

Aves depredadoras diurnas y daño por ratas en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Honduras

Mario Padilla¹; Carlos Chinchilla²; Exelí Arias¹; Israel Flores¹

RESUMEN

Se realizó un estudio exploratorio sobre la presencia de aves depredadoras diurnas y su relación con el daño causado por ratas, en una plantación joven de palma aceitera en la costa Caribe de Honduras. Durante un año, en visitas quincenales, se anotó la presencia de las aves en recorridos de 2.5 km². La actividad de las ratas se cuantificó según el nivel de daño causado a las palmas (ataque cerca de la base del tallo) y midiendo el crecimiento de las palmas afectadas, y de palmas testigo. La abundancia de dos gavilanes (*Buteo pos. platipterus* y *Elanus caeruleus*) se asoció con un aumento en la población de ratas, estimada como un incremento en el número de palmas que sufrieron daño por los roedores. La población de otras aves que incluyen ratas en sus dietas (*Polyborus plianctus*, *Tigrisoma mexicanum*) no pareció ser afectada por la fluctuación en la población de ratas. El daño por roedores aumentó al establecerse el período de lluvias, particularmente en aquellas áreas con problemas de drenaje superficial y con gramíneas de porte alto. El ataque repetido de las ratas a una misma planta afectó negativamente su crecimiento vegetativo y rendimiento iniciales.

INTRODUCCION

Las ratas son los roedores plaga más importantes de la palma aceitera en Centroamérica. Ocasionalmente, plantaciones en algunas áreas pueden también ser atacadas por taltuzas (*Orthogeomys* spp.) (Chinchilla 1993, Hilje 1992b). En Malasia, la especie predominante es *Rattus tiomanicus* (Liau et al. 1991), cuyos individuos dañan principalmente el fruto (Mohd Mat Min 1985). Las ratas no pueden sobrevivir con una dieta única de frutos de palma aceitera, pero pueden fácilmente complementar la proteína faltante en los mismos, consumiendo los insectos que abundan dentro de las plantaciones (Liau 1984).

En Centroamérica, las especies de ratas presentes concentran su ataque en plantas jóvenes, en donde se alimentan de las bases de las hojas más cercanas al suelo. Con frecuencia, el daño abarca parte de la base del tallo. Como consecuencia de esto, la planta puede perder varias hojas todavía funcionales y los tejidos recién expuestos pueden atraer adultos de *Rhynchophorus palmarum*. El efecto combinado de la actividad de los adultos y las larvas del insecto que se desarrollan en estos tejidos, puede conducir a la muerte de la planta.

No existe un estudio que documente la composición de las especies de ratas en plantaciones de palma aceitera en Honduras. Según observaciones casuales, la especie predominante es *Sigmodon hispidus*, aunque otras especies como *Zigodontomys brevicaudata* y *Oryzomys* spp. también pueden estar presentes (Hilje 1992a).

¹ Tela Railroad Co. Honduras, Div. Palma Aceitera. 2. ASD Costa Rica, cmlchinchilla@gmail.com

Las ratas sufren depredación por varias especies de vertebrados, entre las cuales destacan las aves rapaces (Duckett 1982). El papel real que cumplen estos depredadores en reducir la población de ratas por debajo de un nivel de daño económico no es fácil de determinar, y con frecuencia su importancia es cuestionada (Wood 1986). No obstante, las aves depredadoras son elementos muy importantes de tomar en cuenta, cuando se diseñen estrategias de manejo integrado de las ratas como plagas (Wood 1986, Duckett y Karuppiah 1989, Lim et al. 1991).

En Malasia se ha recomendado favorecer de diferentes maneras la proliferación y actividad de las aves rapaces dentro de la plantación. El búho de los graneros *Tyto alba*, ha recibido atención particular, debido a que se ha adaptado muy bien al "medio palma", en donde sobrevive con una dieta que consiste en 98% de ratas (Duckett 1982, Duckett y Karuppiah 1989, Lim et al. 1991). Una ventaja de esta ave es que no muestra mucha territorialidad cuando la población de presas es abundante. Se estima que una pareja de estos animales consume, junto con sus polluelos, alrededor de 1,300 ratas cada año (Duckett y Karuppia 1989).

