

## Calibración de un medidor de capacitancia para estimar la humedad de la almendra de palma aceitera *Elaeis guineensis*

Ramiro Alizaga<sup>1</sup>; Manuel E. Zeledón; Ronald Jiménez

### Resumen

Se elaboraron tablas de calibración para convertir las lecturas del medidor de humedad Motomco modelo 919 en valores de humedad de la almendra de palma aceitera (*Elaeis guineensis*). Se pudo determinar que una calibración de 53 en el aparato y una muestra de 250 g sin endocarpo (cuesco), cuyo tamaño de grano fuera definido por las cribas #24 y #30, con perforaciones circulares, permitían su adecuado funcionamiento con muestras cuyas humedades estaban en el ámbito de 4 a 15%. Se encontró que se requiere ajustar el valor de humedad obtenido con el aparato, según sea la temperatura de la muestra. El factor de corrección calculado fue de +0,1% por cada grado Celsius (centígrado) por abajo de 25°C, y de -0,1% si es mayor. Se elaboró una única tabla de conversión, pues el error promedio de los estimados de humedad del Motomco con respecto al horno fue bajo (desviación estándar 0,20%) para almendra producida en las regiones de Coto y Palo Seco (regiones donde predomina el material tipo *tenera*), y bajo (desviación estándar 0,28%) con almendra producida en la región de Naranjo (donde predominan los materiales tipo *dura*).

### Introducción

Para el adecuado seguimiento y control de las operaciones de secado y almacenamiento en productos como cereales, leguminosas de grano y otros, se considera indispensable contar con aparatos que permitan obtener una rápida estimación de su humedad. Las aplicaciones se extienden al comercio, dado que normalmente su exactitud es aceptable para la mayoría de las transacciones comerciales, incluso de aquéllas que involucran grandes volúmenes.

En los últimos años, la toma de decisiones relacionadas con el almacenamiento y procesamiento de productos agrícolas granulares, se ha basado mayormente en la información que proveen estos medidores de humedad rápidos. No existe ningún otro principio en que se basen estos aparatos, que combine la exactitud, la precisión y el bajo costo, en la forma como lo permite la capacitancia. El Motomco es uno de los aparatos que utilizan esta propiedad dieléctrica de los materiales, y puede, en cuestión de minutos, ofrecer una estimación muy aproximada de la humedad de un producto, lo que facilita grandemente las labores de secado y otras más.

Para la utilización del Motomco o de cualquier otro aparato de este tipo, se requiere de una tabla de calibración que permita convertir los datos de capacitancia en valores de humedad. Sin

---

<sup>1</sup> CIGRAS, Facultad de Agronomía, Univ. de Costa Rica, San José, Costa Rica. Los autores son beneficiarios del programa del CONICIT de Costa Rica

embargo, cada producto necesita de una tabla propia, pues las propiedades dieléctricas de los diferentes materiales son muy distintas. Estas diferencias se presentan entre granos de cultivares de una misma especie vegetal como lo determinó Alizaga (1981) y lo corroboró Soto (1990).

El Motomco 919 es utilizado en muchos países debido a su versatilidad, prueba de ello es que el manual de operación del aparato (versión de mayo de 1977) presenta una lista de 106 tablas de conversión diferentes. Sin embargo, según la casa Dickey-John (Springer 1991), fabricante de estos equipos, aún no se ha confeccionado una tabla de conversión para almendras de palma aceitera. Ante esta situación, y dado que se consideró importante y urgente para la industria nacional de la palma aceitera el contar con este instrumento de análisis, se procedió a hacer la tabla de conversión correspondiente.

## **Materiales y métodos**

El estudio se realizó en los laboratorios del Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica. El material experimental, almendra de palma aceitera, fue colectado en tres plantas extractoras de aceite propiedad de la compañía Palma Tica, situadas en Coto, Naranjo y Palo Seco, en el Pacífico Sur la primera y en el Pacífico Central de Costa Rica las dos últimas.

### **Pruebas preliminares**

Debido a que este trabajo representó el primer intento para estimar la humedad de la almendra de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) con el medidor de humedad Motomco 919, se calibró previamente el aparato, se determinó el ámbito de contenidos de humedad de la almendra que podía ser evaluado y el peso de la muestra de análisis. Se limpió un lote de almendra húmeda (remoción de los fragmentos de endocarpio o cuesco y otras impurezas), se prepararon varios lotes de 5 kg de almendra limpia que se secaron en un cuarto con aire acondicionado (aproximadamente 25°C y 50% H.R.). Se tomaron muestras cada 12 horas y se registraron las lecturas respectivas en el Motomco; esto se hizo con muestras de 200 y 250 g, hasta que las lecturas se mantuvieran constantes (almendra seca).

Una vez determinado el peso de la almendra requerida y otros aspectos de calibración del medidor, se evaluó el efecto de la composición física de la muestra sobre las lecturas del Motomco. Para uniformizar el tamaño de las almendras enteras y quebradas se seleccionaron aquellas que pasaran por una criba de perforaciones circulares de 1,2 cm de diámetro (#30) pero que fueran retenidas en otra con perforaciones de 0,95 cm de diámetro (#24). Las almendras retenidas por la criba #30 tienden a impedir el llenado de la celda del medidor de humedad, dado que por su gran tamaño se atascan con facilidad. Seguidamente se hicieron lecturas con el Motomco en muestras con la siguiente composición física:

- almendra en su condición original (con impurezas o "sucias" y sin cribar)
- almendra "sucias" pero cribada
- almendra "limpia" (sin fragmentos de cuesco) y cribada
- almendra entera y limpia
- almendra quebrada y limpia

## **Elaboración de la tabla de conversión**

Para elaborar la tabla de conversión de lecturas del Motomco a porcentaje de humedad de la almendra, se prepararon muestras de 500 g de almendra limpia y cribada y se les ajustó su contenido de humedad a intervalos aproximados de 1%, con la finalidad de obtener lecturas del Motomco en todo su ámbito de medición. Se usaron lotes de almendra de humedad conocida provenientes de las tres plantas extractoras y se tomaron muestras conforme perdían peso durante el secado artificial. En total se prepararon 233 muestras.

Las muestras se almacenaron durante 10 días a 25°C, en bolsas de polietileno cerradas herméticamente con el fin de obtener una distribución uniforme de la humedad de las almendras. Posteriormente se hicieron tres lecturas en el Motomco a cada muestra, y se determinó el porcentaje de humedad mediante el método del horno; para lo cual se utilizó un horno de reciclo forzado de aire, graduado a  $120 \pm 1^\circ\text{C}$ , en el que se colocaron, tres sub-muestras de aproximadamente 60g de almendra sin triturar en cajas de aluminio, durante 12 horas. El contenido de humedad se expresó en base húmeda (b.h.). Este procedimiento para la determinación de humedad es el empleado en los laboratorios de las plantas extractoras de la Compañía Palma Tica.

Con las lecturas promedio del Motomco 919 y los porcentajes de humedad obtenidos con el horno para cada muestra, se calculó una ecuación de regresión lineal y otra cuadrática para la almendra de las tres plantas extractoras, y se seleccionó aquella que presentó el mejor ajuste a los datos reales. Los criterios de selección fueron el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el valor de la prueba de significancia de Fisher (F) y la distribución de los errores. Finalmente, se procedió a calcular la ecuación de regresión con mejor ajuste para todo el grupo de 233 datos experimentales, y a la elaboración de una tabla de conversión única para la almendra de las tres localidades. Los criterios empleados en la selección de la ecuación correspondiente fueron los mismos utilizados en los casos anteriores.

