6
Desviación estándar	19.6	7	30	3.1	3.5	3.0
Deli auto-fecundación D						
Promedio (87 familias, 6536 palmas)	110.2	63	617	67.4	44.1	20.6
Desviación estándar	22.3	8	47	2.7	2.8	2.1
Compacta RC₁F₃, auto-fecundación T						
Promedio (9 familias, 603 palmas)	77.7	44	436	81.5	47.2	24.6
Desviación estándar	28.3	10	42	1.4	4.0	3.8
Compacta RC₂F₂, auto-fecundación T						
Promedio (11 familias, 532 palmas)	94.6	62	536	88.1	49.0	25.1
Desviación estándar	13.0	10	52	3.1	3.2	1.9
Deli x Nigeria, DxP						
Promedio (12 familias, 488 palmas)	194.7	70	673	85.8	49.5	26.9
Desviación estándar	23.6	5	23	2.3	1.1	1.7

RC₁F₃ = tercera generación filial del primer retro-cruce; RC₂F₂ = segunda generación filial del segundo retro-cruce. El número de familias se refiere a líneas diferentes y/o la misma línea plantada en experimentos diferentes. RFF= racimos de fruta fresca, kg/palma/año (4 años de evaluación); IAT = incremento en altura del tronco estimada a los 90 meses de edad, cm; LH = largo de la hoja a los 90 meses, cm; M/F = mesocarpio en el fruto, %; A/M = aceite en el mesocarpio, %; A/R = aceite en el racimo, %. Análisis de racimos para las palmas *dura* palmas en las familias auto-fecundadas y para las palmas *tenera* en T auto-fecundadas y DxP

La debilidad en el RC₁F₃ fue el bajo contenido de aceite en el mesocarpio y en el racimo, lo cual fue mejorado en la población RC₂F₂. Sin embargo, la población *dura* RC₁F₃ fue superior en producción de fruta y ambas RC₁F₃ *dura* y *tenera* tienen hojas más cortas, comparadas con la siguiente generación RC₂F₂ (Cuadro 15).

Considerando el desempeño de las dos poblaciones maternas, el desarrollo de las nuevas variedades para ser plantadas a altas

densidades, debería basarse en los descendientes del primer ciclo de retro-cruces RC₁, mientras que los mayores

rendimientos de aceite se obtendrán de las poblaciones derivadas del RC₂. Un nuevo programa de selección de palmas *dura* en estas dos poblaciones creará la siguiente generación más uniforme y productiva. También es posible usar las palmas *tenera* élite de las diferentes poblaciones ‘compactas’ como *ortets*, para producir clones comerciales para alta densidad de siembra.

Desde 1980, ASD ha desarrollado un protocolo confiable y único para clonar la palma aceitera que utiliza *explantes* de inflorescencias y que genera clones prácticamente libres de anomalías. Una ventaja de los retro-cruces y del protocolo de clonación es que ha permitido concentrar los ‘genes compactos’ en *ortets* con alto potencial de rendimiento (Guzmán 1999, Alvarado et al. 2006).

El desempeño de los clones en el campo ha sido promisorio. El clon denominado Tornado se sembró en 2004 a 190 plantas/ha en una parcela semi-comercial en Costa Rica (35 ha), en un suelo aluvial de buena fertilidad. La producción de aceite (estimada como extracción industrial) fue de 10-12 toneladas/ha luego del quinto año de la siembra. Las hojas cortas de este clon (25% más cortas que la variedad Deli x Nigeria) le han permitido desempeñarse bien en esa parcela donde la radiación solar no es limitante. La variedad control (Deli x Nigeria, 143 plantas/ha), produjo menos de 10 toneladas de aceite en el periodo y sufrió fuertes variaciones interanuales. Otro clon ‘compacto’, Sabre, fue plantado a 170 palmas/ha y tuvo un comportamiento intermedio (Fig. 3).

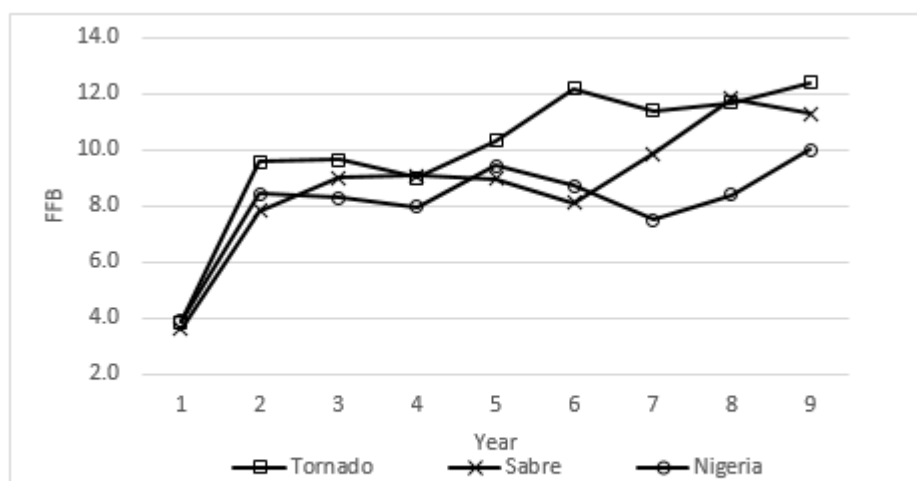


Fig. 3. Rendimiento de aceite en dos clones ‘compactos’ sembrados en 2004 comparados con un cruce DxP Deli Nigeria. Costa Rica

El programa de cultivo de tejidos de ASD ha clonado las palmas ‘compactas’ de la población BC₂ TxT (1986) y algunos de sus ‘reclones’ plantados en 2005. Recientemente, un grupo selecto de palmas derivadas de progenies DxP, sembradas en 2008 de origen RC₁F₂ y RC₂F₁, ha sido introducido para ser clonado. Este grupo de

ortets producirá clones con el potencial de ser plantados a alta densidad y con alta producción de aceite; se espera que algunos de estos puedan establecerse a 160-180 palmas/ha en la mayoría de las zonas palmeras y superen el comportamiento del clon de referencia, Tornado (Cuadro 16).

Cuadro 16. Rendimiento de racimos de fruta fresca y aceite y crecimiento en una muestra de ‘nuevos’ *ortets* *tenera* ‘compactos’ plantados en 2008 y seleccionados para clonación en 2016

Origen	D	n	RFF	IAT	LH	A/R	Aceite
‘Compacta’ RC ₁ F ₃ x Ekona	143	3	204	32	653	25.9	6.6
‘Compacta’ RC ₁ F ₃ x Evolution	160	3	198	28	515	33.8	9.3
‘Compacta’ RC ₁ F ₃ x Nigeria	180	4	176	32	484	26.5	7.3
Deli x Compacta RC ₂ F ₂	160	6	212	39	544	30.0	8.8
‘Compacta’ RC ₂ F ₂	160	5	212	58	547	32.0	9.4
‘Compacta’ RC ₂ F ₁ x Ghana	170	5	180	42	570	32.6	8.7
‘Compacta’ RC ₂ F ₁ x Nigeria	143	5	244	36	693	34.1	10.3
‘Compacta’ RC ₂ F ₁ x Nigeria	160	24	236	41	629	32.7	10.7
‘Compacta’ RC ₂ F ₁ x Nigeria	170	5	244	46	543	35.3	12.8
Promedio <i>ortets</i> 2008 (n = 60)	161		212	39	575	31.4	9.3
Tornado (clon)	180		174	43	557	31.6	8.6
<i>E. guineensis</i> Deli x Nigeria	143		195	70	673	26.9	6.5

D = densidad de siembra estimada considerando la longitud de la hoja, observaciones de la penetración de luz, radiación fotosintéticamente activa e índice de área foliar.; n = número de *ortets*; RFF: kg/palma/año (promedio de 4 años); IAT: incremento en altura del tronco, cm/año; LH: largo de la hoja a los 84 meses, cm; A/R = aceite en el racimo, %. Aceite = total estimado y corregido según extracción industrial

Características secundarias

La diversidad genética disponible en ASD ha sido usada parcialmente para producir nuevas variedades; el énfasis ha sido puesto en poblaciones con un largo historial de selección en procura de mejorar el rendimiento de fruta y de aceite. Por esta razón, algunos orígenes y familias que presentan características secundarias importantes no han sido suficientemente usados hasta ahora. Recientemente, se ha puesto atención a aspectos como el fruto *virescens* (que fue encontrado en forma homocigota en familias Nigeria), la tolerancia a las pudriciones de cogollo (PC), el alto

contenido de aceite oleico y la baja dehiscencia de los frutos en los racimos maduros. Las últimas tres características se han encontrado en familias ‘compactas’.

En general, las variedades *E. guineensis* actuales tienen valores de índice de yodo (IY) en un ámbito entre 53 y 55 y provienen de líneas *dura* con IY cercano a 51. En comparación, algunas familias ‘compactas’ tienen valores de IY de 66, de donde se deduce que es posible producir variedades comerciales con alta insaturación (IY = 63) y con el potencial de aumentar la oleína producida por la industria (Fig. 4).

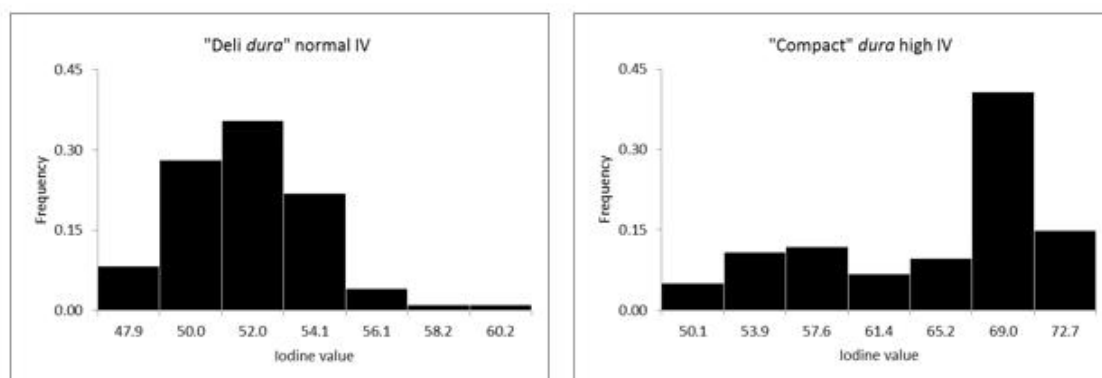


Fig. 4. Valores de índice de yodo en *Deli dura* ($n = 96$, $IV = 51.0 \pm 0.24$) y en *duras* compactas de alta insaturación ($n = 395$, $IV = 62.8 \pm 0.35$).

Algunas familias DxP provenientes de la población *dura* 'compacta' muestran baja dehiscencia de los frutos. En la variedad Evolution Blue, el desprendimiento de los frutos en el racimo maduro es solo una fracción de lo observado en la variedad *E. guineensis* Deli x Nigeria (2.6 vs 11% de frutos

sueltos). Algunas combinaciones específicas de la variedad Compacta x Nigeria son también promisorias en esta característica, mostrando cerca de la mitad del desprendimiento que se da en las variedades estándar (5.8 vs 11%) (Fig. 5).