Algunas plantaciones en Malasia han iniciado un esfuerzo para proveer a los búhos de sitios en donde puedan criar a sus polluelos. Algunos modelos de estas estructuras de anidación son aceptados por las aves (Duckett 1982). También, se puede suplir a las aves con perchas de observación, particularmente en plantaciones jóvenes. El uso de tales perchas tiene las ventajas siguientes:

1. Aumentan la vulnerabilidad de la presa.
2. Representan un ahorro energético para el ave en la búsqueda de la presa.
3. Ofrecen un lugar de descanso para el rapaz (Hall *et al.* 1981).

Los programas de manejo de la población de ratas con la ayuda de aves rapaces ha tenido también algunos problemas. Los anticoagulantes de la segunda generación (en particular *brodifacoum*) pueden afectar adversamente a un ave que consuma un animal envenenado. Como solución a este problema se ha sugerido la utilización de anticoagulantes de la primera generación, que han probado ser seguros para las rapaces (Duckett y Karuppiah 1989).

Existen muy pocos esfuerzos documentados sobre la utilización de especies de aves depredadoras en el combate de roedores plaga (Wood 1986), y en Centroamérica tal información es aún más escasa. El presente estudio tuvo como objetivos:

1. Reconocer y dar seguimiento a la fluctuación de la población de las diferentes aves depredadoras diurnas presentes en una plantación joven de palma aceitera
2. Documentar el daño causado por las ratas sobre el crecimiento vegetativo de las plantas, y asociar este daño con la población de depredadores.
3. Evaluar en forma preliminar algunas estrategias para estimular la actividad de las aves depredadoras dentro de la plantación.

MATERIALES Y METODOS

Las observaciones se realizaron en una plantación comercial de palma aceitera localizada en el Departamento de Atlántida (Municipio de Tela, localidad de San Alejo) en el litoral atlántico de

Honduras. Las observaciones se llevaron a cabo en siembras jóvenes, que aún no habían iniciado la producción de racimos.

Estimación de la población de depredadores

Se recorrió cada dos semanas, durante un año (enero-diciembre 1992) un área de 2,5 km². Cada recorrido duró aproximadamente cuatro días. Se tomó nota de las especies de aves depredadoras observadas sobre perchas instaladas dentro del palmar, o bien sobre cualquier otro saliente del terreno (truncos de palma aceitera de la siembra anterior). Como perchas se usaron tallos de bambú de 9 metros de altura. A aproximadamente un metro del extremo superior, se colocó en forma transversal una varilla de menor diámetro, de un metro de largo. Para facilitar la observación se utilizaron unos binoculares Jason "permafoc" 2000, 4x21.

La densidad de aves se estimó mediante el método de "Line transect", Gates (1986):

$$D = (n-1) / 2LY$$

en donde:

D = densidad estimada (aves/km²).

n = número de individuos observados en el recorrido.

L= longitud de la línea de observación.

Y= media de las distancias perpendiculares a la línea de observación.

Las áreas vecinas a la plantación fueron visitadas en busca de sitios de anidamiento de las aves. Durante los recorridos se anotó también la presencia de otras especies de posibles depredadores, tales como serpientes. No se determinó si la misma ave fue observada más de una vez durante un recorrido o en diferentes visitas.