## **Corrección por temperatura**

Para determinar el efecto de la temperatura de la muestra sobre la humedad estimada con el Motomco, se usaron siete grupos de 10 muestras; donde cada muestra tenía un contenido de humedad diferente. Cada grupo se colocó a una temperatura diferente (7,15,20,25,30,35 y 40 °C). Una vez que las muestras alcanzaron el equilibrio térmico se les determinó la humedad según la tabla de conversión elaborada y se registró la temperatura de la muestra al momento del análisis. Para evitar cambios en su humedad, las muestras permanecieron en todo momento en bolsas de polietileno herméticamente cerradas, excepto durante la toma de la lectura con el Motomco.

Se calculó un coeficiente que indica el cambio en la humedad de una muestra por cada grado centígrado de variación en su temperatura, en relación con la respectiva humedad estimada a 25°C (temperatura de referencia). Finalmente, para estimar el factor de corrección por cada grado centígrado, se procedió a calcular el promedio de los valores absolutos de los coeficientes obtenidos.

## Resultados y discusión

### Tamaño de la muestra y ámbito de medición

En las pruebas preliminares se encontró que con una muestra de 250 g y una calibración realizada con la lectura del aparato fijada en 53, se podían obtener valores de capacitancia para almendras cuyas humedades variaban entre 4 y 15%, aproximadamente. Este ámbito de humedades fue considerado apropiado para efectos prácticos, pues la almendra extraída del fruto y sin endocarpio, ingresa a las secadoras con un contenido de humedad cercano al 20%, y normalmente sale de ellas con 4% o más, salvo que por error se realice un sobre-secado; la estimación de humedades mayores de 15% tiene poca importancia práctica pues rara vez se obtienen lotes con humedades tan altas a la salida de las secadoras.

En condiciones normales, tablas de conversión que cubran ese ámbito de humedades (4 a 15%) permitirían un adecuado control del proceso de secado. También, las humedades de la almendra consideradas apropiadas para un almacenamiento seguro (de 6,0 a 7,5% (Jiménez et al. 1994)), quedarían comprendidas dentro de este mismo ámbito.

En lo que respecta al efecto de la composición física de la muestra, se encontró que si la determinación de la humedad se hace con almendras en su condición original, es decir, sucias y sin clasificar por tamaño, se obtienen lecturas del Motomco menores que las obtenidas con almendras clasificadas y limpias (Cuadro 1). Esto se atribuyó a que los fragmentos pequeños de almendra y de cuesco y otras impurezas afectan la densidad de la muestra en la celda del aparato.

**Cuadro 1.** Efecto de la composición física de las muestras de almendra con diferente humedad sobre las lecturas del Motomco 919

Composición de la muestra de almendra	Lectura del Motomco		
	7%	9%	11%
Con impurezas y sin cribar	21.7	34.3	54.6
Con impurezas y cribada	23.3	35.2	57.2
Limpia cribada	24.3	36.7	59.4
Limpia y cribada(almendra entera)	25	38	60.7
Limpia y cribada (almendra quebrada)	21.5	34.4	55.9

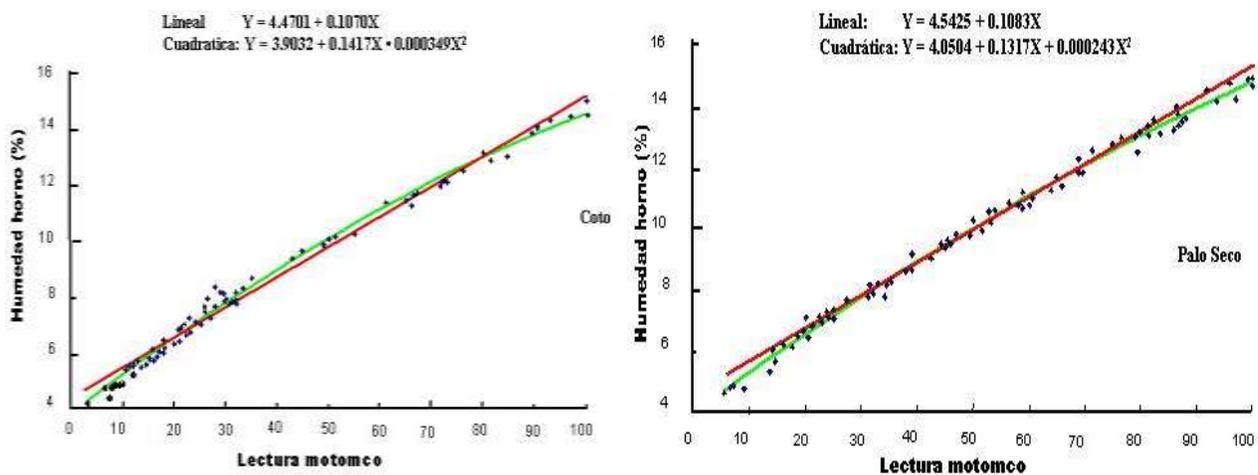
Lecturas (%) indican la humedad aproximada de las muestras de almendra

En este mismo sentido, se comprobó que al determinar la humedad de los fragmentos de almendras separados de cada muestra original, se obtenían siempre lecturas del Motomco menores que las correspondientes para las almendras enteras provenientes de la misma muestra. Esto, probablemente, debido a que los fragmentos de almendra se secan más rápidamente que las almendras enteras, por presentar aquellas menor grosor y proporcionalmente una mayor área de contacto con el aire desecante.

Estos resultados preliminares permitieron concluir que muestras de 250 g limpias y cribadas, pueden utilizarse con el Motomco 919, pues el tamaño de las almendras permite el funcionamiento normal del aparato sin problemas de acomodo del material en la celda. Además, dado que el aparato demostró tener una sensibilidad alta a pequeños cambios en la composición física y en la humedad de las muestras, es recomendable tomar las precauciones del caso para minimizar las variaciones de ese tipo en la muestra analizada. Al respecto, Hurburgh (1987), al estimar el contenido de humedad de la soja con tres medidores diferentes, encontró que 89 % de la varianza total se debió a variaciones dieléctricas entre las muestras, mientras que sólo 3,3 % de ésta se relacionó con la precisión de los medidores, entre ellos el Motomco 919.

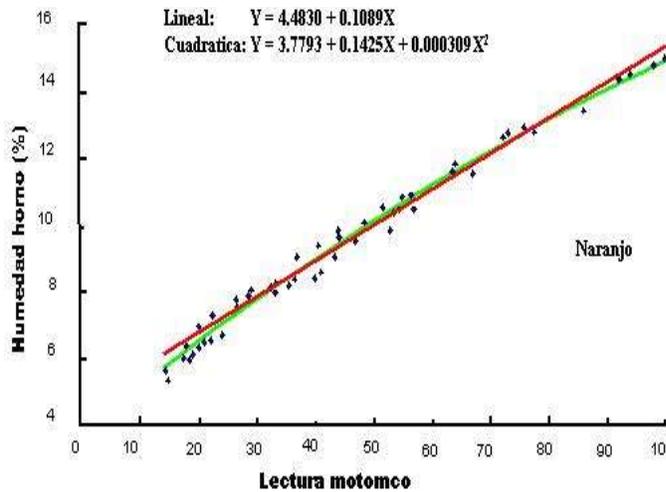
## Modelos de regresión

Las ecuaciones cuadráticas fueron las que mejor se ajustaron a la distribución de los puntos definidos por los pares ordenados (lectura del Motomco, humedad por el horno) (Figs. 1, 2). Para las tres localidades se obtuvieron ecuaciones lineales y cuadráticas con un  $R^2$  de 0,99; sin embargo, las primeras presentaron coeficientes de variación mayores. Estos valores altos de  $R^2$  indican que conforme aumenta la humedad de las almendras, el Motomco registra lecturas mayores y estrechamente correlacionadas con los datos de humedad por el horno.