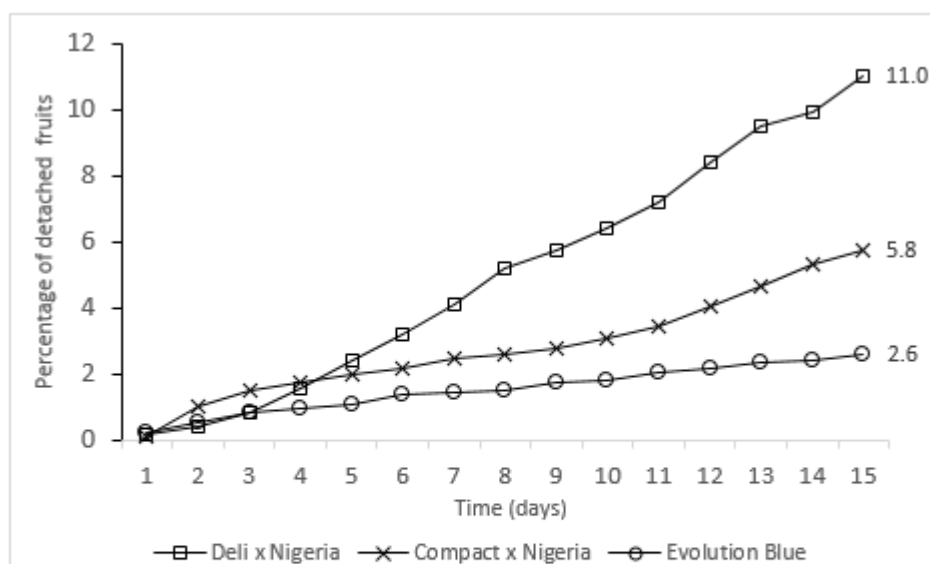


Fig. 5. Desprendimiento de frutos (%) (antes y después de cosecha) en la variedad estándar Deli x Nigeria y dos variedades compactas de bajo desprendimiento. Promedio de 10 racimos. Datos de 15 días después de que se desprendió el primer fruto. Estación de lluvias en 2015.

CONCLUSIONES

La mayor fortaleza que puede tener un programa de mejoramiento de plantas, es contar con una amplia base genética que le permita realizar las mejores combinaciones, y así obtener en el mediano y largo plazo mejores variedades comerciales. Lo anterior es particularmente esencial cuando se trabaja con un cultivo como la palma aceitera, en donde es necesario esperar varios años para encontrar las mejores palmas antes de avanzar al siguiente ciclo de selección. Durante este proceso, muchos genes importantes pueden perderse y algunas características secundarias de valor pueden no considerarse.

ASD ha trabajado cerca de 50 años para consolidar las poblaciones y variedades de *E. guineensis* y para definir las mejores estrategias en el programa de retro-cruces, que le han permitido desarrollar las variedades 'compactas'. Junto con este proceso, también ha crecido el negocio de las semillas comerciales por medio de un programa de investigación continuo y gracias a las fortalezas de sus materiales de siembra. Los cambios en la demanda del mercado han favorecido las variedades de

alta productividad con características especiales. Durante los años venideros, ASD continuará con sus esfuerzos hacia el desarrollo y consolidación de variedades de alta densidad con el mayor potencial de producción y características secundarias de interés como la coloración *virescens* del fruto, la alta insaturación del aceite, la baja dehiscencia de los frutos y tolerancia a problemas fitosanitarios, particularmente las 'pudriciones de cogollo y flechas'.

El programa de mejoramiento en palma aceitera de ASD nació y creció gracias a una amplia base genética obtenida en América tropical (*Elaeis oleifera*) y a través del intercambio de materiales con otros programas de mejoramiento en África y Asia y con colecciones de palmas silvestres en África (*E. guineensis*). Durante los últimos 25 años, los materiales genéticos mejorados por ASD han sido vendidos a programas de mejoramiento en Tailandia e Indonesia, los cuales actualmente producen semillas para siembras comerciales. Esto es un estímulo adicional para que ASD continúe en busca de la excelencia en sus futuras variedades.

REFERENCIAS

- Alvarado A.; Guzmán N.; Escobar R.; Peralta F.; Chinchilla C. 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.
- Alvarado, A; Escobar, R; Peralta, F. 2009. Avances en el mejoramiento genético de la palma de aceite en Centro América. In XVI Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, 22-25 de setiembre, Cartagena de Indias, Colombia. 27 p.
- Alvarado, A, Henry J. 2015. Evolution Blue: a new oil palm variety with reduced growth and high oil content. ASD Oil Palm Papers, 45, pp 1-8. (Online: <http://www.asd-cr.com/images/OilPalmPapers-45-2015.pdf>)
- Alvarado, A; R; Peralta, F. 2010. Variedades de palma aceitera adaptadas a condiciones adversas. In I Congreso - Feria Internacional de Palma Aceitera, abril, Santo Domingo de los Colorados, Ecuador. 17 p.
- Breure, C. J. 2006. Performance of ASD's oil palm parent material in South Sumatra: The search for elite planting material for Indonesia. ASD Oil Palm Papers, 29, pp 19-30. (Online: http://www.asd-cr.com/images/Breure_OPP_29_2006.pdf)
- Breure, C. J. 2010. Rate of leaf expansion: A criterion for identifying oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) types suitable for planting at high densities. Wageningen J. Life Sciences. 57:141-147.
- Dumortier F., Lord S., Lim T.K. 2007. Asegurando el mejoramiento continuo y la calidad de las semillas Dami. Palmas, V. 28, Tomo 1, pp 213 - 226.
- Escobar R. 1981. Preliminary results of the collection and evaluation of the American oil palm (*Elaeis oleifera*) in Costa Rica. Proc. Int. Conf. on Oil Palm in Agric. in the eighties. Kuala Lumpur, 17-20 June, 1981. The Incorporated Society of Planters, pp 79-97.
- Escobar, R., Alvarado, A. 2003. Strategies in production of oil palm compact clones and ASD Oil Palm Papers, No 47, 2017

seeds. In Proc. 2003 Intern. Oil Palm Congress - Agric. Conf., MPOB, Kuala Lumpur, pp. 75-90.

Guzmán, N. 1999. Present status of clonal propagation of oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. in Costa Rica by culture of immature inflorescences. In Seminar worldwide performance of DxP oil palm planting materials, clones and interspecific hybrids (1995, Barranquilla, Colombia). Proceedings. Eds. N Rajainadu; BS Jalani. PORIM. P. 144-150.

Martínez O. et al. 2012. Influencia del riego en el comportamiento de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) en la zona de La Concordia -Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Boletín Técnico No. 8, marzo 2012. ANCUPA. 19 pp.

Richardson, D. L. 1995. La historia del mejoramiento genético de la palma aceitera en la compañía United Fruit en América (*The History of Oil Palm Breeding in the United Fruit Company*). ASD Oil Palm Papers. No. 11, pp 1 - 22. (Online: http://www.asd-cr.com/images/History_UFCo_palm_OPP_11_1995.pdf)

Richardson, D. L. y Alvarado, A. 2003. Germoplasma de ASD de origen Nigeria. ASD Oil Palm Papers, 26, pp 1-22. (Online: http://www.asd-cr.com/images/Nigeria_English_26_20003.pdf)

Richardson, D.L., Chavez, C. 1986. Oil palm germplasm of Tanzanian origin. Turrialba, 36:493-498.

Sterling, F., Richardson, D.L., Chavez, C. 1987. Some phenotypic characteristics of the descendants of QB049, an exceptional hybrid of oil palm. In: A. Halim Hassan; P. S. Chew; B. J.Wood and E. Pushparajah, Eds., Proc. Oil Palm/Palm Oil Conf.. Progress and Prospects. PORIM. 135-146 pp.

Sterling F.; Richardson D.L, Alvarado A., Montoya C. Chaves C. 1999. Performance of OxG *E. oleifera* Central American and Colombian biotype x *E. guineensis* interspecific hybrids. Proc. of the seminar on worldwide performance of DxP oil palm planting materials. Clones and interspecific hybrids. Ed. by Rajanaidu N. and Jalani B.S. Palm Oil Research Institute of Malaysia. Pp. 114-127

SEED PRODUCTION AND OIL PALM BREEDING IN ASD COSTA RICA

A. Alvarado¹, R. Escobar²

ABSTRACT

For almost 50 years, the ASD Costa Rica oil palm breeding program has used the genetic diversity of the two species, *E. guineensis* and *E. oleifera*, to obtain commercial varieties. Emphasis has been made on the development of varieties with reduced growth through backcrossing programs, which have helped stabilize populations with short trunks, short leaves and high oil production. This phenotype, named 'compact', was bred to optimize land use, because it enables the planting of more palms per unit area and extends the lifespan of the plantations. The development of 'compact' growth varieties has been the outcome of an extensive breeding effort, where palms from the *E. guineensis* gene pool with enormous yield potential were used as recurrent parents over four cycles of backcrossing, starting with a wild OxG hybrid palm with short trunk and leaves. The *E. guineensis* populations involved in the backcrossing program were AVROS, La Me, Ekona and Deli, resulting in recombinants that gave origin to *dura* and *tenera/pisifera* 'compact' populations. Using the new backcrosses to different *E. guineensis* families from the Ghana, Nigeria T/P and Deli D populations, a new set of commercial 'compact' DxP varieties were released starting in 2004. An OxG hybrid (Amazon) bred using *pisiferas* from the 'compact' origin is also being commercialized. Around 30 million seeds of 'compact' varieties have been sold and now ASD is producing a new generation of advanced 'compact' varieties. Thanks to the extensive work with the 'compact' breeding populations, it was possible to initiate a tissue culture program using the best individuals found in each generation. By selecting the elite individuals, it would be possible to establish uniform high density clonal plantations (160 to 180 palms/ha) where some of the clones have the potential to yield up to 10-12 tons of oil per hectare.

Recently new genetic resources are under evaluation in order to increase the diversity for special traits such as higher oil yield, tolerance to diseases, slow dehiscence and high olein content. The *E. guineensis* populations used in the new recombinant varieties come from Tanzania, composite Evolution (ex. Dami composite), Ekona and Mobai (Sierra Leone).

There is no doubt that the ASD breeding program started and grew thanks to the wide genetic diversity collected all around the American oil palm belt (*E. oleifera*), and also through exchange programs with research centers in Africa and Asia and the collection of wild African palms. During the last 25 years, ASD improved materials were sold to breeding programs in Thailand and Indonesia, where some groups are now producing seeds. It is therefore imperative that ASD Costa Rica continue developing advanced populations and varieties for the near future.