Cuantificación del daño causado por las ratas

En la misma área en donde se estudió la población de aves rapaces, se escogió una sección de aproximadamente 25 ha en donde se tomaron datos trimestralmente del crecimiento vegetativo (Corley y Breure 1981) en palmas sanas y con diferentes niveles de daño causado por los roedores. Durante las dos últimas evaluaciones se incluyó el número de racimos por planta. El nivel de daño inicial se cuantificó a partir de los dos meses de edad de las plantas en el campo, y se utilizaron las siguientes categorías:

- Palma sana: sin daño aparente.
- Daño leve: hasta dos bases peciolares dañadas.
- Daño medio: más de dos bases peciolares dañadas, pero sin daño en la base del tallo.
- Daño severo: las bases peciolares y la base del tallo dañada.

El número de plantas evaluadas en cada categoría fue de 30. Debido al incremento del ataque en algunas palmas, hubo cambios de categoría de daño durante el período de observaciones, de modo que tales palmas no fueron incluidas en el análisis final de los datos.

La población activa de ratas fue estimada en forma indirecta contando el número de palmas que presentaban daños recientes (Wood 1982). Los datos sobre el número de plantas atacadas por las ratas en 1990, 1991 y 1992, se obtuvieron de los registros del Departamento de Sanidad de la plantación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Descripción de las aves rapaces más comunes

Buteo pos platypterus (gavilán pollero). De cabeza y cresta grisácea, cuerpo marrón-rojizo, vientre amarillento, envergadura de unos 43 cm y hasta 450 g de peso corporal. Se le encuentra desde el sur de Estados Unidos, hasta Perú y el norte de Brazil.

Prefiere lugares no disturbados para reproducirse, y anida en los árboles de mayor altura. Sin embargo, también se han encontrado nidos dentro de las plantaciones en las palmas más altas.

Para sus actividades de caza prefiere áreas abiertas o semi-abiertas. Es medianamente territorial, y caza en forma solitaria o en pequeños grupos de hasta siete individuos.

Su alimento consiste de pequeños mamíferos, particularmente roedores, insectos y pichones de aves. Comúnmente utilizan las perchas de observación colocadas en las plantaciones jóvenes de palma aceitera. Los grupos de caza cambian con cierta frecuencia su área de actividad, probablemente debido a la escasez de alimento.

Elanus caeruleus (gavilán milano, gavilán gaviota). Alcanza una envergadura de unos 41 cm y 350 g de peso corporal. Posee un vuelo muy distintivo y su habilidad para mantenerse en un punto en el vuelo es muy característico.

El color del plumaje es blanco o gris pálido, pero los hombros son negros. Habita desde el sur de los Estados Unidos, hasta Panamá y parte de Sur América. Prefiere áreas abiertas para cazar, tales como pastizales y tierras cultivadas. Se alimenta de pequeños roedores, insectos, serpientes etc. Probablemente es más territorial que *B. platypterus*.

Tigrisoma mexicanum (ajoque, pájaro vaco, garza tigre). Alcanza una altura de 32-80 cm. Los colores predominantes del plumaje son gris, verde-amarillo y negro. Se le encuentra desde Méjico hasta Colombia. Sus actividades están ligadas a sitios en donde haya agua libre. Se alimenta de peces, crustáceos y pequeños roedores.

Actividad de las aves depredadoras y daño por ratas

El "querque" (*Polyborus plancus*) y el "ajoque" (*Tigrisoma mexicanum*), son depredadores generalistas y relativamente insensibles a las fluctuaciones en la población de ratas (Fig. 1). Otras especies encontradas como la garza blanca, el gavilán plomo, el cigüeñón y *A. guarauna*, tampoco están asociados a la actividad de las ratas. No obstante, algunos "querques" fueron encontrados muertos dentro de la plantación, lo cual pudo deberse al envenenamiento causado por el consumo de ratas moribundas que se habían alimentado con cebos a base de brodifacoum. El consumo de animales envenenados con este anticoagulante fue relacionado en Malasia con la muerte del búho *Tyto alba* (Duckett 1989). El querque se alimenta de carroña, por lo cual está particularmente expuesto a encuentros con animales muertos por el anticoagulante.