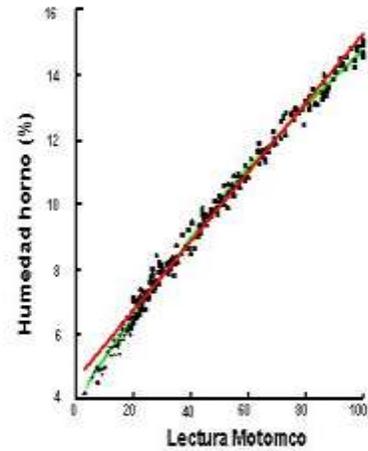


**Fig. 1.** Diagrama de dispersión y curvas de regresión lineal y cuadrática para almendras procedentes de las plantas extractoras de Coto (Costa Pacífico sur) y Palo Seco, Quepos (Pacífico central). Costa Rica

Desde un punto de vista práctico, estos resultados evidencian que el medidor Motomco 919 tiene una sensibilidad muy alta para detectar efectivamente cambios pequeños en la humedad de la almendra de palma aceitera. Además el aparato muestra una gran exactitud que se relaciona con el hecho de que la desviación estándar de las diferencias entre los datos obtenidos mediante la ecuación cuadrática y los datos del horno, fueron muy pequeñas en las tres plantas extractoras, a saber, 0,23 % (b.h.) en Coto, 0,28 % (b.h.) en Naranjo y 0,20 % (b.h.) en Palo Seco. Estos valores son incluso menores que los obtenidos por Zeledón y Alizaga (1992) en arroz seco (0,42% b.h.) y por Hurburgh et al. (1987) en maíz (0,50% b.h.).



**Fig. 2.** Diagrama de dispersión y curvas de regresión lineal y cuadrática para almendras procedentes de la planta extractora de Naranjo (Quepos).



**Fig. 3.** Diagrama de dispersión y curvas de regresión lineal y cuadrática para la totalidad de las almendras procedentes de tres plantas extractoras de aceite.

### Ecuación general

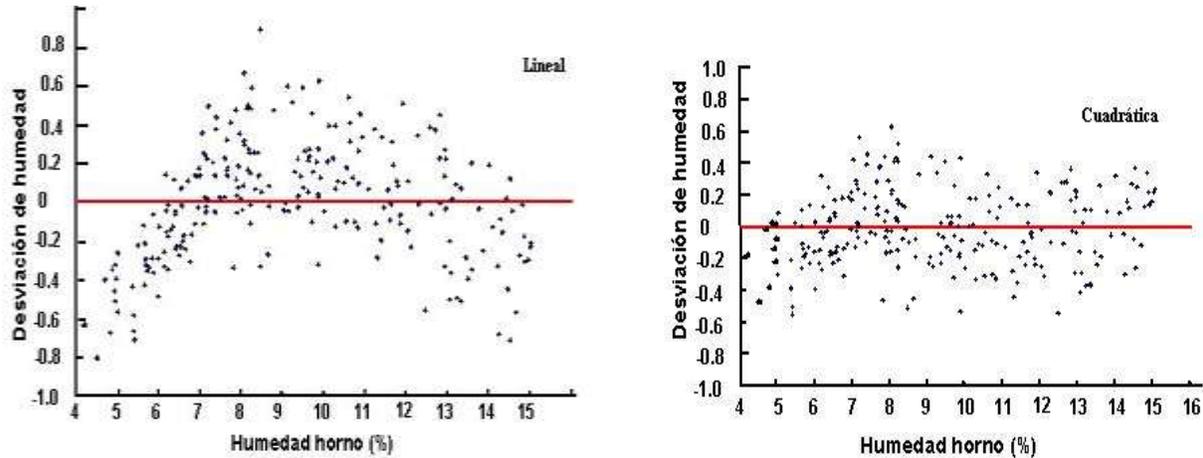
Debido a la gran similitud entre las ecuaciones de las tres localidades (Figs. 1,2), se determinó una ecuación general y se evaluó su desempeño. Como se observa en la Fig. 3, al igual que en los casos particulares, la dispersión fue también muy pequeña y siguió una orientación muy definida. Además, tanto la ecuación lineal como la cuadrática presentan valores de  $R^2$  iguales (0,99), por lo que ambas permiten estimar el contenido de humedad de la almendra con exactitud razonable. No obstante, de nuevo la ecuación cuadrática presentó un coeficiente de variación menor.

La ecuación de regresión lineal presentó un valor de F más alto que su homóloga de segundo grado. En teoría, esto implica que el componente cuadrático no contribuye significativamente al modelo. A pesar de esto, se decidió elaborar la tabla de conversión con la ecuación cuadrática, pues las desviaciones promedio (lectura del Motomco vs horno) son menores (desviación estándar de 0,24% para la cuadrática y 0,30% para la lineal). Con la ecuación cuadrática, 60% de las humedades estimadas tienen una desviación de 0,20% de humedad con respecto al horno, 30% entre 0,21% y 0,40% y 10% mayores que 0,40%. Además, los errores obtenidos con la ecuación lineal presentan un patrón definido y sistemático, en tanto que con la ecuación de segundo orden, la distribución de éstos es aleatoria (Fig. 4).

### Tabla de conversión

A partir de la ecuación cuadrática general, se confeccionó una tabla de conversión única (Cuadro 2). Existen diferencias tanto en la composición física como genética de los materiales evaluados. Por ejemplo, la almendra de Naranjo presenta normalmente una alta proporción de fragmentos pequeños (20% o más) que pueden hacer que el Motomco 919 indique valores de humedad menores. En Naranjo predominaban los materiales de tipo *dura*, mientras que en Coto y Palo Seco predominaban los de tipo *tenera*. A pesar de que Hurburgh et al. (1987) encontraron que dos de las principales fuentes de variación al estimar la humedad en maíz con tres medidores

eléctricos fueron el año de cosecha y las características intrínsecas de las muestras, en el presente estudio la tabla de conversión elaborada para palma se ajustó bien al material procedente de las tres localidades. Esto puede deberse a que las propiedades dieléctricas de los materiales usados en este experimento son similares, y no son afectadas por las variaciones en la composición física y genética de los mismos.



**Fig.4.** Desviación entre la humedad de la almendra obtenida con el horno y las respectivas humedades estimadas mediante las ecuaciones lineales (izquierda) y cuadráticas.

### Corrección por temperatura

La corrección por temperatura obtenida para la almendra tiene un valor aproximado a 0,1 de humedad por cada grado Celsius. Por lo tanto, es conveniente efectuar una corrección por temperatura en las determinaciones de humedad que se realicen con el Motomco, que correspondería a sumar o restar 0,1 a la humedad estimada con la tabla de conversión, por cada grado abajo o arriba de 25°C, respectivamente.

El factor de corrección obtenido en este trabajo coincide con las correcciones recomendadas en el Manual de Operación del medidor Motomco 919, para muchos otros productos agrícolas (Motomco 1977).