Key words: ASD Costa Rica, *Elaeis guineensis*, backcrossing, oil palm seed production, oil palm breeding

¹ ASD Costa Rica (Agricultural Services & Development), PO Box 30-1000, San Jose, Costa Rica, Sales@asd-cr.com

INTRODUCTION

ASD Costa Rica (Agricultural Services and Development) is a specialized company dedicated to providing oil palm planting materials. Since 1968, ASD has gathered a broad germplasm collection of both *Elaeis guineensis* and *E. oleifera* palms, which made the development of several varieties possible and ASD became a successful international oil palm seed supplier. In the period 1986-2015, more than 1.8 million hectares have been planted with ASD's varieties and clones in tropical America, Asia and Africa.

ASD developed a new generation of commercial varieties characterized by high FFB yields (30 to 35 t/ha) under good soil and climate conditions; able to be planted under deficient conditions (water stress, low temperatures, insect and disease presence); with short leaves that allow planting at higher densities (160 to 180 palms/ha) and with special traits according to market demands such as bud rot tolerance in *E. guineensis*, high unsaturated oil content (44% oleic acid) in *E. guineensis* or high kernel to bunch ratios (10 to 12%).

Genetic diversity

Genetic diversity has been the main strength of ASD Costa Rica's oil palm breeding program. Although the first documented introduction of oil palm of known origin into the Americas goes back to 1926, and during the period 1926 to 1936 several introductions and distribution of seeds were made, the oil palm industry in this continent did not grow as much as that of Asia (Richardson 1995).

The basis of the ASD breeding program is an extensive *E. oleifera* germplasm collection acquired in the 1960s and 70s in diverse regions of Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panama, Colombia, Surinam and Brazil, (Escobar 1981, Sterling et al. 1999). Most of the *E. oleifera* collection was planted in Costa Rica but some accessions were exchanged for *E. guineensis* material from advanced generations. The *E. guineensis* genetic materials were obtained from recognized experimental stations in Africa and Asia. They included Deli *dura*, sourced from the

This document begins with a picture of past, current and future commercial seed production based on the germplasm available in ASD to show how market demand has focused on high density and special varieties. It also includes the main aspects of the development of varieties and clones for planting at high density by the ASD Costa Rica breeding program. This paper provides insight into the origin of the program and the consolidation of the genetic diversity of *E. oleifera* as well as *E. guineensis* and a summary of the selection and breeding program for *E. guineensis* populations Deli and Tanzania *dura* as well as *tenera/pisifera* Ghana and composite Evolution. The document then emphasizes the development of the ASD backcrossing program and its results in obtaining 'compact' growth varieties and clones.

Finally, the paper focuses and draws conclusions on the importance of developing new breeding population and varieties, especially high density ones aimed at optimizing land use and satisfying the demand for high yielding planting materials.

Chemara, Harrison & Crossfield, Banting, Socfin and Mardi (Malaysia) stations and from Dami (Papua New Guinea). Also introduced were AVROS *pisifera* palms from Harrison & Crossfield (Malaysia), Ekona from Unilever (Cameroon), Ghana and Nigeria from the Kade Station (Ghana) and the NIFOR station (Nigeria), and La Me and Yangambi from IRHO (Ivory Coast). This exchange program was strengthened with the subsequent introduction of seeds from wild palms of the Bamenda highlands (Cameroon) and Tanzania, and from several regions of Sierra Leone, Uganda, Zambia and Malawi (Alvarado et al. 2009). Thanks to this great genetic diversity from advanced and wild populations, ASD started breeding and seed production programs early in its existence.

The development of *E. guineensis* commercial varieties was initiated in the 1970s using Deli *dura* and AVROS *pisifera*s. The increased market demand and good performance of improved varieties

accelerated the seed production program, which started in 1977. At the same time, several *E. guineensis* sources were used in OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*) trials, as well as in backcrossing programs based on a peculiar wild OxG hybrid. The consolidation

of composite varieties is a strength in ASD program, by combining genes from various germplasm sources to assemble varieties with special characteristics, such as the 'compact' varieties including Evolution Blue and the Amazon hybrid.

SEED PRODUCTION

ASD's ample genetic stock permitted the simultaneous combination of a wide range of *dura* lines, such as Deli, African (Bamenda and Tanzania) and 'compact', with classical *pisiferas* AVROS, Yangambi, Ekona and La Me; recently bred Ghana, Nigeria and

Evolution and 'compact' pollen source populations. This allowed the release of several seed varieties with particular characteristics (Alvarado et al. 2009, Table 1).

Table 1. General description of the main characteristics of ASD seed varieties

Origin	Density	THI	LL	t/ha	O/B	Tolerance to: (normal when not indicated)		
						Drought	Low Temperature	Low solar radiation
Deli x AVROS *	135-143	60 - 65	8.0 - 8.5	25-30	26-28	L		L
Deli x La Me	143	50 - 55	7.6 - 8.0	25-30	<26	N/H		
Deli x Ghana	160	55 - 60	7.0 - 7.3	30-35	28 - 30	N/H	N/H	H
Deli x Nigeria	143	50 - 55	7.6 - 8.0	30-35	28 - 30			
Evolution	143	50 - 55	7.6 - 8.0	30-35	>30			
Tanzania x Ekona	143	50 - 55	7.6 - 8.0	25-30	26-28	N/H	H	
Bamenda x Ekona	143-160	45 - 50	7.6 - 8.0	22-25	26-28	N/H	H	
Deli x 'Compact'	160-170	45 - 50	6.6 - 6.9	30-35	28 - 30			N/H
'Compact' x Ghana	170-180	45 - 50	6.6 - 6.9	30-35	28 - 30			H
'Compact' x Nigeria	160-170	45 - 50	6.6 - 6.9	30-35	28 - 30			N/H

THI = increase in trunk height, cm/year; LL = maximum leaf length; t/ha = total fruit yield per hectare, t; O/B = oil in the bunch, %; yield and growth data as registered at the ASD Research Station, Costa Rica, where soils and climatic conditions favor vigorous growth and limit fruit yield due to water excess; * Deli x AVROS is currently not sold by ASD but it is included to compare the performance of the other varieties, in special the 'compact' varieties; L = low; N = normal; H = high

The first variety ASD put on the market in 1986 was the classical Deli x AVROS. After 1995, demand gradually increased for other varieties, namely Deli x Ghana, Deli x Nigeria, and to a lesser extent Deli x La Me, owing to

its slower growth habits and/or shorter leaves. Lately, after 2005, the 'compact' varieties, suitable for high-density planting at 160-180 palms/ha, were becoming more popular (Fig. 1).

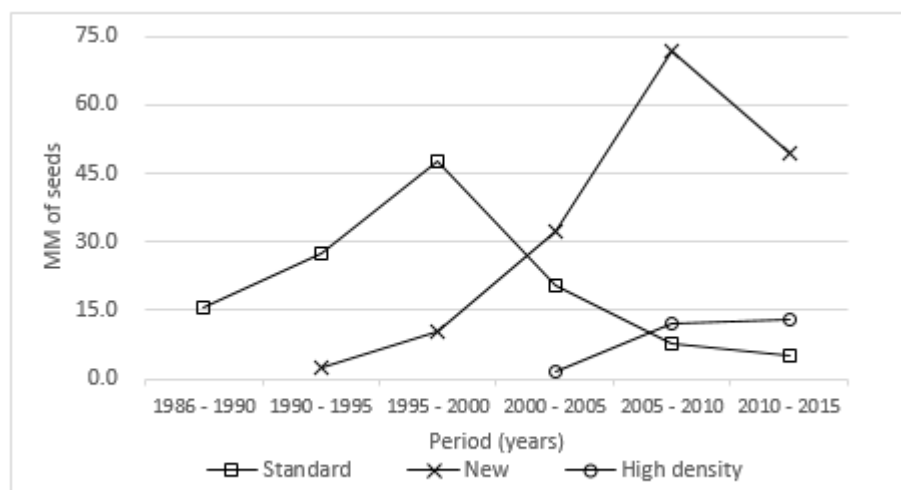


Fig. 1. Variation from 1985 to 2015 in the seed demand of varieties by group

Most of the planted area during the period 1991 to 2015 with ASD seed varieties is in America and Asia, and to a lesser extent in Africa (Table 2).

Table 2. ASD seeds sold and planted area (hectares) in the period 1986 - 2015

Region	Seeds (000's)	Hectares (000's)	World ((000's)	ASD share
America	148 541	874	1235	71%
Asia	153 962	906	13,812	7%
Africa	10 162	60	1039	6%
Total	312 665	1840	16 086	11%

ASD BREEDING PROGRAM

E. guineensis

From the several *dura* (D) and *tenera/pisifera* (T/P) populations in the ASD collection, emphasis was given to the Deli *dura* population, by using the improved accessions introduced to Costa Rica. When the evaluation extended to other genetic materials, other traits were noted including the potential of the wild Tanzania origin, the good performance of the Ghana T/P families and the high oil yield potential of a modern T/P called Evolution. The following sections summarize some key aspects of these four groups.

Deli *dura*

The breeding of the Deli population in Coto, Costa Rica started in the 1970s, using advanced germplasm introduced from reputable breeding organizations in Asia. These breeding materials were grouped into five subpopulations according to the research center source: Banting, Chemara, Dami, Mardi and Socfin. Up to 2008, four selection cycles that involved pure and recombined lines were performed on the Deli population (Alvarado et al. 2009, Table 3).

Table 3. Number of field tests, lines and Deli *dura* palms evaluated in Costa Rica along four cycles of selection and breeding. Updated from Alvarado et al. 2009

Cycle	Period	FT	Lines	Palms	Origin (pure and inter-populations)
1	1969 - 1982	15	62	4,321	B, Che, D, Mar, Soc
2	1985 - 1992	21	100	4,827	B, Che, D, Soc, Che x B, Che x Mar, Che x D, D x Soc
3	1996 - 2003	11	235	8,917	B, Che, D, Mar, Soc, B x Che, Che x Mar, Che x D, D x Mar
4	2008 - 2016	10	91	8,232	B, Che, D, Mar, Soc, B x Che, Che x Mar, Che x D, D x Mar
Total		57	488	26,297	

FT = field tests, B = Banting, Che = Chemara, D = Dami, Mar= Mardi, Soc = Socfin

Despite the fact that the original accessions introduced in the period 1969-1979 came from advanced populations, their FFB yields were moderate to low, the average yield during the first three years of record was 106-120 kg/palm, while oil to bunch ratios (O/B) varied from 18 to 24% (Table 4). During

the following breeding cycles, these two important traits were emphasized by crossing palms within and between populations, with the objective of increasing yields and also reducing vegetative growth and improving bunch index ratios.

Table 4. Average yield and oil components of the 33 Deli *dura* germplasm accessions introduced from Asian breeding programs during the first ASD selection cycle (1969 – 1982)

Introduction	Origin	Accessions	Palms	FFB	M/F	O/M	O/B
First 1969 - 71	Socfin	3	146	106.2	62.2	43.7	19.4
	Chemara	6	354	120.4	62.9	46.8	20.4
	Banting	3	175	114.4	60.7	42.3	18.1
Second 1979	Dami	20	1621	112.2	66.3	43.7	20.6
	Mardi	1	59	114.6	67.8	48.8	23.7

FFB = fresh fruit bunch, kg/palm/year: evaluated during the first 3 years; M/F = mascara to fruit, %; O/M = oil to mesocarp, %; O/B = oil to bunch, %.