El "gavilancillo" es un ave migratoria, ausente desde marzo hasta setiembre. Su efecto sobre la población de ratas posiblemente sea poco importante, pues está ausente durante una buena parte de los meses de lluvia, cuando la población de ratas aumenta (Fig.2).

El "gavilán pollero" (*Buteo platypterus*) y el "gavilán milano" (*Elanus caeruleus*) aparentemente responden a la fluctuación de la población de ratas (Fig.1 y Fig.2).

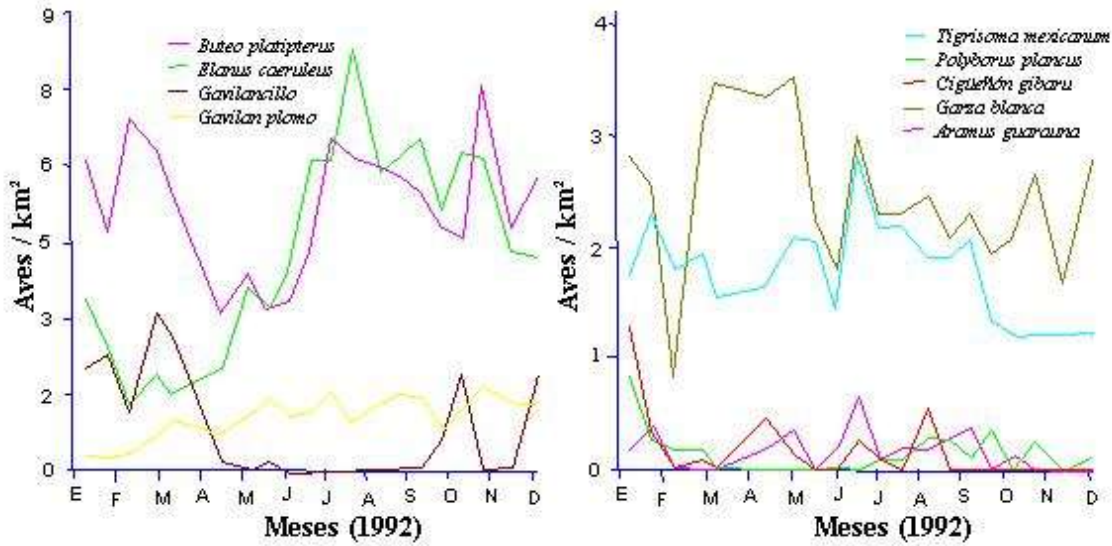


Fig. 1. Aves depredadoras diurnas en una plantación joven de palma aceitera. Costa Atlántica de Honduras

El nivel de daño por ratas aumentó en mayo de 1992, lo cual se asoció a la suspensión del programa de colocación de cebos con brodifacoum. La intención original fue darle una oportunidad al control biológico de regular la población de ratas. Sin embargo, un aumento en el porcentaje de palmas con daños recientes causados por los roedores (Fig. 2), motivó a la administración de la plantación a reanudar el programa de colocación de cebos.