**Cuadro 2.** Tabla de conversión del medidor de humedad Motomco 919 a porcentaje de humedad, para almendra de palma aceitera *Elaeis guineensis*

Tamaño de muestra: 250g; temperatura: 25°C; calibrada a: 53

Lectura del Motomco	Porcentaje de humedad						
1	4.1	26	7.3	51	10.2	76	12.7
2	4.2	27	7.4	52	10.3	77	12.8
3	4.4	28	7.6	53	10.4	78	12.9
4	4.5	29	7.7	54	10.5	79	13
5	4.6	30	7.8	55	10.6	80	13.1
6	4.8	31	7.9	56	10.7	81	13.2
7	4.9	32	8	57	10.8	82	13.2
8	5	33	8.2	58	10.9	83	13.3
9	5.2	34	8.3	59	11	84	13.4
10	5.3	35	8.4	60	11.1	85	13.5
11	5.4	36	8.5	61	11.2	86	13.6
12	5.6	37	8.6	62	11.3	87	13.7
13	5.7	38	8.7	63	11.4	88	13.8
14	5.8	39	8.9	64	11.5	89	13.9
15	5.9	40	9	65	11.6	90	14
16	6.1	41	9.1	66	11.7	91	14
17	6.2	42	9.2	67	11.8	92	14.1
18	6.3	43	9.3	68	11.9	93	14.2
19	6.5	44	9.4	69	12	94	14.3
20	6.6	45	9.5	70	12.1	95	14.4
21	6.7	46	9.6	71	12.2	96	14.5
22	6.8	47	9.7	72	12.3	97	14.5
23	7	48	9.9	73	12.4	98	14.6
24	7.1	49	10	74	12.5	99	14.7
25	7.2	50	10.1	75	12.6	100	14.8

### Literatura citada

ALIZAGA, R. 1981. Medición del contenido de humedad en granos básicos con el determinador Motomco 919. Tesis Ing. Agr., San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 42p.

HURBURGH, C.R. 1987. Moisture Meter Performance II. Soybeans. Transactions of the ASAE 30(2):582-584.

- HURBURGH, C.R.; PYNTER, L.N.; SCHMITT, S.G. 1987. Moisture Meter Performance I. Corn Over Five Crop Years. Transactions of the ASAE 30(2):579-581.
- JIMENEZ, R.; ZELEDON, M.E.; ALIZAGA, R.E. 1994. Relación de equilibrio entre el contenido de humedad de almendra de palma aceitera ( *Elaeis guineensis* Jacq.) producida en Costa Rica y la humedad relativa del aire. ASD Oil Palm Papers. [En preparación].
- MOTOMCO. 1977. Motomco Model 919 Moisture Meter. Operating Instructions. 14p.
- SOTO, H. 1990. Prueba adicional sobre la medición del contenido de humedad en granos básicos con el determinador Motomco 919. Tesis Ing. Agr., San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 61p.
- SPRINGER, E. 1991. Available conversion charts for the Motomco 919. New Jersey, Motomco, Inc. (Correspondencia personal).
- ZELEDON, M.E.; ALIZAGA, R.E. 1992. Procedimiento alternativo para la estimación de la humedad del arroz con el Motomco 919. Agronomía Costarricense 16(2):249-255.

## **Biología y hábitos de *Rhynchophorus palmarum* L. asociado a la palma aceitera en Costa Rica**

Ramón G. Mexzón<sup>1</sup>; Carlos M. Chinchilla<sup>2</sup>; Geovanny Castrillo<sup>3</sup>; Danny Salamanca<sup>3</sup>

### **Resumen**

La biología de *R. palmarum* fue estudiada en condiciones de laboratorio. El ciclo de vida duró un promedio de 120 días, y comprendió un periodo de incubación del huevo de 3.5 días, una etapa larval de 60.5 días, con nueve estados de desarrollo, una pupal de 16 días, y una de adulto de 42 días. Las hembras colocan los huevos en perforaciones que hacen con el rostrum en el sustrato en donde se alimentan. En caña de azúcar depositan de 13 a 18 huevos diarios por hembra; al eclosionar las larvas miden 4.0 mm y pesan 0.8 mg. Al finalizar la etapa larval, éstas miden 76.0 mm y pesan 9.39 g. Previo a la pupación, las larvas cesan de alimentarse por aproximadamente 24 hr., y luego construyen la cubierta pupal con fibras del sustrato. En los adultos el dimorfismo sexual es notable en las dimensiones de la prolongación del rostrum; en la hembra es largo, delgado y curvado y en el macho es de menor longitud, grueso con una ligera curvatura distal. El macho puede o no tener un penacho de setas sobre el rostrum; estas están ausentes en los individuos enanos. Dos generaciones del insecto fueron creadas; el adulto se alimentó con caña de azúcar, las larvas con el palmito de palma aceitera, y para la pupación se ofreció el tejido de las vainas de hojas de esta palmera. Se estimó un consumo diario de tejido de vainas de hojas de cocotero de  $1.94 \pm 0.6$  g en el macho y de  $1.61 \pm 0.6$  g en la hembra. Se hicieron observaciones de la conducta reproductiva, la actividad diaria y el consumo alimentario de los adultos. El macho inicia la cópula y puede presentarse un cortejo previo. La cópula tiene una duración promedio de 3.0 min, con pausas de 2.0 min.

### **Introducción**

*Rhynchophorus palmarum* L. tiene un importante impacto económico en los cultivos de palma aceitera y cocotero en América Tropical. El insecto causa un daño directo por el desarrollo de las larvas que cavan galerías en el tallo, y es el principal vector de la enfermedad del anillo rojo (Hagley 1963; Griffith 1978). El ciclo de vida ha sido estudiado por varios autores. La etapa de huevo toma entre 2 y 4 días, el desarrollo larval 40-60 días, la pupa 20-30 días y el adulto vive por 45-60 días. En total el ciclo se cumple en 70-120 días. (Griffith 1968; Dean y Velis 1976; Morin et al. 1986; Giblin-Davis et al. 1989).

---

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 2. ASD de Costa Rica, [cmchinchilla@gmail.com](mailto:cmchinchilla@gmail.com). 3. ASD de Costa Rica

La longitud del adulto varió entre 26.6 y 53.3 mm cuando se mide del ápice del pygidium al ápice del rostrum (Chinchilla et al. 1990; Morales y Chinchilla 1990).

Varios métodos de cría se han elaborado. Hagley (1965) crió el insecto en tejido tierno de cocotero. Quezada (1968) usó como sustrato tallos de papaya. Giblin-Davis et al. (1989) completaron el desarrollo sobre una dieta de caña de azúcar y piña. Zagatti et al. (1993) elaboraron una dieta semi-sintética a base de cereales, agar y suplementos vitamínicos sobre la cual desarrollaron larvas y adultos del insecto. Estos mismos autores utilizaron también caña de azúcar como sustrato, en donde el insecto completó las etapas de larva y pupa en 83 y 30 días respectivamente. Este estudio tiene como objetivo informar sobre algunos aspectos de la biología y comportamiento de una población de *R. palmarum* asociada a palma aceitera en Costa Rica.

## **Materiales y métodos**

El estudio se realizó con individuos colectados en una plantación de palma aceitera de la compañía Palma Tica, ubicada en el Pacífico sur de Costa Rica, durante 1990-1991. Las condiciones del laboratorio durante el periodo de estudio fueron una temperatura promedio de 29°C (26-30°C), una humedad relativa de 77% (71-79%) y un fotoperiodo de 12 h de luz (2 h de luz artificial). Los insectos adultos se capturaron en trampas de tallo de palma aceitera (Morales y Chinchilla 1990), y se mantuvieron en una jaula de 1.0x2.5x0.5 m, con cedazo metálico (3 hilos/cm).

### **Ciclo de vida**

Las hembras se alimentaron con caña de azúcar en donde ocurrió la ovoposición. Las larvas recién eclosionadas se transfirieron en forma individual a pedazos de palmito de palma aceitera, que se colocaron en frascos de vidrio de 6x10 cm, tapados con una tela de manta. El palmito se reemplazó cada dos días. Las larvas se pesaron y midieron después de la ecdisis, en cada estado de desarrollo. Antes de la pupación, las larvas se transfirieron a jaulas individuales hechas de cedazo de alambre (20x15x15 cm), sobre un sustrato de aserrín y trozos de vainas de hojas de palma aceitera. Las pupas fueron remojadas periódicamente hasta la emergencia de los adultos.