In the most recent cycle planted in 2008, 91 selfed lines were under evaluation representing the five original populations (Table 3). By comparing the selected groups, there were differences in FFB and oil to bunch that varied from 20 to 26 % (higher than the industry standard for *dura* palms); so, from this group of selfings more than 1400 plants are currently being used for seed production (Table 5) and some elite plants were selected for the next cycle.

A total of 32 elite Deli *dura* palms selected in the fourth cycle from the pure populations are going to be used in the next Deli *dura* breeding cycle. They were crossed within and between populations and will be planted in the field in 2018. Most of them belong to Chemara and Dami populations, based on the superior FFB and oil yield observed in Chemara and the lower vegetative growth in the Dami population (Table 5).

Table 5. Average yield, vegetative growth and oil content per population of the 32 Deli *dura* palms selected in the fourth cycle that will produce the new generation of mother palms

Population	Palms	FFB	TH	LL	M/F	O/M	O/B
Banting	2	151.8	275	529	70.1	45.2	22.2
Chemara	14	175.6	286	509	70.1	49.6	24.6
Dami	13	154.9	231	505	68.6	45.2	20.8
Socfin	3	142.8	223	506	72.3	50.8	25.5
Average		162.6	254	508	69.7	47.6	23.0
Seed production <i>duras</i>	1450	137.0	-	-	68.7	45.7	22.1

FFB = fresh fruit bunch, kg/palm/year: yield evaluated during four years; TH = trunk height at petiole of leaf 6, cm; LL = leaf length, cm; M/F = mesocarp to fruit, %; O/M = oil to mesocarp, %; O/B = oil to bunch, %.

Growth traits at 48 months of age

Tanzania *dura*

The collection of African *dura* lines aimed to broaden the genetic basis of ASD mother palms are being kept separated from the Deli *dura* population. Based on the rainfall and

altitude of the prospecting sites, some tolerance to drought and to low temperatures was expected to be transmitted into the new varieties produced from these sources (Alvarado et al. 2009, Alvarado and Peralta 2010) (Table 6).

Table 6. Altitude and rainfall of the various sites where African *dura* lines were collected and tolerance expectations to drought and low temperatures (cold)

Country and site of origin	Altitude (masl)	Rainfall (mm/year)	Expected tolerance
Cameroon, Bamenda	1600	2480	cold
Tanzania, Kigoma	880	960	cold, drought
Uganda, Entebbe	1100	1530	cold, drought
Zambia, Kawambwa	1300	1300	cold, drought
Malawi, Karonga	530	1180	drought
Sierra Leone, Kenema	60	970	drought

masl= meters above sea level. From Alvarado and Peralta 2010

From the African populations, the Tanzanian origin was outstanding for its good bunch characteristics (Richardson and Chavez 1986), so it has been used in seed production since 2000, mainly directed towards marginal areas. Mother palm selection was based on the F₁ population, made up of 11

lines planted in 1994, which showed high FFB (180 kg/palm, 5-year average) and O/B above 20%. Seven superior palms were selected from the F₁ generation, conserving most of the observed variability as well as high yield (187 kg/palm) and oil to bunch ratio (22%) (Table 7).

Table 7. Average yield, vegetative growth and oil content of the seven *duras* selected from the Tanzania F₁ origin planted in 1994

Line	Palm	FFB	BW	TH	LL	M/F	O/M	O/B
91C184	21	141.6	6.1	133	570	56.3	57.2	21.2
91C070	64	179.5	7.2	192	667	57.8	53.3	20.6
91C124	70	204.9	6.5	184	578	58.9	58.6	23.7
91C184	84	173.6	6.5	159	542	61.6	53.7	23.4
91C124	103	199.3	7.3	124	607	63.9	54.2	23.3
91C200	117	191.7	8.1	182	601	49.5	53.3	18.6
91C135	228	218.8	7.1	138	581	52.9	57.1	22.1
Average		187.1	7.0	159	592	57.2	55.3	21.8

FFB = fresh fruit bunch, kg/palm/year; BW = bunch weight, kg; TH = trunk height, cm; LL = leaf length, cm; M/F = mesocarp to fruit, %; O/M = oil to mesocarp, %; O/B = oil to bunch, %

Yield evaluated during 5 years, growth traits at 70 months

The Tanzania F₂, planted from 2006 to 2010, derived from the selfings of the seven selected palms, showed low yield because of endogamy (95 kg/palm on average during the first three years of records), but good O/B percentages, in a range from 19 to 22%. Differences between families allowed a positive selection for the next F₃ cycle. Eight F₂ palms were chosen and intercrossed to

produce the next generation, wherein similar or even higher oil to bunch ratios are expected in comparison with the Deli *dura* origin (Table 8). In the Tanzania F₃, a crossing program with pollen sources also showing tolerance to drought and lower temperatures is expected to allow the development of stress-tolerant and high oil yielding varieties.

Table 8. Bunch characteristics of the Deli and Tanzania palms selected from the most recent breeding cycle to establish a new mother palm group in 2018

Origin	Palms	M/F	O/M	O/B
Deli	32	69.7	47.6	23.0
Tanzania F ₂	8	61.4	55.2	23.8

M/F = mesocarp to fruit, %; O/M = oil to mesocarp, %; O/B = oil to bunch, %.

Ghana *tenera*/pisifera

Initially ASD used the conventional AVROS population as a pollen source, but after advancing with the phenotypic characterization of other origins, the efforts focused on higher yielding populations with slower growth. Two of these alternative pollen sources were Ghana and Evolution.

The Ghana population was introduced to Costa Rica in 1981 by Ricardo Escobar (1979, unpublished internal report) who selected a progeny derived from two outstanding *teneras*, 851.253T and 32.3005T, from the Dr. Wonkyi Appiah breeding program at the Kade Research Station (Ghana). Based on the

good characteristics showed by the Ghana origin in Costa Rica, especially good bunch components and short leaves (Richardson and Alvarado 2003), ASD produced the F₁ (1997) and F₂ (2008) generations and started to produce commercial seeds with the Ghana parents in 2005.

The Ghana progenies show high FFB and O/B, short leaves and also tolerance to water deficit, low temperatures, crown disease and some bud rots (Alvarado et al. 2009, Martínez 2012). In comparison with other pollen sources, the short leaves and low leaf area allow the production of high density varieties (Table 9) (Breure 2006, 2010)

Table 9. Summary of yield, growth and oil content in a progeny trial carried out in Indonesia, where several pollen sources were compared. From Breure 2006

Origin	Lines	FFB	TH	LL	LA	O/B
AVROS	15	117	152	381	5.19	26.4
Ekona	10	121	130	382	5.05	26.1
Ghana	9	119	147	375	4.89	27.2
Nigeria	6	127	136	379	5.32	26.9
Trial average	50	120	141	377	5.04	26.6

FFB = fresh fruit bunch, kg/palm/year; TH = trunk height, cm; LL = leaf length, cm; LA = leaf area, m²; O/B = oil to bunch, %. Yield evaluated during 4.5 years. Growth traits as average of years two to seven

The most recent Ghana population planted in Costa Rica (2008 - 2010) will be evaluated with mother palms from the Deli, Tanzania and 'compact' populations in order to determine the combining abilities (GCA and SCA) aimed at selecting the best families and *pisifera* parents for the following cycles.

Evolution (composite) *tenera/pisifera*

The ASD's Evolution T/P population is a composite, having been derived from outstanding palms in terms of FFB and oil yield; several details of its origin and

performance look very promising and are given below (Alvarado and Henry 2015).

Evolution originated in the Harrisons & Crossfield breeding program in Papua New Guinea, whose objective was to improve 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. Palm DAM736/107T was selected, characterized by its high bunch production (243 kg vs. 159 in the family), reduced trunk height, high mesocarp in the fruit, and high oil in the fruit and in the bunch (32.1%) (Table 10, C.J. Breure 2012, personal communication).

Table 10. Traits of the superior palm DM736/107T in trial 203 of the Dami Station, Papua, New Guinea, planted 1968. C.J. Breure, personal communication 2012

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

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

Palm DAM736/107T (50% AVROS Banting: 50% Deli Ulu Remis), was combined with DAM 774/201T (50% Elmina Dumpy: 25% AVROS of unknown origin, 25% IRHO), giving rise to a composite family that was subsequently sent to Costa Rica, where it was called DAM586. This family therefore has a pedigree consisting of 25% Elmina Dumpy, 25% Deli, 37.5 % AVROS and 12.5% IRHO. In Costa Rica the DAM586 family was superior

due to the high percentage of oil in the mesocarp (53.3% vs. 45.8% of the commercial control) and oil in the bunch (32.6% vs. 26.1%). Due to these characteristics it was used as a new source of pollen named Evolution. The best palm from this family, DAM586:405T, was selected because of its higher FFB (133 kg vs. 94 as the average for its family) and high O/B (39.4%) (Fig. 2).

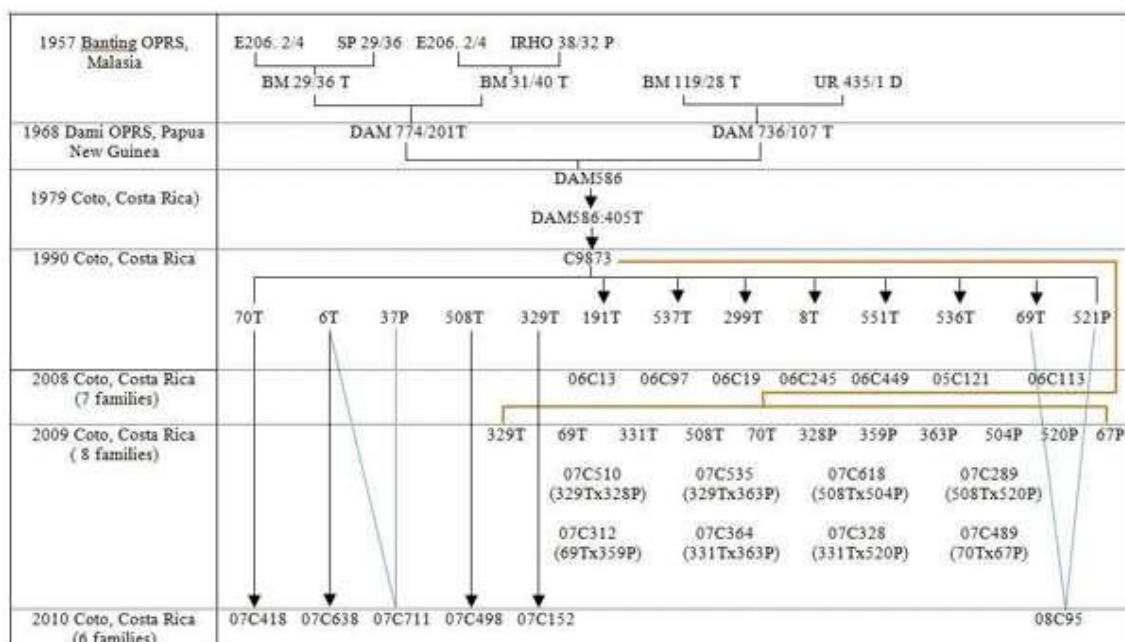


Fig. 2. Genealogy of the Evolution composite planted at the ASD Experimental Station, Costa Rica

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. FFB was similar among the origins, while trunk growth rate was shortest

in Evolution together with Nigeria (48 cm). However, Evolution was the best in fruit composition, since it had higher mesocarp in the fruit (89%), oil in the mesocarp (56%) and oil in the bunch (32%) (Table 11)

Table 11. Average yield, vegetative growth and oil content per origin in a sample of palms from 11 TxP families (pollen sources), planted from 1979 to 2004, Costa Rica

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		294	102.2	54	555	88.1	50.9	29.1

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

Growth characteristics measured in 2011.