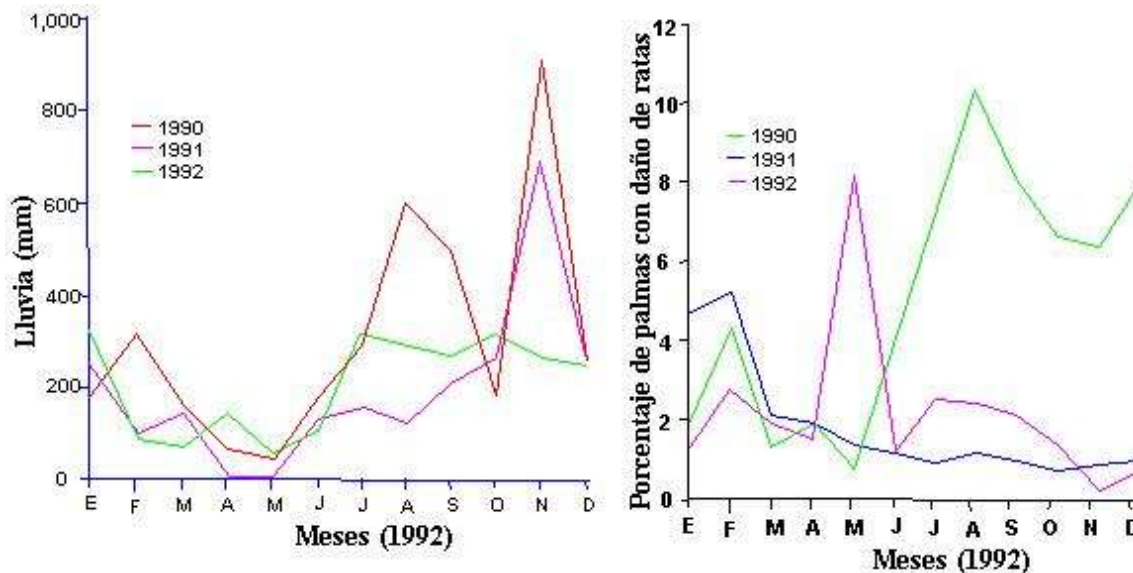


Fig. 2. Precipitación mensual (A) y población estimada de ratas con base al daño en las bases peciolares de palmas jóvenes (B). Costa Atlántica de Honduras

La presencia de una mayor cantidad de individuos de *B. platypterus* y de *E. caeruleus* en el área (Fig. 1), se relacionó con el aumento de la población de ratas durante ese período (mayo, 1992). La actividad de las aves avistadas de estas dos especies, no parece responder a movimientos migratorios grandes, sino más bien a desplazamientos dentro del área en busca de alimento.

El uso del brodifacoum se suspendió durante las primeras semanas de setiembre de 1992 y se sustituyó por Warfarina y Racumín, con el objeto de no causar daño a la población de depredadores de las ratas. Las aves aparentemente más afectadas con el uso del brodifacoum fueron el "gavilán pollero" y el "querque". El cambio en el tipo de anticoagulante usado se asoció con un leve aumento en el número de individuos de *B. platypterus* observados durante los recorridos, pero no en la población de *E. caeruleous*. El nivel de daño causado por las ratas si mostró una tendencia a disminuir.

Variación estacional en el porcentaje de palmas dañadas por las ratas

El porcentaje mayor de palmas que presentaban daños recientes atribuibles a la actividad de las ratas, se observó durante los meses de mayor precipitación (Fig. 2). El aumento del daño observado en mayo de 1992, se asoció a la suspensión del programa de colocación de cebos de brodifacoum. El incremento observado en julio de 1990, fue asociado a la suspensión de las actividades de combate debido a un problema laboral. Las diferencias en magnitud de los picos de daño, probablemente se deban a la época del año en que se interrumpió el combate. En abril, la precipitación fue baja (Fig. 2), y la población de ratas también fue menor. En junio, las lluvias se habían establecido y la proporción de palmas dañadas por ratas aumentó.

El aumento en el nivel de daño en los meses más lluviosos se asocia con condiciones más favorables para la reproducción y la actividad del animal. El crecimiento de gramíneas de porte alto, particularmente *Paspalum fasciculatum*, en áreas de drenaje superficial pobre, fue especialmente favorable para la proliferación de los roedores.

Conforme la palma de aceite se desarrolla, el daño causado por las ratas disminuye, hasta desaparecer prácticamente al finalizar el período improductivo. Las especies de ratas en Centroamérica, concentran su ataque en las bases peciolares y el tallo cerca de la superficie del suelo, y no acostumbran subir a la planta. Por otro lado, con el inicio de las actividades de la cosecha, el área es visitada frecuentemente, y se realiza la llamada "poda sanitaria" de la planta (hojas más viejas y racimos maduros o podridos), lo cual crea un ambiente menos favorable para la actividad de las ratas.