Los adultos emergidos se colocaron en parejas de sexos opuestos por 24 h para que copularan y luego se apartaron los machos. Se colocaron trozos de caña de 2 cm de largo para la alimentación y ovoposición, que se reemplazaron diariamente, para obtener un recuento de los huevos depositados por cada hembra.

Otro grupo de adultos (60 machos y 66 hembras) fue usado para determinar las medidas del rostrum, determinado desde la parte anterior de los ojos al extremo apical. También se determinó la amplitud, el grosor y el diámetro de la base del rostrum. La conducta de los adultos (ovoposición y reproducción) fue observada en los adultos en cautiverio.

## **Capacidad de consumo alimentario del adulto**

Se colocaron insectos adultos (5 de cada sexo) en forma individual en jaulas y se les alimentó diariamente con un trozo de vaina de hoja de cocotero de aproximadamente 25 g. El tejido fue pesado al inicio y 24 h después, junto con el aserrín desprendido. El consumo se determinó por diferencia. Un grupo de trozos de tejido similar se colocó diariamente en condiciones similares para estimar la pérdida de peso por deshidratación. Todo el procedimiento fue repetido seis veces.

## **Resultados y discusión**

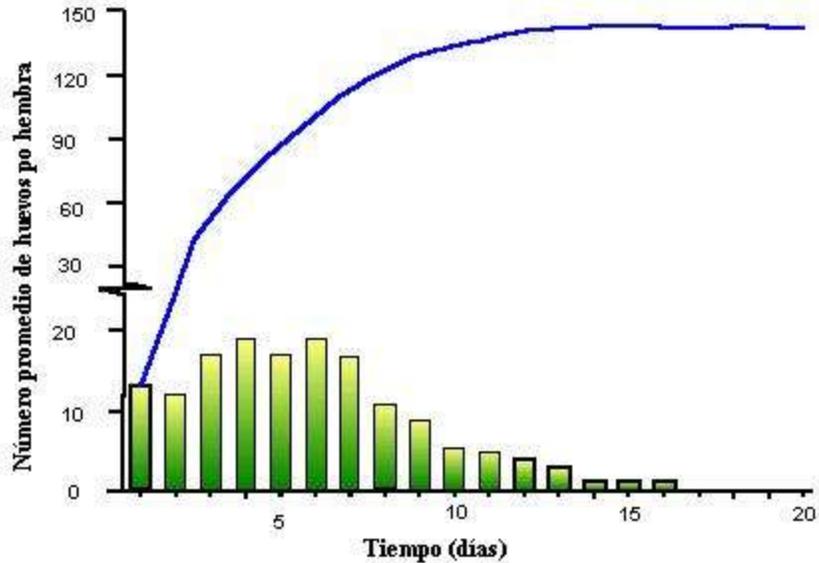
### **Ciclo de vida**

La duración promedio fue de 120 días distribuidos en cuatro etapas de desarrollo: el huevo de 3.5 días, la larva de 60.5 días, la pupa de 16 días y el adulto de 42 días. Se completaron dos generaciones del insecto, sin embargo dos intentos previos fracasaron por la licuefacción del sustrato y el alto canibalismo entre larvas. El problema se resolvió con el cambio de sustrato cada dos días y la separación de las larvas en forma individual.

### **Ovoposición**

El huevo mide 2.0-2.2 mm de longitud, es cilíndrico, ovalado, de color blanquecino, con la superficie brillante y pesa en promedio 0.8 mg. Estos fueron colocados en grupos de 13-18 unidades en un espacio de 1.0-1.5 cm<sup>2</sup> y a una profundidad de 3-6 mm. El periodo de ovoposición duró 16 días y se inició 4-6 días después de la copulación, aunque se observó el caso de un periodo de espera de solo 24 hr. Durante los primeros cinco días, la hembra depositó un promedio de 15 huevos, pero el ritmo declinó notablemente en el noveno día; el promedio del total de huevos ovopositados fue de 144 (96-167, n=10) (Fig. 1). No se determinó el efecto de la copulación repetida en el periodo de ovoposición.

González y Camino (1974) en México informaron de la ovoposición de 63 huevos diarios y de un total de 924 durante el periodo. En trinidad, la ovoposición observada fue de 10-48 huevos diarios y un total de  $245 \pm 115$  en 31 días (Hagley 1963, Griffith 1969). Griffith (1987) menciona que las hembras no contaminadas por el nematodo *Bursaphelenchus cocophilus* ovopositaban 200-500 huevos en 30 días, mientras que en hembras contaminadas la ovoposición fue de 20-50 huevos. El porcentaje de incubación exitosa fue de 65%, pero se considera que hubo un traumatismo de los huevos durante la extracción del sustrato. En Francia, Zagatti et al. (1993) encontraron un porcentaje de incubación del 77% sobre una dieta semi-sintética.



**Fig. 1.** Producción promedio diaria y acumulada de huevos de hembras de *R. palmarum* (n=10) en sustrato de caña y bajo condiciones de laboratorio.

Las hembras ovopositan en los agujeros que ellas mismas o el macho hacen al alimentarse; doblan los tarsos hacia arriba y se anclan al tejido con las espinas de las tibias, se apoyan en el tercer par de patas, se inclinan hacia atrás hasta poner en contacto el ovopositor con el sustrato. Luego cambian de sitio con un movimiento lateral del cuerpo, pero manteniendo el anclaje con el primer par de patas. La longitud de la tibia del primer par de patas le sirve a la hembra para hacer una especie de medida. Los huevos quedan cubiertos con una secreción anaranjada que se endurece rápidamente.

### Desarrollo larval

La cabeza de la larva está fuertemente esclerotizada, es color marrón oscuro, con piezas bucales masticatorias, en las que sobresalen un par de mandíbulas cónicas. Los segmentos torácicos constan cada uno de un par de muñones musculares de color amarillo, con cuatro pliegues fuertes; el primer segmento es grande y consta de una banda muscular ancha de color marrón claro, semi-esclerotizada. Los dos siguientes segmentos son angostos y poco visibles desde una posición dorsal. Los segmentos abdominales tienen un doble plegamiento dorsal y ventral para facilitar la tracción durante la reptación. El último segmento es una especie de espátula esclerotizada, muy vascularizada, con cuatro pliegues y setas táctiles; otros segmentos poseen setas pero muy escasas.