In a progeny trial planted in 2008 in Costa Rica, some 'compact' mother palms were combined with Evolution; ASD named this new variety Evolution Blue. When compared with the Deli x Nigeria control, the oil content in Evolution Blue was higher (29% vs. 28%), while trunk growth was shorter (202 vs. 269 cm) and leaf length smaller (514 vs. 620 cm). Their short leaves will allow the establishment of Evolution Blue plantations at higher density (160 to 170 plants/ha), in

comparison with standard *E. guineensis* varieties, which are usually planted at 143 plants/ha.

Backcrossing, high density populations and clones

Since the 1970s, the ASD Costa Rica oil palm breeding program has concentrated on the development of varieties with slow trunk growth and short leaves. This phenotype,

named 'compact', was bred to optimize land use, because it enables the planting of more palms per unit area and prolongs the lifespan of the plantation. The development of 'compact' varieties has been the outcome of an extensive breeding program, where high-yielding palms from the *E. guineensis* gene pool were used as recurrent parents over four cycles of backcrossing.

The discovery of an outstanding OxG hybrid in 1966 with shorter leaves compared with standard OxG palms, and the identification of a descendant with short stem and short

leaves, named the 'original compact palm: OCP), led to the beginning of the backcrossing program at ASD. Given that the OCP had poor bunch quality, there was a need to introgress 'compact' genes into other *E. guineensis* germplasm (Sterling et al. 1987). Two different breeding strategies were adopted: successive backcrossing to *E. guineensis* to improve oil yield, and development of a recombinant population in each backcrossing cycle to stabilize growth traits (Table 12). Additional details in the development of 'compact' populations are given in Table 13.

Table 12. Chronological events of the ASD backcrossing program to develop the 'compact' populations and theoretical proportion of *E. oleifera* genes in each cycle

Year	Cycle	Population	<i>E. oleifera</i> genes
1966	0	Hybrid OxG (wild, open pollination)	50%
1970	1	Original Compact Palm (OCP) *	25%
1978	2	First backcross (BC ₁)	12.5%
1985	2.1	Sub population: BC ₁ F ₁	12.5%
1994	2.2	Sub population: BC ₁ F ₂	12.5%
2008	2.3	Sub population: BC ₁ F ₃	12.5%
1986	3	Second backcross (BC ₂)	6.25%
1995	3.1	Sub population: BC ₂ F ₁	6.25%
2008	3.2	Sub population: BC ₂ F ₂	6.25%
1995	4	Third backcross (BC ₃)	3.125%
2008	4.1	Sub population: BC ₃ F ₁	3.125%

*OCP is the first backcross but in the ASD program, since it is considered the starting point of the 'compact' population, the subsequent backcrosses are named from the first in 1978; *E. oleifera* genes as expected average due to backcrossing

Table 13. Details related to the chronological events of the ASD backcrossing program to develop the ‘compact’ D and T/P lines in the period 1966 to 2008. Modified from Escobar and Alvarado 2003

Generation	Cycle	Details	Palms
O x G	0	Outstanding open pollinated OxG hybrid identified	1
OCP	1	Identification of the “original compact palm” in the first OxG descendant (see note on Table 12)	1
BC ₁	2	First backcross from OCP crossed to <i>E. guineensis</i> La Me, Ekona, Ulu Remis, AVROS, Yangambi and Deli <i>dura</i> ; two elite T palms selected	567
BC ₁ F ₁	2.1	Two elite T palms intercrossed and selfed; 5 D and 7 T selected in 1991	120
BC ₁ F ₂	2.2	The elite 5 D and 7 T intercrossed; D and T selected in 2005	530
BC ₁ F ₃	2.3	The selected D and T selfed and kept as separate D and T populations; 12 D selected in 2016	
BC ₁ F ₄	2.4	D selected from BC ₁ F ₃ are being intercrossed to stabilize the BC ₁	
BC ₂	3	Second backcross population originated from the two BC ₁ selected palms crossed to <i>E. guineensis</i> Deli x AVROS, Bamenda, Ekona and AVROS; 15 D and 10 T selected	2330
BC ₂ F ₁	3.1	The elite 15 D and 10 T intercrossed; D and T selected in 2005	2329
BC ₂ F ₂	3.2	New population from D and T selected in BC ₂ F ₁ selfed and kept apart as D and T/P groups and also crossed in DxT to see GCA and SCA performance; 12 D selected in 2016	
BC ₂ F ₃	3.3	D selected from BC ₂ F ₂ are being intercrossed to stabilize the BC ₂	
BC ₃	4	Third backcross population originated from the BC ₂ selected palms crossed to <i>E. guineensis</i> AVROS, Ekona, Nigeria, Calabar, La Me and Yangambi; 4 T selected in 2005	1088
BC ₃ F ₁	4.1	4 T selected selfed	

D = *dura*, T = *tenera*, P = *pisifera*, cycle = selection cycle, see Table 12 for other cycle aspects; OxG = *E. oleifera* x *E. guineensis* F₁ hybrid; BC = backcross; F = filial generation

Escobar and Alvarado (2003) summarized the ‘compact’ population performance in the period from 1978 to 1995, comparing the ‘compact’ *tenera* palm traits with the conventional Deli x AVROS variety. It was noted that FFB and O/B increased from first to third backcrossing cycles along with the increase in trunk height as a result of the ‘compact’ gene dilution, but the shorter leaf

trait was conserved through generations. The F₁ palms derived from the second backcrossing (BC₂F₁) were the best, because they had higher O/B and lower growth when compared to the control variety. However, some families from BC₂F₂ are going to be included in the following selection cycles due to their short leaves and also to keep genetic diversity as high as possible (Table 14).

Table 14. Relative comparison (% of standard cross Deli x AVROS) of ‘compact’ *tenera* populations. Modified from Escobar and Alvarado 2003

Origin	Palms	Cycle	% of Deli x AVROS			
			FFB	TH	LL	O/B
BC ₁	567	2	77.4	54.4	87.2	91.7
BC ₁ F ₁	120	2.1	58.2	83.1	73.4	98.3
BC ₁ F ₂	530	2.2	73.7	100.0	73.0	87.9
BC ₂	2330	3	87.3	67.1	87.2	102.3
BC ₂ F ₁	2329	3.1	84.9	59.3	76.5	108.8
BC ₃	1088	4	92.7	81.4	85.5	106.9

See Table 12 for cycle details; BC = backcross; F = filial generation; cycle = selection cycle; FFB = fresh fruit; TH = trunk height; LL = leaf length; O/B = oil in the bunch

After 1995, efforts focused on populations derived from the first and second backcrosses. The BC₁F₃ and BC₂F₂ populations, separated into *duras* and

teneras, were planted in 2008 as selfings; for this reason the FFB yield in the DxP standard cross is higher comparing to both T selfed groups (Table 15).

Table 15. FFB, oil yield and growth characteristics of *dura* and *tenera* ‘compact’ populations compared to Deli *dura* and one *E. guineensis* DxP variety, planted in 2008

Origin	FFB	THI	LL	M/F	O/M	O/B
Compact BC₁F₃, D self						
Average (21 families, 1589 palms)	120.3	48	411	60.5	42.1	17.4
Standard deviation	18.9	5	59	2.4	2.4	1.3
Compact BC₂F₂, D self						
Average (34 families, 2632 palms)	98.1	53	512	62.2	49.3	20.6
Standard deviation	19.6	7	30	3.1	3.5	3.0
Deli <i>dura</i> self						
Average (87 families, 6536 palms)	110.2	63	617	67.4	44.1	20.6
Standard deviation	22.3	8	47	2.7	2.8	2.1
Compact BC₁F₃, T self						
Average (9 families, 603 palms)	77.7	44	436	81.5	47.2	24.6
Standard deviation	28.3	10	42	1.4	4.0	3.8
Compact BC₂F₂, T self						
Average (11 families, 532 palms)	94.6	62	536	88.1	49.0	25.1
Standard deviation	13.0	10	52	3.1	3.2	1.9
Deli x Nigeria, DxP						
Average (12 families, 488 palms)	194.7	70	673	85.8	49.5	26.9
Standard deviation	23.6	5	23	2.3	1.1	1.7

BC₁F₃ = third filial generation from first backcross; BC₂F₂ second filial generation from second backcross; the number of families refers to different lines and/or the same line planted in different experiments; FFB = fresh fruit bunches, kg/palm/year (4 years of evaluation); THI = trunk height increment estimated at 90 months old, cm; LL = leaf length, 90 months old, cm; M/F = mesocarp in the fruit, %; O/M = oil in the mesocarp, %; O/B = oil in the bunch, %.

Bunch analysis data for *dura* palms in D selfed families and for *tenera* palms in T self and DxP

The weakness in BC₁F₃ was its low percentage of oil in the mesocarp and in the bunch, which were overcome in the BC₂F₂ population. However, the BC₁F₃ *dura* population was superior in fruit yield, and both BC₁F₃ *dura* and *tenera* had shorter leaves when compared with the next generation, BC₂F₂ (Table 15).

Based on the performance of the two maternal populations, it was thought that the development of the new varieties for high planting density should be based mainly on the descendants of the first backcrossing cycle, BC₁, while the highest oil yields will come from the BC₂ derived population. A new selection program of *dura* palms has started within these two populations in order to create the following more productive and uniform generation. Additionally, it is possible to select outstanding *tenera* palms from the different compact populations as *ortets* for

commercial production of high-density clones.

Since the 1980s, ASD has developed a reliable and unique protocol for cloning palms by using *explants* from inflorescence tissue, with almost no significant abnormalities in the field. An advantage of the backcross method and the mentioned protocol is to concentrate the ‘compact’ genes by selecting high yielding *ortets* for cloning (Guzmán 1999, Alvarado et al. 2006).