Cuantificación del daño causado por las ratas

El daño por ratas tiende a repetirse en las mismas plantas, particularmente en aquellas que crecen en condiciones que favorecen el ataque (mal drenaje por ejemplo). De esta manera, al momento de la primera evaluación, es posible que las plantas con daño mediano y severo, hubiesen sido atacadas previamente durante algún tiempo.

Todos los parámetros vegetativos fueron adversamente afectados en las plantas dañadas por las ratas (Figs.3-5). Un mayor nivel de daño se relacionó con una reducción en el crecimiento vegetativo. El número de racimos producidos, en el período también fue menor en las palmas afectadas (Fig. 5).

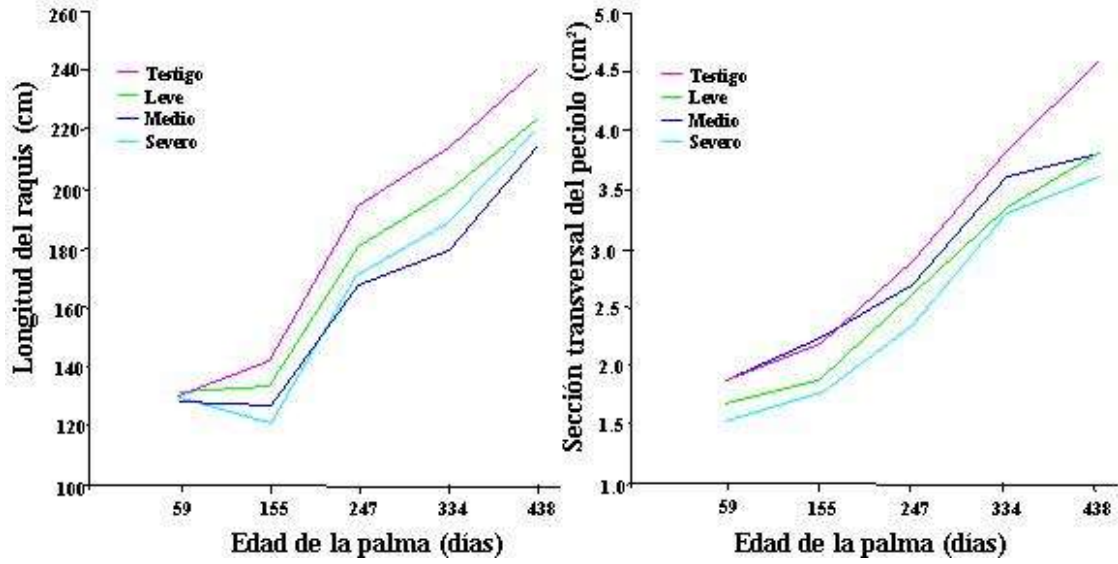


Fig. 3. Largo del raquis (A) y sección transversal del peciolo (B) en palmas jóvenes que sufrieron diferentes grados de daño por ratas.