El color del tegumento varía de blanco crema en larvas de primeros estados a un amarillo tenue en larvas de octavo y noveno estados, el cual puede acentuarse antes de la pupación. En este estudio, el tamaño y peso de las larvas varió de 4.0 mm y 0.8 mg en la eclosión, a 76.0 mm y 9.38 g al final del desarrollo. Los mayores incrementos en longitud y peso fueron de 2.6 veces y 35 veces durante los estados cuarto y quinto (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Historia de vida de *Rhynchophorus palmarum* en condiciones de laboratorio

Estado de Desarrollo	Duración en días				% mortalidad	Peso (g)			Longitud (mm)				
	media	Ámbito	n			Media	Ámbito		Media	Moda	Ámbito	n	
Huevo	3.5	3.5	4	167	33				2	2	2	2.2	35
Larva*						0.0008	0.0005	0.001	4	4	3	5	47
1	4.2	2	7	112	57	0.0019	0.0012	0.003	5.1	5	5	6	35
2	5.6	6	9	72	62	0.0047	0.002	0.0092	6.5	6	6	8	30
3	6.0	6	6	64	66	0.009	0.0056	0.0161	7	7	7	8	30
4	6.0	6	7	57	68	0.0198	0.0099	0.0418	11.3	10	8	13	35
5	7.0	7	7	53	71	0.6961	0.297	0.8227	29.2	22	22	38	31
6	7.4	7	8	49	74	2.9553	0.9683	3.0436	51.7	43	37	54	32
7	7.8	6	9	43	79	4.548	2.7697	5.6529	61.4	55	51	71	35
8	8.0	8	10	35	84	6.2465	4.9727	7.325	67	66	61	74	35
9	8.5	8	11	27	87	9.3819	7.306	10.071	76	73	71	81	38
Pupa	16	14	28	20					55	58	45	63	30
Adulto	42	36	47	20		1.2113	0.9587	1.8677	34.1*	36*	20*	41*	

Datos tomados de Morales y Chinchilla (1990); \* Larva al nacer

La mayor mortalidad fue de 37.5% durante la eclosión (n=40); en los siguientes estados fue de 7.1%. Un 17.8% de las larvas completaron su desarrollo y alcanzaron a pupar. Las principales causas de mortalidad en larvas mantenidas separadamente fueron la licuefacción del sustrato y causas no determinadas durante las mudas, en especial durante el primer estado larval. En larvas que se recolectaron en el campo, las principales causas fueron la contaminación del sustrato y el canibalismo. Las larvas grandes devoran las pequeñas y unas a otras se atacan, y pueden llegar a morir por la pérdida de líquidos corporales sin que aparentemente se pueda detener la hemorragia. Las larvas cesan de alimentarse antes de cada muda por un período que no fue medido con exactitud y luego comen los restos del tegumento larval.

### Pupa

La etapa pupal tuvo una duración promedio de 16 días (14 a 28) y la moda de la muestra (n=20) fue de 22.0 días. No hubo mortalidad durante esta etapa. Las larvas previo a la pupación, cesaron de alimentarse por 24 a 48 hr y comenzaron a remover el sustrato en busca de fibras para construir el capullo. Durante la fabricación del pupario, las larvas invierten parte de su peso y volumen corporal en la secreción de fluidos con los que pegan las fibras.

El capullo es formado del extremo posterior al anterior, y consiste de fibras largas que forman un cilindro, entremezcladas con fibras largas y pequeñas dispuestas longitudinalmente. La envoltura tiene un espesor inferior a un centímetro y una longitud promedio de 55 mm (45-63mm).

Un grupo de larvas recolectadas en el campo y próximas a pupar se colocaron en cuatro (n=10) sustratos: palmito, serrín de palma aceitera, vainas de hoja de palma y papel toalla humedecido. En los dos primeros no hubo pupación; en vainas de hojas el desarrollo se completó con éxito y

con emergencia de los 10 adultos, y en papel toalla se obtuvo siete adultos en sólo 16 días, sin embargo fueron poco longevos (2 a 5 días).

Con respecto a la duración de las etapas larval y pupal existen en la literatura (Hagley 1965; Genty et al. 1978; Restrepo et al. (1982) citado por Zagatti et al. 1993; Zagatti et al. 1993) diferencias, que podrían explicarse parcialmente por el tipo de sustrato de alimentación usado y el método de cría (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Duración de las etapas larval y pupal de *Rhynchophorus palmarum*

Sustrato de alimentación	Etapa larval	Etapa pupal	Referencia
Tallo de cocotero	52	27	Hagley 1965
Estado natural en palma aceitera	60	24	Genty et al. 1978
Caña de azúcar	120	29	Restrepo et al. 1982
Medio semi-sintético	87	27	Zagatti et al. 1993
Caña de azúcar	83	30	Zagatti et al. 1993
Este estudio	60.5	16	

\* Modificado de Zagatti et al. (1993)

### Adulto

Es un escarabajo color negro metálico, y ocasionalmente con tonos rojizos. El pronoto está cubierto de una gran cantidad de setas negras muy cortas y densas que le dan una apariencia aterciopelada; élitros con canaladuras longitudinales bien definidas, que no cubren el pygidium; y el exoesqueleto ventral de apariencia metálica y reluciente.

A medida que el insecto envejece las setas se desprenden o gastan, las canaladuras pierden definición y el exoesqueleto ventral luce desgastado, lo cual se puede usar como un criterio para separar los adultos jóvenes y viejos de la población. El peso del adulto también disminuye considerablemente con la edad (Giblin - Davis, University of Florida, comunicación personal).

En esta misma plantación, Morales y Chinchilla (1990) determinaron que el insecto adulto tiene una longitud promedio de 34.1 mm (20-41mm, n=3146), por lo cual no se midieron insectos adultos en este estudio. En Honduras las longitudes promedios fueron de 30.8mm  $\pm$  2.66 mm en la hembra y 31.2  $\pm$  1.87 mm en el macho (Chinchilla et al. 1990) y en Trinidad 33.8 mm  $\pm$  0.27mm (ambos sexos) (Griffith 1974). Nuestros escarabajos pesaron un promedio de 1.2 g (0.96-1.87g; n=20). Giblin-Davis et al. (1989) encontraron que en *Rhynchophorus cruentatus* (Fab.) el peso de los adultos fue de 0.86  $\pm$  0.23 g en las hembras (n=3) y de 0.95  $\pm$  0.26 g en los machos (n=5).

Existe un dimorfismo sexual notorio a nivel de la prolongación de rostrum; en la hembra es largo, delgado y más curvo que en el macho, en el cual es un poco menor, grueso y con una

ligera curvatura distal (Cuadro 3). El macho puede presentar un penacho dorsal de setas sobre el rostrum, que no existe en los machos de pequeño tamaño (menores que 29,0 mm).

**Cuadro 3.** Medidas (mm) del rostrum en *R. palmarum* adultos

Sección	Machos				Hembras			
	Media	d.e.*	Moda	Ámbito	Media	d.e.	Moda	Ámbito
Longitud	11.38	0.85	11.00	10-12.5	11.73	1.00	12.00	36477.00
Amplitud de la base (lateral)	1.97	0.07	1.90	1.8-2.0	1.94	0.11	2.00	1.6-2.0
Grosor de la base (dorsal)	2.03	0.11	2.00	1.8-2.5	2.05	0.17	2.00	1.8-2.5
Grosor (dorsal) del ápice	0.94	0.01	1.00	0.8-1.0	0.83	0.05	0.80	0.8-0.9

\* desviación estándar

Chinchilla et al. (1990) encontraron que en una población de *R. palmarum* en Honduras, la longitud rostral fue menor en la hembra que en el macho: 14.66 mm (n=1527) y 16.00 mm (n=1966). En nuestro estudio, las longitudes del rostrum en la hembra y en el macho fueron: 11.73 mm (11-13mm) y 11.38 mm (10-12.5mm); estas diferencias se deben a que se trata de dos poblaciones diferentes, y al tamaño de la muestra posiblemente.

El promedio de generación para hembras fue de 46.0 días (n=12) y para machos de 45.0 días (n=8); la moda para el grupo fue de 45 días (n=20). Se considera que la longevidad de los adultos fue bastante menor que la informada por otros autores (Morin et al. 1986; Dean y Velis 1987) entre 45 y 60 días, posiblemente, debido a condiciones de estrés por el confinamiento y la falta de un sitio de refugio adecuado. La longevidad promedio para las hembras y machos de *R. cruentatus* fue de 79 ±10 días (57-106, n=59) y 78 ±12 días (53-115, n=45) (Giblin-Davis et al. 1989).