Field results for the clones are promising. In a semi-commercial plot in Costa Rica (35 hectares), planted in 2004 on highly fertile alluvial soils, one ‘compact’ clone (Tornado) achieved total oil yield (on an oil extraction rate basis) of 10 to 12 tons/hectare after the fifth year of harvest, planted at 190 palms/ha (it has 25% shorter leaves so it performs well at that density in a high solar radiation area). The *E. guineensis* standard

variety (Deli x Nigeria) yielded less than 10 tons/hectare during the same period, planted at 143 plants/hectare, and it showed

strong variation between years. Another 'compact' clone (Sabre, 170 plants/hectare) showed intermediate performance (Fig. 3).

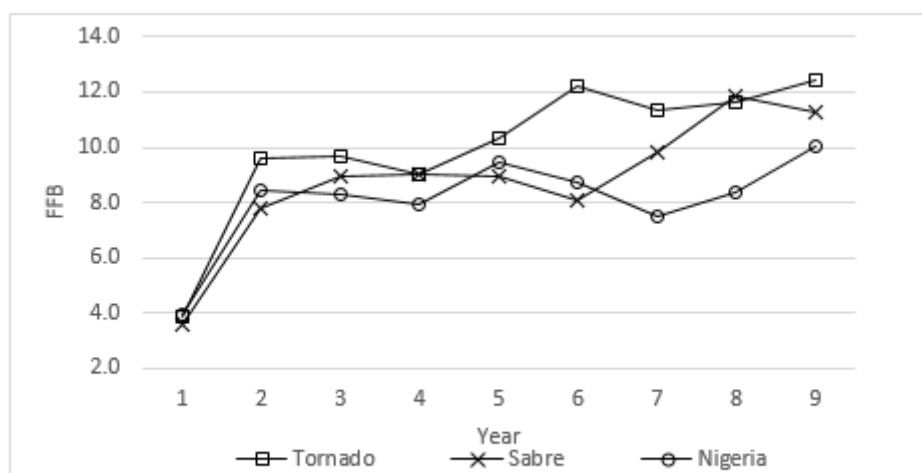


Fig. 3. Oil yield in two compact clones planted in 2004, compared with the *E. guineensis* DxP variety Deli x Nigeria, Costa Rica

Until recently, the ASD's tissue culture program has cloned 'compact' palms from the BC₂ TxT population planted in 1986 and some of their "reclones" from 2005. Now, an improved group of elite palms coming from the 2008 DxP compact progenies and derived from BC₁F₂ and BC₂F₁ is being introduced to the lab. The next selection cycle of high

density *ortets* should produce clones with a good combination of total oil yield and short leaves; some of them could be planted at densities of 160 to 180 palms/ha under most planting conditions and performance on average superior to that of the Tornado reference clone is expected (Table 16).

Table 16. FFB, growth and oil yield in a sample of new 'compact' *tenera ortets* for tissue culture, planted in 2008 and selected in 2016

Origin	Dens.	n	FFB	THI	LL	O/B	Oil
'Compact' BC ₁ F ₃ x Ekona	143	3	204	32	653	25.9	6.6
'Compact' BC ₁ F ₃ x Evolution	160	3	198	28	515	33.8	9.3
'Compact' BC ₁ F ₃ x Nigeria	180	4	176	32	484	26.5	7.3
Deli x 'compact' BC ₂ F ₂	160	6	212	39	544	30.0	8.8
'Compact' BC ₂ F ₂	160	5	212	58	547	32.0	9.4
'Compact' BC ₂ F ₁ x Ghana	170	5	180	42	570	32.6	8.7
'Compact' BC ₂ F ₁ x Nigeria	143	5	244	36	693	34.1	10.3
'Compact' BC ₂ F ₁ x Nigeria	160	24	236	41	629	32.7	10.7
'Compact' BC ₂ F ₁ x Nigeria	170	5	244	46	543	35.3	12.8
2008 ortets average (n = 60)	161		212	39	575	31.4	9.3
Tornado (clon)	180		174	43	557	31.6	8.6
<i>E. guineensis</i> Deli x Nigeria	143		195	70	673	26.9	6.5

Dens = estimated optimum density based on leaf length and light penetration; n = number of *ortets*; FFB = fresh fruit bunches, kg/palm/year, 4 years of records; THI = increase in trunk height, cm/year; LL = leaf length, measured at 84 months old, cm; O/B = oil in the bunch, %; Oil = estimated total oil yield on industry basis

Secondary traits

ASD genetic diversity has been only partially used to develop planting materials; emphasis has been put on populations with 30 or more years of selection and breeding in pursuit of high yielding and uniform varieties, while some origins showing interesting secondary traits have not been the priority in the past 20 years. For this reason, new selection programs have recently started focusing on characteristics such as the *virescens* fruit color, now found in homozygous condition in some T/P Nigerian families from ASD; tolerance to

bud rot, high oleic acid and low dehiscence of fruits as well as low FFA content. The last three of these have been found in particular in the 'compact' families.

In general, *E. guineensis* varieties have iodine values (IV) in the range of 53-55 and they come from *dura* lines whose IV is around 51. In comparison, some 'compact' *dura* families show IV as high as 66, suggesting that it is possible to produce commercial varieties with high unsaturation (IV = 63) and potentially greater olein yield (Fig. 4).

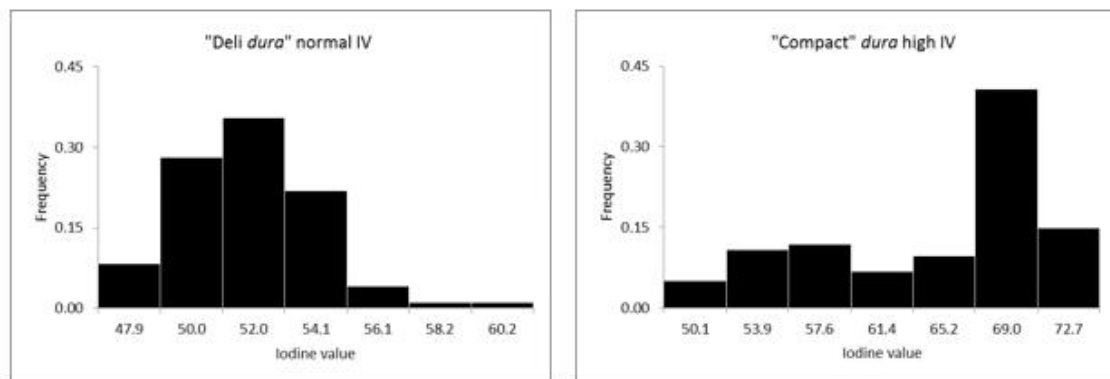


Fig. 4. Iodine value in *Deli dura* ($n = 96$, $IV = 51.0 \pm 0.24$) and "high unsaturated compact" *dura* ($n = 395$, $IV = 62.8 \pm 0.35$) populations.

The low dehiscence condition, another interesting secondary trait, has been found in some DXP families traced back to the 'compact' *dura* population. The Evolution Blue variety is outstanding in this respect; it shows a small fraction of loose fruit percentage 15 days after the first detached fruit, in comparison with a normal

detachment variety like *E. guineensis* Deli x Nigeria (2.6 vs 11% of loose fruits). Additionally, some specific combinations in the 'compact' x Nigeria variety also look promising, with around half the fruit detachment of the normal varieties (5.8 vs 11% of loose fruits) (Figure 5).

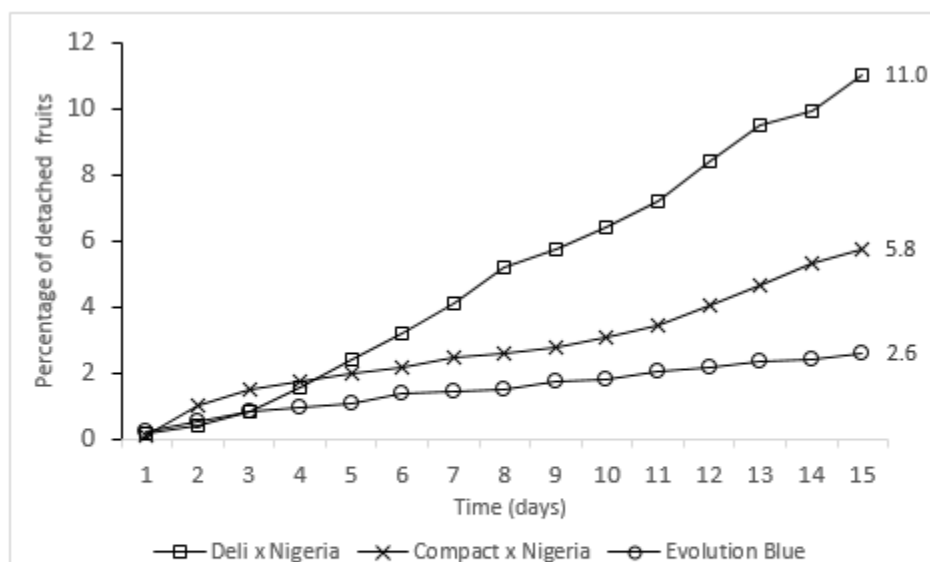


Fig. 5. Percentage of detached fruits (before and after harvest, average of 10 bunches) for a 15 days period, after the first detached fruit was observed in *E. guineensis* Deli x Nigeria, 'compact' x Nigeria and Evolution Blue varieties. Data were taken during the rainy season of 2015.

CONCLUDING REMARKS

In order to develop the best planting materials in the medium and long term, the main strength in any breeding program is to have the greatest genetic diversity possible. This is especially important in a long cycle crop like oil palm, because a lot of time is spent in evaluating the populations to make the initial selection and to combine them for a variety release. During the process, many important genes are lost and some important primary or secondary traits may not be considered.

ASD has worked for around 50 years to consolidate the *E. guineensis* populations and varieties and at the same time define the best strategy for its 'compact' backcrossing program. Along with this process, it has also consolidated the seed production business through a consistent and continuous research program and the strengths of its planting materials. Change in market demand for varieties over time has favored

those with high productivity and certain special traits. ASD seed production for the upcoming years will continue to be directed towards the development of high density varieties with the highest yield potential and with some special secondary traits such as the *virescens* fruit color, high unsaturation, slow dehiscence and disease tolerance.

There is no doubt that the ASD breeding program started and grew thanks to the wide genetic diversity collected all around the American oil palm belt and also through exchange programs with research centers in Africa and Asia and the collection of wild African palms. During the last 25 years, ASD improved materials were sold to breeding programs in Thailand and Indonesia, where some groups are now producing seeds. It is therefore imperative that ASD Costa Rica continue developing advanced populations and varieties for the near future.

REFERENCES

Alvarado A, Guzmán N., Escobar R, Peralta F, Chinchilla C. 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.