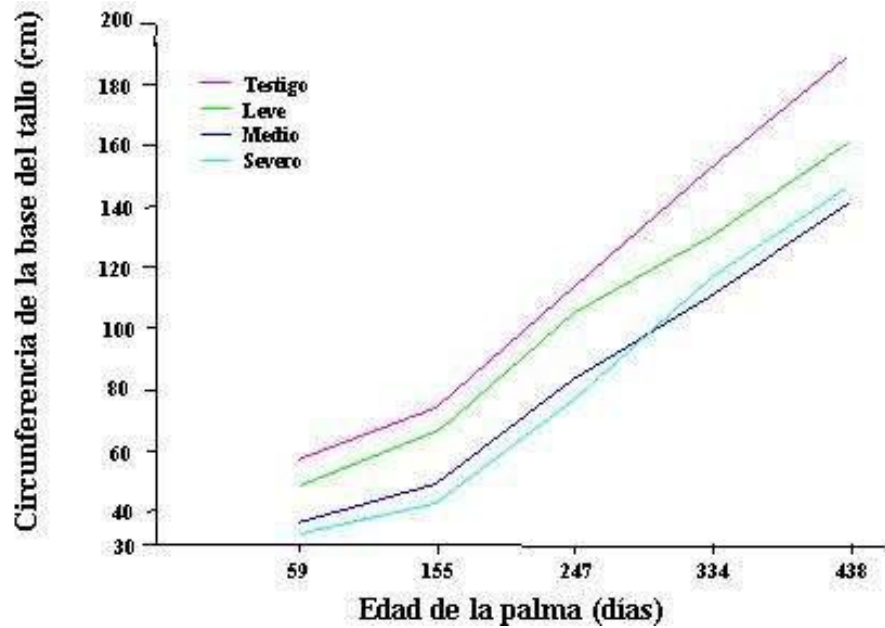


Fig. 4. Circunferencia de la base de palmas jóvenes que sufrieron diferentes grados de daño por ratas. Costa Atlántica de Honduras

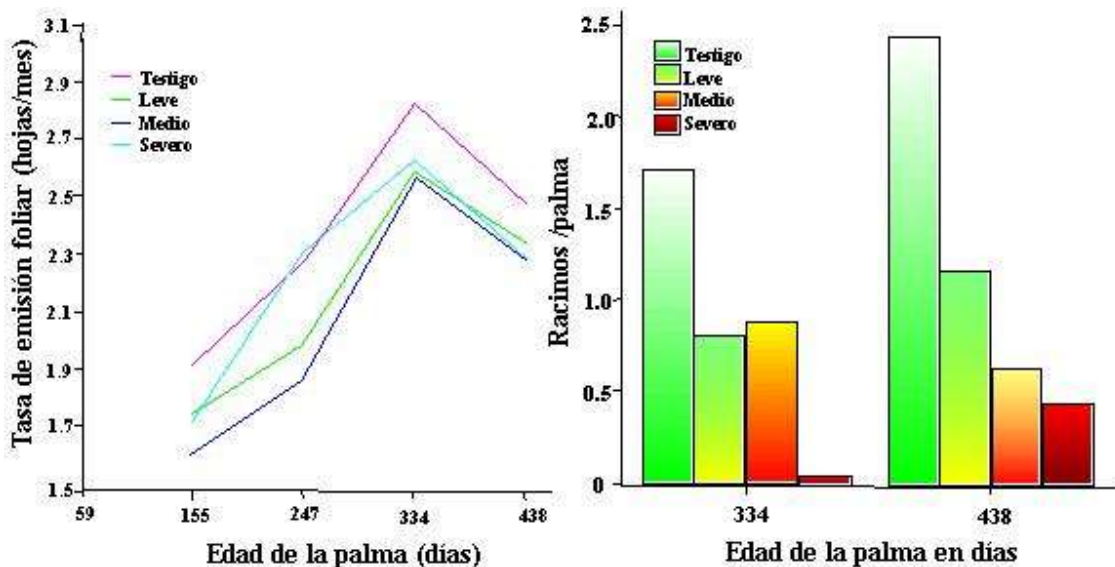


Fig. 5. Tasa de emisión foliar (A) y número de racimos/planta (B) en palmas con diferentes niveles de daño causado por ratas. Honduras, costa Atlántica

CONCLUSIONES

El entusiasmo inicial que se tenía sobre la posibilidad de lograr un control biológico de vertebrados ha ido disminuyendo conforme se conocen más aspectos de las relaciones depredador-presa. Por ejemplo, las aves depredadoras parecen simplemente actuar como un regulador de la población de presas que están por encima de la capacidad de carga del ambiente ("carrying capacity"). Esto significa que su papel se reduce a eliminar una población sobrante de individuos, particularmente aquellos más débiles y enfermos. El efecto final de este tipo de actividad más bien favorece a la población de la presa al seleccionar a los individuos más fuertes (Wood 1986).