### Comportamiento reproductivo

Un cortejo previo a la cópula fue observado entre adultos jóvenes o entre una hembra joven y un macho viejo; entre los adultos viejos no se observó el cortejo. En el cortejo el macho golpea a la hembra en el tórax o cabeza con el rostrum o el primer par de patas. En la cópula el macho sube sobre la hembra, la rodea con las patas y se sujeta con las espinas de las tibias; se inclina hacia atrás y curva el abdomen hacia abajo para buscar la copulación.

La cópula dura un promedio de 3.0 min. (2-4 min.) con recesos de aproximadamente 2.0 min. entre una y otra sin que el macho se separe. La hembra se alimenta y puede ovopositar mientras el macho intenta la cópula, por lo cual muchos huevos quedan expuestos y son destruidos durante la alimentación. Los machos copulan repetidas veces con la misma hembra o con otras durante el día. Cuando se colocaron dos machos con una hembra no ocurrió una disputa clara, sin embargo cuando se inició la cópula el macho solitario buscó catapultar al otro, metiendo el

rostrum entre los cuerpos de la pareja. En ocasiones dos machos buscaron en forma simultánea la cópula con la misma hembra y en ocasiones se observaron machos intentar la cópula con hembras muertas. Los machos con menos de la mitad del tamaño corporal de las hembras, lograron copular sin aparente dificultad.

### Actividad diaria

Los escarabajos permanecieron activos durante el día y fue notorio un incremento en su actividad después de las 15.00 hr; varios adultos procedentes de las plantaciones cercanas llegaron al laboratorio, posiblemente atraídos por feromonas liberadas por los escarabajos confinados en las jaulas.

Valverde (1990) colocó 10 trampas con caña de azúcar y la feromona de agregación del macho en una plantación de palma aceitera, y anotó las capturas cada 30 min. en el período de las 5.30 a las 19.00 hr. Un total de 129 insectos fueron capturados, y se identificaron dos períodos de mayor actividad; entre las 5.30 y 6.30 hr (n=37) y entre las 14.00 y 18.30 hr (n=70); los restantes insectos capturados se encontraron entre las 8.30 y 12.30 hr.

### Capacidad alimentaria del insecto adulto

En los escarabajos adultos se determinó un consumo diario de tejido de vainas de hojas de coco de 1.61 y 1.94 g en hembras y machos respectivamente (Cuadro 4). Otros tejidos como tallo de palma aceitera y caña de azúcar fueron usados: la palma perdió atractividad y frescura en pocas horas y los insectos dejaron de comer, y en forma contraria, la caña de azúcar fue muy atractiva y los insectos la destruyeron casi en su totalidad, con excepción de restos de fibras, lo cual dificultó estimar el peso del tejido consumido. Para obviar este problema se seleccionó el tejido de vainas de hojas de cocotero, el cual fue muy atractivo para el insecto y no fue despedazado con facilidad; esto permitió una estimación aproximada del peso del tejido consumido.

**Cuadro 4.** Consumo diario de tejido de vainas de cocotero en *R. palmarum* adultos. bajo condiciones de laboratorio

Sexo	Peso del tejido (g)		Deshidratación <sup>2</sup>	Consumo diario individual
	Inicial <sup>1</sup>	Final <sup>1</sup>		
Machos	27.55 ± 1.24	22.88 ± 1.51	2.58 ± 1.01	1.94 ± 0.60
Hembras	26.55 ± 1.34	22.36 ± 1.09		1.61 ± 0.64

1 promedio de 35 mediciones

2 promedio de 49 mediciones

## Literatura citada

- CHINCHILLA, C. 1988. El síndrome del anillo rojo/hoja pequeña en palma aceitera y cocotero. Chiquita Brands, Oil Palm Operations, Costa Rica. Boletín Técnico 4(2):43-136.
- CHINCHILLA, C.M.; R. MENJIVAR; E. ARIAS, 1990. Picudo de la palma aceitera y enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña en una plantación comercial de palma aceitera en Honduras. Turrialba, Costa Rica, 40(4):471-477.
- DEAN, C.G.; VELIS, M. 1976. Differences in the effects of Red Ring Disease on coconut palms in Central America and the Caribbean and its control. Oléagineux 31(7):321-326.
- GIBLIN-DAVIS, R.; GERBER, K.; GRIFFITH, R. 1989. Laboratory rearing of *Rhynchophorus cruentatus* and *R. palmarum* (Coleoptera). Florida Entomologist 72(3):480-488.
- GONZALEZ, N.A.; CAMINO, L.M. 1974. Biology and habits of *Rhynchophorus palmarum* in Chontalpa, Tabasco (México) (Coleoptera). Folia Entomológica Mexicana No. 28:13-19.
- GRIFFITH, R. 1968. The mechanisms of transmission of the red ring nematode. J. Agric. Soc. Trin. and Tob. 67:436-457.
- GRIFFITH, R. 1969. A method of controlling red ring disease of coconuts. J. Agric. Soc. Trin. and Tob. 67:827-845.
- GRIFFITH, R. 1974. The use of the smaller palm weevil *Rhynchophorus palmarum*, in the forecasting of red ring disease outbreaks. J. Agric. Soc. Trin. and Tob. 73:149-159.
- GRIFFITH, R. 1978. Epidemiology of red ring disease of coconuts in Trinidad and Tobago. J. Agric. Soc. Trin. and Tob. 78:200-17.
- GRIFFITH, R. 1987. Red ring disease of coconut palm. Plant Disease 71:193-196.
- HAGLEY, E.A.C. 1963. The role of the palm weevil, *Rhynchophorus palmarum* as a vector of the red ring disease of coconuts. I. Preliminary investigations. J. Econ. Entomol. 56:375-380.
- HAGLEY, E.A.C. 1965. On the life history and habits of the palm weevil, *Rhynchophorus palmarum* (L.). Annals Entom. Soc. Amer. 58 (1):22-28.
- MORALES, J.L.; CHINCHILLA, C. 1990. Estudios poblacionales en *Rhynchophorus palmarum* y su relación con la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña en palma aceitera en Costa Rica. Turrialba 40(4):478-485.
- MORIN, J.P.; LUCHINI, F.; ARAUJO, J.C.A.; FERREIRA, J.M.S.; FRAGA, L.S. 1986. Control de *Rhynchophorus palmarum* mediante trampas construidas por pedazos de palma. Oléagineux 41(2):57-62.

QUEZADA, J.R. 1968. Un método sencillo para criar al gorgojo del cocotero, *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae), con notas sobre su biología en El Salvador. Ceiba, Honduras, 14(2):1-12.

VALVERDE. V.H. 1991. Avances en el combate del anillo rojo en Coto. Cía. Palma Tica. Depto. Control de Enfermedades, Coto, informe interno, sin paginar.

ZAGATTI, P.; ROCHAT, D.; BERTHIER, A.; NADARAJAN, L. 1993. Continuous rearing of the palm weevil *Rhynchophorus palmarum* in the laboratory. Oléagineux 48 (5):213-217.

## Tillage effect on young oil palm growth in Costa Rica

Rubén Ortiz<sup>1</sup>, Norberto Durán

### Abstract

Soil compaction is an important problem in soils planted with oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Harvesting and cultural practices using heavy machinery result in soil compaction and cause soil degradation. An experiment was carried out to evaluate the effect of different tillage systems that reduce soil compaction, before replanting the oil palm. The experiment was started in May, 1991 in an Aeric Tropaquept and Fluvaquentic Eutrocept Complex in the Palma Tica company oil palm plantation in Coto 52, Costa Rica. A completely randomized block design with four replications was used. Treatments were: subsoiling to 60 cm depth, disking to 30 cm depth (2 passes), subsoiling plus one disking pass, and a no-tillage tester. Growth measurements of the petiole cross section area (PxS), rachis length, and leaf area were recorded every 6 months. Results after two years showed that all growth variables were lowest in the no-tillage treatment as compared to the tillage treatments in all dates. To improve initial palm growth, tillage practices should be implemented in some of these alluvial soils of Coto before replanting.