- Alvarado A, Escobar R, Peralta F.** 2009. Avances en el mejoramiento genético de la palma de aceite en Centro América. In XVI Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, 22-25 de setiembre, Cartagena de Indias, Colombia. 27 p.
- Alvarado, A, Henry J.** 2015. Evolution Blue: a new oil palm variety with reduced growth and high oil content. ASD Oil Palm Papers, 45, pp 1-8. (Online: <http://www.asd-cr.com/images/OilPalmPapers-45-2015.pdf>)
- Alvarado A, Peralta F.** 2010. Variedades de palma aceitera adaptadas a condiciones adversas. In I Congreso - Feria Internacional de Palma Aceitera, abril, Santo Domingo de los Colorados, Ecuador. 17 p.
- Breure CJ.** 2006. Performance of ASD's oil palm parent material in South Sumatra: The search for elite planting material for Indonesia. ASD Oil Palm Papers, 29, pp 19-30. (Online: http://www.asd-cr.com/images/Breure_OPP_29_2006.pdf)
- Breure CJ.** 2010. Rate of leaf expansion: A criterion for identifying oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) types suitable for planting at high densities. Wageningen J. Life Sciences. 57:141-147.
- Dumortier F, Lord S, Lim TK.** 2007. Asegurando el mejoramiento continuo y la calidad de las semillas Dami. Palmas, Volumen 28, Tomo 1, pp 213 - 226.
- Escobar R.** 1981. Preliminary results of the collection and evaluation of the American oil palm (*Elaeis oleifera*) in Costa Rica. Proc Int Conf on Oil Palm in Agric. in the eighties. Kuala Lumpur, 17-20 June, 1981. The Incorporated Society of Planters, pp 79-97.
- Escobar R, Alvarado A.** 2003. Strategies in production of oil palm compact clones and seeds. In Proc. 2003 Intern. Oil Palm Congress - Agric. Conf., MPOB, Kuala Lumpur, pp 75-90.
- Guzmán N.** 1999. Present status of clonal propagation of oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. in Costa Rica by culture of immature inflorescences. In Seminar worldwide performance of DxP oil palm planting materials, clones and interspecific hybrids (1995, Barranquilla, Colombia). Proceedings. Eds. N Rajainadu; BS Jalani. PORIM, pp. 144-150.
- Martínez O et al.** 2012. Influencia del riego en el comportamiento de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) en la zona de La Concordia -Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Boletín Técnico No. 8, marzo 2012. ANCUPA. 19 p.
- Richardson DL.** 1995. La historia del mejoramiento genético de la palma aceitera en la compañía United Fruit en América (*The History of Oil Palm Breeding in the United Fruit Company*). ASD Oil Palm Papers 11, pp 1 - 22. (Online: http://www.asd-cr.com/images/History_UFCo_palm_OPP_11_1995.pdf)
- Richardson DL, Alvarado A.** 2003. Germoplasma de ASD de origen Nigeria. ASD Oil Palm Papers 26, pp 1-22. (Online: http://www.asd-cr.com/images/Nigeria_English_26_2003.pdf)
- Richardson DL, Chavez, C.** 1986. Oil palm germplasm of Tanzanian origin. Turrialba, 36:493-498.
- Sterling F, Richardson DL, Chavez C.** 1987. Some phenotypic characteristics of the descendants of QB049, an exceptional hybrid of oil palm. In: A. Halim Hassan; P. S. Chew; B. J. Wood and E. Pushparajah, Eds., Proc. Oil Palm/Palm Oil Conf.. Progress and Prospects. PORIM, pp 135-146.
- Sterling F, Richardson DL, Alvarado A, Montoya C, Chaves C.** 1999. Performance of OxG *E. oleifera* Central American and Colombian biotype x *E. guineensis* interspecific hybrids. Proc. of the seminar on worldwide performance of DxP oil palm planting materials. clones and interspecific hybrids. Ed. by Rajanaidu N. and Jalani B.S. Palm Oil Research Institute of Malaysia., pp 114-127

NOTA TÉCNICA

**‘FISURA BASAL DEL TALLO’:
POSIBLEMENTE UN DESORDEN FISIOLÓGICO**

Generalidades

La ubicación geográfica (17° norte) de las plantaciones de palma aceitera en el estado de Chiapas en Méjico, está fuera de la franja normalmente aceptada como óptima para el cultivo de la palma aceitera; lo cual se asocia con condiciones ambientales nuevas, que podrían generar comportamientos inesperados y poco comunes (o inexistentes) en la mayoría de las plantaciones establecidas en los trópicos del mundo.

En general, los suelos en que se ha establecido la palma aceitera en la zona de Palenque, tienen características físicas buenas y no hay impedimentos importantes para construir una red de drenaje que alivie los efectos de la precipitación concentrada en unos pocos meses. La oferta lumínica es uno de los factores más importantes que compensan otros que podrían deprimir la productividad, tales como un posible déficit hídrico durante algunos meses. Durante varios meses del año el sol brilla 10 o más horas y esta oferta lumínica puede explicar el desarrollo de amplias reservas energéticas en los troncos. El ‘exceso’ de luz, acompañado por grandes variaciones en la temperatura (Anexo), podría también ocasionar efectos fisiológicos indeseables, como por ejemplo alteraciones importantes en la tasa de transpiración e impedir la toma y transporte adecuados de algunos nutrimentos como boro y calcio.

La ‘fisura basal del bulbo’

Este es el nombre sugerido para el desorden que apareció en un sitio particular en una plantación joven en el área de Palenque. La revisión de la literatura sobre el cultivo no permitió encontrar referencias específicas sobre otra condición similar en ningún otro sitio. No obstante, si se conoce de síntomas similares en otros cultivos, que tienen como denominador común una alta sensibilidad a las deficiencias transitorias de boro (y posiblemente calcio). La palma aceitera puede ser parte de este grupo de especies.

Síntomas. El problema apareció en un grupo de palmas de aproximadamente tres años de edad, donde hubo varios problemas agronómicos durante la siembra y mantenimiento inicial de la plantación. Aunque las observaciones de campo corresponden a un periodo hacia el final de la época ‘seca’, no se observaron síntomas claros de deficiencia hídrica en las palmas y en la vegetación del piso había incluso algunas especies características de suelos húmedos, particularmente de gramíneas. Los síntomas clásicos de deficiencia de boro (deformaciones diversas en la lámina de las

hojas más jóvenes) se observaban en la mayoría de las palmas.

Una primera impresión de las plantas afectadas recuerda los síntomas de una ‘*pudrición basal húmeda*’ (asociadas con bacterias que penetran por heridas o en raíces afectadas por baja concentración de oxígeno en el suelo) o bien de ‘*marchitez sorpresiva*’ (asociada con flagelados en el floema). Sin embargo, la ausencia de otros síntomas, como la pudrición acuosa en la base del tallo, o la muerte masiva del sistema radical, descartan estas enfermedades. Tampoco había indicio alguno de que se tratase de ‘marchitez por *Fusarium*’.

La secuencia de los síntomas aéreos fue una clorosis inicial de las hojas de más edad y luego un secamiento de amplias secciones de la hoja. Los síntomas progresaban hacia hojas más jóvenes. Como un aparente síntoma secundario, las hojas flechas se secaban como producto del desarrollo de una pudrición más o menos húmeda (con tonos rojizo-naranja internamente en los peciolos) que avanzaba hacia el meristemo (Fig. 1).



Fig. 1. **Izquierda.** Vista general de una planta afectada por 'fisura basal del bulbo'. Los síntomas externos son similares a una '*podrición basal húmeda*', con secamiento de hojas que progresa hacia las más jóvenes. **Derecha.** Un síntoma secundario parece ser el desarrollo de una pudrición de flechas que avanza hacia el meristemo. El color intenso naranja-rojizo es muy característico.

El sistema radical fino había sido destruido y no había emisión de nuevas raíces de este tipo, pero la mayoría de las raíces primarias principalmente, no parecían estar afectadas (Fig. 2). No se encontró evidencia de pudrición alguna que avanzase desde el sistema radical fino hacia el bulbo a través de las raíces más gruesas, aunque esta es una posibilidad.

Los síntomas más particulares solo pudieron ser observados hasta que se cortó el tallo en su base (bulbo), en donde se encontraron unas cavidades o grietas que podían alcanzar varios centímetros de largo, ancho y profundidad (Fig. 3). En las paredes de estas grietas no se observaba ningún color, olor o crecimiento que pudiese ser asociado con

algún microorganismo (bacteria o fungoso). La consistencia del tejido en los alrededores de las fisuras era esponjosa y con el tiempo, parecía que grandes porciones de estos tejidos colapsaban y tomaban una coloración café oscuro y textura corchosa. Aparentemente, no había ninguna conexión de estas fisuras con el ambiente exterior.

Las fisuras son diferentes, en su distribución y ubicación, de la llamada '*estrella*' que se suele encontrar en la base (zona de inserción de raíces) de palmas adultas. No obstante, son similares a las observadas internamente en el peciolo de racimos aparentemente sanos, en áreas con alta incidencia de la '*podrición apical del racimo*'.



Fig. 2. Sistema radical grueso de una palma con '*fisura basal del tallo*' que muestra poco daño, aunque el sistema fino si está deteriorado.



Fig. 3. Grietas o fisuras en la base del bulbo sin aparente conexión con el exterior. Ese síntoma le ha dado el nombre de '*fisura basal del tallo*' a esa condición. El color normal del tejido del tallo es blanco crema. El color oscuro que aparece en la foto fue causado por suciedad en la hoja de la motosierra.

Posibles causas (y formulación de dos hipótesis)

No se encontraron signos externos o internos que indiquen que la '*fisura basal del tallo*' pueda tener un origen patológico. La presencia de las grietas o fisuras internas en la base del tallo es una sintomatología que apunta hacia un trastorno fisiológico con un fuerte componente nutricional, o bien a un cambio brusco en la disponibilidad de agua. Ambas situaciones podrían estar relacionadas. En el primer caso, el principal elemento que podría estar involucrado es el boro y en el segundo, se debe considerar las temperaturas muy altas y lluvias intensas esporádicas durante la estación seca en la región.

El caso del boro se sustenta en las siguientes consideraciones:

1. Una función primordial del boro es en el transporte de azúcares en la planta. Muchos de los síntomas (deformaciones del tejido) asociados con la deficiencia de boro, parecen ser consecuencias de problemas para poder cumplir con esta función.
2. La presencia de síntomas similares a grietas internas y otras deformidades en varios cultivos (brócoli, coliflor, pera etc.) está asociados con la deficiencia de boro. La presencia de espacios huecos es característica en órganos de reserva de carbohidratos (y el tronco de la

palma es uno de tales órganos). Los azúcares contenidos en el tronco de la palma están entre los más difíciles de movilizar.

3. Condiciones climáticas que favorecen la pérdida de boro en el suelo (altas precipitaciones, suelos livianos) y su toma y transporte por la planta (altas y bajas temperaturas y alta intensidad lumínica) son características en la región. Ciertas combinaciones de estos factores no ocurren en la mayoría de las plantaciones en el mundo. Por ejemplo, temperaturas e intensidad lumínica inusualmente altas en la época de menos lluvias, lo cual puede ser interrumpido por lluvias ocasionales (a veces intensas).
4. La presencia de síntomas generalizados de boro en la mayoría de las plantas es parte normal del paisaje de estas plantaciones.
5. La variación en severidad (y tipo de síntomas) entre plantas indican diferencias genéticas importantes entre ellas en su respuesta a la deficiencia de B. Plantas contiguas pueden mostrar síntomas y severidad muy diferente (Fig. 3 y 4).