### Introduction

Soil tillage practices can have a profound effect on the soil's physical environment, influencing water dynamics and plant growth. A new oil palm crop is planted every 20 to 25 years. Soil compaction from the wheel traffic of heavy farm equipment used in harvesting and cultural practices contributes to the gradual deterioration of the physical condition of soils. Consequently, a decrease in the potential yield occurs.

Subsoiling during land preparation helps to reduce soil density and hardness, increase the volume of macropores which promote aeration, internal drainage, and a more rapid infiltration (Cassel, 1979). Caliman et al. (1990b) found that using subsoiling to loosen compacted areas caused by the farm equipment had a positive effect on oil palm root development in the Ivory Coast. After subsoiling in an oil palm plantation, Caliman (1990a) recommended terminating the use of heavy machinery. This experiment was conducted to evaluate the effect on initial oil palm growth of different tillage systems, used before replanting.

### Materials and methods

The experiment was carried out in an oil palm plantation of the Palma Tica Company in Corredores, Costa Rica. Treatments consisted of subsoiling to 60 cm depth, disking to 30 cm depth (2 passes), subsoiling plus one disking, and a no-tillage tester, evaluated in a completely

---

<sup>1</sup> ASD de Costa Rica. Apdo. 30-1000, Costa Rica

randomized block design with four replications. Treatments were applied on a Fluvaquentic Eutropept and Aeric Tropaquept Complex before replanting with Deli x Calabar palms in March 1991. Each experimental plot was 1.0 hectare in size and the experiment had a total area of 16 hectares. Determinations of soil resistance to penetration, bulk density, total porosity and texture were made to a depth of 60 cm at intervals of 10 cm depth after 18 months. The overall soil texture of the experimental plots at 0-60 cm depth was silty clay. Oil palm growth measurements from the petiole cross section area (PxS), rachis length, and leaf area were recorded every 6 months for 24 months. A Fisher Protected Least Significant Test was used for means separations.

## Results and discussion

Petiole cross section, rachis length, and leaf area were lowest in the no-tillage treatment (Table 1). All other treatments were (or tended to be) higher than the no-tillage in all dates. Tillage practices should be implemented in some of these alluvial soils of Coto before replanting where compaction problems occur as a result of machinery traffic from harvesting and cultural practices.

**Table 1.** Oil palm growth as affected by different tillage systems

Treatments	Months after planting			
	6	12	18	24
<b>Rachis length (cm)</b>				
No-tillage	138	193.20 b	237.25 b	303.84 b
Subsoiling	140.25	204.25 a	253.25 a	317.18 ab
Disking	151	203.00 ab	253.50 a	325.20 a
Subsoiling + disking	144.75	204.00 a	256.75 a	327.51 a
FPLSD	NS	10.09	11.29	17.55
<b>Petiole cross section (PxS) (cm<sup>2</sup>)</b>				
No-tillage	2.01 b	2.76 b	4.46 b	5.30 b
Subsoiling	2.20 ab	3.11 a	4.78 ab	5.70 ab
Disking	2.35 a	3.14 a	5.00 a	6.26 a
Subsoiling + disking	2.28 a	3.20 a	4.91 a	6.32 a
FPLSD	0.19	0.3	0.33	0.83
<b>Leaf area (m<sup>2</sup>)</b>				
No-tillage	1.05 b	1.57 b	2.69 b	3.08 b
Subsoiling	1.13 ab	1.81 a	2.97 a	3.27 ab
Disking	1.24 a	1.73 ab	2.91 a	3.40 a
Subsoiling + disking	1.22 a	1.80 a	2.96 a	3.48 a
FPLSD	0.14	0.16	0.14	0.3

Values in a given column followed by the same letter do not differ at the 0.05 significance level according to fisher protected least significant test (FPLSD)

No differences between treatments were found for any of the soil variables tested, except for resistance to penetration (Table 2).

Table 2. Soil physical characteristics as affected by different tillage systems

depth	Treatments				lsd <sup>1</sup>
	no-tillage	subsoiling	disking	subsoiling + disking	
<b>Gravimetric moisture (%)</b>					
0-10	73.91	60.31	64.48	58.04	
20-Oct	56.01	56.04	54.93	59.04	
20-30	53.68	55.94	57.01	59.06	
30-40	53.66	53.7	54.53	59.42	
40-50	56.09	55.62	53.03	59.1	
50-60	57.19	56.96	51.32	55.28	
<b>Total porosity (%)</b>					
0-10	62.66	59.53	61.68	63.06	
20-Oct	59.58	60.58	61.89	60.9	
20-30	60.93	60-13	62.03	60.84	
30-40	55.04	58.26	60.64	60.53	
40-50	60.85	59.87	59.74	60.02	
50-60	61.13	59.89	50.02	59.95	
<b>Bulk density g. cm<sup>-3</sup></b>					
0-10	0.93	1.01	0.96	0.94	
20-Oct	1.06	1.03	0.99	1.03	
20-30	1.04	1.04	0.99	1.04	
30-40	1.05	1.1	1.02	1.05	
40-50	1.04	1.05	1.07	1.07	
50-60	1.03	1.05	1.12	1.07	
<b>Resistance to penetration kg. cm<sup>2</sup></b>					
0-10	10.02	10.4	10.5	7.87	NS
20-Oct	11.32 b	13.97 a	11.82 ab	9.45 b	3.35
20-30	12.30 a	13.00 a	11.07 a	7.65 b	3.24
30-40	10.00 ab	12.20 a	12.05 a	7.92 b	3.45
40-50	12.83	11.1	10.8	8.27	NS
50-60	11.77	11.22	12	9	NS

Values in a given row followed by the same letter do not differ at the significant test (FPLSD).

<sup>1</sup> Values without letters were not significantly different according to FPLSD ( P 0.05 ).

Subsoiling plus disking showed the lowest resistance to penetration at all depths (Table 2). This was in accordance with the slight trend for better palm growth with this treatment. All other tillage treatments showed very similar results. This was also in accordance with the slight trend for a better palm growth with these treatments.

In general, it appeared that the combined tillage practices of subsoiling plus disking gave the most positive influence on young palm growth. This may have occurred because subsoiling breaks down compaction layers to a depth of 60 cm and improves water infiltration; whereas the disking operation helps to provide a proper bed for early root growth after transplanting. The combination of these two tillage operations may have a synergistic effect on young oil palm growth.

### **Acknowledgment**

The authors wish to acknowledge Sytze de Bruin for his cooperation in the establishment of the experiment and Dr. D.L. Richardson for his advice and review of the manuscript. We appreciate the computer data processing of Guido Monge and the field support of Olman Fernández, Ricardo Jiménez, Arles Álvarez, Félix Gómez, and Félix Vallejos.

### **References**

- CALIMAN, J.P.; CONCARET, J; AUBRY, M. 1990a. Subsoiling in oil palm plantations. Description of adapted tool and conditions for its use. *Oleagineaux*, 45(8-9):391-392.
- CALIMAN, J.P.; CONCARET, J.; OLIVIN, J.; DUFOUR, F. 1990b. Maintenance of physical soil fertility under oil palm in humid tropical regions. *Oleagineaux*, 45(3):109-110.
- CASSEL, D.K. 1979. Subsoiling. *Crops and Soils*. American Society of Agronomy. Madison, WI. p. 7-9.