Fig. 4. Deficiencia de boro: ejemplos de la gama de síntomas (y severidad) en plantas cercanas a otras que presentaban los síntomas de la fisura en el tallo. La diferencia en severidad puede ser indicativo de diferencias genéticas en la respuesta a la carencia de ese elemento. **Izquierda:** foliolos con forma de gancho, **centro:** 'espina de pescado', **derecha:** deformaciones severas y hojas jóvenes acortadas. Esta última planta está al lado de otras con síntomas externos leves.

Con base en las observaciones de la disección algunas plantas con los síntomas (de un total de 10 afectadas) y a la información expuesta, se considera que los síntomas descritos como '*fisura basal del tallo*' no corresponden a una enfermedad, sino más bien a un trastorno fisiológico causado posiblemente por una respuesta particular a las deficiencias severas *transitorias* de boro originadas por la

combinación de ciertas características ambientales de la región. Es posible que cambios bruscos en el contenido de humedad del tronco también puedan conducir a este tipo de síntomas (fisuras) de manera análoga a cuando un órgano como el rábano común muestra fisuras, aparentemente como respuesta a la toma de grandes cantidades de agua luego de un periodo relativamente seco.

Anexo. Datos meteorológicos del año 2014. La información de años anteriores no está completa.

Month	Rad. W/m2	Max °C	Min °C	Ave °C	RH %	Rain mm	ETo	Σ MJ/m2	μmols/m/2	U. Heat
Jan	270.01	30.4	12.6	20.8	90.9	178.2	2.0	342.7	511.7	236.3
Feb	403.30	32.1	17.4	24.0	86.3	50.8	3.4	481.7	764.3	305.4
Mar	429.27	34.9	16.7	25.4	83.1	107.9	3.8	522.8	813.5	346.7
Apr	446.95	36.5	17.9	26.8	79.0	247.7	4.3	614.7	847.0	404.4
May	388.57	34.8	19.2	26.4	84.4	121.3	3.7	564.9	736.3	409.2
Jun	400.01	35.1	21.7	27.1	84.2	194.3	4.0	577.1	758.0	420.2
Jul	461.05	35.3	22.1	27.2	81.2	153.6	4.6	691.0	873.7	440.7
Aug	451.94	36.3	22.1	27.5	78.9	90.4	4.5	660.8	856.4	456.0
Sep	389.08	34.7	22.0	26.4	86.4	462.4	3.4	519.0	737.3	410.8
Oct	341.89	34.1	18.4	25.6	84.5	299.3	3.0	454.5	647.9	391.0
Nov	319.85	34.3	17.9	23.4	84.7	234.6	2.6	397.7	606.1	310.0
Dec	297.27	30.5	16.8	22.7	82.3	54.0	2.5	377.6	563.3	302.9

TECHNICAL NOTE

**‘BASAL STEM CRACKING’:
A POSSIBLE PHYSIOLOGICAL DISORDER**

Generalities

The geographic location (17° North) of oil palm plantations in the state of Chiapas in Mexico, is outside the belt normally accepted as optimum for oil palm cultivation; which is associated with new environmental conditions that could generate unexpected and uncommon (or non-existent) behaviors in most of the plantations established in the world's tropics.

In general, the soils in which oil palm has been established in the Palenque region have good physical characteristics and there are no significant impediments to building a drainage network that would alleviate the effects of precipitation concentrated in a few months. Sunlight conditions are one of the most important factors that offset others which could depress productivity, such as a possible water deficit during some months. During several months of the year the sun shines 10 or more hours and this can explain the development of extensive energy reserves in the trunks. The ‘excess’ sunlight, accompanied by large variations in temperature (Annex), could also cause undesirable physiological effects, such as important alterations in the transpiration rate and impeding the uptake and proper transport of some nutrients such as boron and calcium.

‘Basal bulb cracking’

This is the name suggested by the disorder that appeared in a particular site in a young plantation in the Palenque area. A review of the literature about the crop did not yield specific references about another similar condition at any other site. However, similar symptoms are known in other crops, which have as common denominator a high sensitivity to transitory boron deficiencies (and possibly calcium). The oil palm could be part of this group of species.

Symptoms. The problem appeared in a group of palms of approximately three years of age, where there were several agronomic problems during the planting and initial maintenance of the plantation. Although the field observations correspond to a period toward the end of the ‘dry’ season, no clear symptoms of water deficiency were observed in the palms and even in the ground vegetation there were some species characteristic of wet soils, particularly grasses. The classic symptoms of boron deficiency (diverse deformations in the

youngest leaf blades) were seen in most of the palms.

A first impression of the affected plants suggests symptoms of a ‘basal wet rot’ (associated with bacteria that penetrate through wounds or in roots affected by a low concentration of oxygen in the soil) or even ‘*sudden wilt*’ (associated with flagellates in the phloem). However, the absence of other symptoms, such as a watery rot at the base of the stem, or the extensive rot of the root system, rules out these diseases. Neither was there any indication that this could be ‘*Fusarium wilt*’.

The sequence of the aerial symptoms was an initial chlorosis of the oldest leaves and then a drying of extensive sections of the leaf. The symptoms progressed to the youngest leaves. As an apparent secondary symptom, the spear leaves dried out as an outcome of the development of a more or less wet rot (with reddish-orange tones inside the petioles) that advanced toward the meristem (Fig. 1).



Fig. 1. **Left.** General view of a plant affected by 'basal stem cracking'. The external symptoms are similar to a 'basal wet rot', with drying of the leaves that progresses to the youngest leaves. **Right.** A secondary symptom appears to be the development of a spear rot that progresses to the meristem. The intense reddish-orange color is very characteristic.

The fine root system had been destroyed and there was no emission of new roots of this type, but most of the primary roots did not appear to be affected (Fig. 2). No evidence of any rot was found that was advancing from the fine root system to the bulb through the thickest roots.

The most particular symptoms could only be seen by cutting the stem at its base (bulb), where some internal cavities or cracks can be found that can reach several centimeters in length, width and depth (Fig. 3). In the walls of these fissures, no color, odor or growth was seen that could be associated with some microorganism (bacteria or fungus). The

consistency of the tissue around the fissures was spongy and over time, it appeared that large portions of these tissues would collapse and take on a dark brown coloration and corky texture. Apparently, there was no connection between these fissures and the external environment.

The fissures are different in distribution and location from the so-called '*star*', which tends to be found at the base (root insertion zone) of adult palms. However, they are similar to the ones seen inside the petiole of apparently healthy bunches, in areas with a high incidence of '*apical bunch rot*'.



Fig. 2. Thick root system of a palm with 'basal stem cracking' showing little damage, although the fine root stem is deteriorated.



Fig. 3. Cracks or fissures at the base of the bulb with no apparent exterior connection. This symptom has been given the name '*basal stem cracking*' for this condition. The normal color of the stem tissue is creamy white. The dark color that appears in the photo was caused by dirt on the chainsaw blade.

Possible causes (and formulation of two hypotheses)

No external or internal signs were found that indicate that '*basal stem cracking*' could have a pathological origin. The presence of cracks or fissures inside the base of the stem are symptoms that point to a physiological disorder with a strong nutritional component, or even a brusque change in water availability. Both situations could be related. In the first case, the main element that could be involved is boron and in the second, very high temperatures and sporadic intense rains during the dry season in the region should be considered.

The case of boron is supported by the following considerations:

1. A basic function of boron is in the transport of sugars in the plant. Many of the symptoms (stem deformations) associated with boron deficiency appear to be consequences of problems with carrying out this function.
2. The presence of symptoms similar to internal fissures and other deformities in several crops (broccoli, cauliflower, pear, etc.) are associated with a boron deficiency. The presence of hollow spaces is characteristic in organs for

carbohydrate reserves (and the trunk of the palm is one of these organs). The sugars contained in the trunk of the palm are among the most difficult to mobilize.

3. Weather conditions that favor the loss of boron in the soil (high precipitation, light soils) and its uptake and transport by the plant (high and low temperatures and high sunlight intensity) are characteristic in the region. Certain combinations of these factors do not occur in most of the world's plantations. For example, temperatures and unusually high sunlight intensity in the less rainy season, which could be interrupted by occasional (and sometimes intense) rains.
4. The presence of generalized boron symptoms in most of the plants is a normal part of the landscape of these plantations.

The variation in severity (and type of symptoms) among plants indicates significant genetic differences among them in their response to boron deficiency. Contiguous plants can show very different symptoms and severity (Figs. 3 and 4).



Fig. 4. Boron deficiency: examples of the range of symptoms (and severity) in plants near others that showed stem internal cracking symptoms. The difference in severity can be indicative of genetic differences in the response to the lack of this element. **Left:** hook-shaped leaflets, **center:** 'fish bone', **right:** severe deformations and shortened young leaves. This last plant is beside others with slight external symptoms.

Based on observations from the dissection of some plants with symptoms (of a total of 10 affected) and the information given, the symptoms described as '*basal stem cracking*' do not appear to correspond to a disease, but rather a physiological ailment possibly caused by a particular response to severe *transitory* deficiencies of boron originating from the combination of certain

environmental characteristics of the region. It is possible that brusque changes in the moisture content of the trunk could also lead to these kinds of symptoms (fissures) in a way that is analogous to when an organ like common radish shows fissures, apparently in response to the uptake of large amounts of water after a relative dry period.

Annex. Meteorological data for 2014 at the study site. The information for previous years is not complete.

Month	Rad. W/m2	Max °C	Min °C	Ave °C	RH %	Rain mm	ETo	Σ MJ/m2	μmols/m/2	U. Heat
Jan	270.01	30.4	12.6	20.8	90.9	178.2	2.0	342.7	511.7	236.3
Feb	403.30	32.1	17.4	24.0	86.3	50.8	3.4	481.7	764.3	305.4
Mar	429.27	34.9	16.7	25.4	83.1	107.9	3.8	522.8	813.5	346.7
Apr	446.95	36.5	17.9	26.8	79.0	247.7	4.3	614.7	847.0	404.4
May	388.57	34.8	19.2	26.4	84.4	121.3	3.7	564.9	736.3	409.2
Jun	400.01	35.1	21.7	27.1	84.2	194.3	4.0	577.1	758.0	420.2
Jul	461.05	35.3	22.1	27.2	81.2	153.6	4.6	691.0	873.7	440.7
Aug	451.94	36.3	22.1	27.5	78.9	90.4	4.5	660.8	856.4	456.0
Sep	389.08	34.7	22.0	26.4	86.4	462.4	3.4	519.0	737.3	410.8
Oct	341.89	34.1	18.4	25.6	84.5	299.3	3.0	454.5	647.9	391.0
Nov	319.85	34.3	17.9	23.4	84.7	234.6	2.6	397.7	606.1	310.0
Dec	297.27	30.5	16.8	22.7	82.3	54.0	2.5	377.6	563.3	302.9