En Malasia se ha observado que *Tyto alba* caza con preferencia ratas de mayor peso corporal, los cuales son machos en su mayoría. Esto puede ocurrir debido a una mayor movilidad de los machos. Siendo esto así, la actividad de los búhos puede cambiar la razón de sexo de la población de ratas hacia una abundancia de hembras, lo cual más bien aumentaría la tasa de reproducción y la población inicial de ratas se mantendría o tendería a subir (Lim et al. 1991).

La población de depredadores de vertebrados es afectada por la abundancia de la presa. Lo contrario no parece ser cierto. Sin embargo, si el ambiente se manipula de tal manera que solo puede soportar una población menor de roedores, entonces los depredadores podrían efectivamente ayudar a mantener la población en el límite de la nueva capacidad de carga del ambiente modificado. De igual manera, cuando se utiliza algún método de control tal como el uso de anticoagulantes, una alta población de depredadores puede ayudar a alargar el período en que las poblaciones de la presa recuperen su nivel inicial (Wood 1986).

La introducción de depredadores vertebrados en un nuevo ambiente, puede crear problemas adicionales a los ya existentes. Algunas aves depredadoras han preferido a aves nativas para su

alimentación, por ser más fáciles de localizar y matar que las ratas. La situación se ha complicado cuando el depredador ataca animales domésticos (Wood 1986).

El combate de los roedores debe tener un enfoque integral. Lo más importante es el manejo del ambiente en el palmar, de tal manera que sea lo más inhóspito posible para las ratas. Se ha hecho énfasis en la destrucción de los sitios que puedan ser utilizados por las ratas para refugiarse y reproducirse. Tales sitios incluyen montones de piedras, ramas, basura etc. En particular deben rellenarse huecos y otras depresiones que utilizan las ratas para tener sus crías. La experiencia también señala que debe mantenerse un combate razonable de malezas en las entrelíneas y que las "coronas" o "círculos" alrededor de cada planta estén bien limpias. Los taludes de los drenajes cuando están invadidos por malezas son utilizados por las ratas para excavar sus madrigueras (PCARRD 1985).

Las ratas proliferan en áreas con crecimiento de gramíneas de porte alto, tal como el "gamalote", *Paspalum fasciculatum*. Este, y otro tipo de gramíneas prevalecen en áreas con drenaje superficial pobre, lo cual ofrece un ambiente particularmente adecuado para la proliferación de las ratas (PCARRD 1985).

Dado que las ratas evitan moverse por áreas desnudas de vegetación, se ha recomendado mantener franjas libres de malezas en áreas que colindan con terrenos infectados por los roedores.

LITERATURA CITADA

- CHINCHILLA, C.MI. 1993. Fauna perjudicial y enfermedades en palma aceitera. ASD de Costa Rica, Costa Rica. 134 p.
- CORLEY, R.H.V.; BREURE, C.J. 1981. Measurements in oil palm experiments. London, Unilever Plantation Group. 35 p.
- GATES, C.E.; MARSHALL, W.H.; OLSON, D.P. 1986. Line transect method of estimating grouse population densities. Biometrics 24: 135-145. In Studies in avian biology, N°6: 202-208. 1981.
- DUCKETT, J.E. 1982. Barn owl (*Tyto alba*) and the "second generation" rat bait utilized in oil palm plantations in Peninsular Malasia. The Planter, Malasia, 60: 3-11.
- DUCKETT, J.E. 1982. Barn owls (*Tyto alba*). A proven natural predator of rats in oil palm. In. Pushparajah, E. and Soon, C.P. (eds.) The Oil Palm in the Eighties, Kuala Lumpur, Malasia. The Incorporated Society of Planters, p. 461-473.
- DUCKETT, J.E.; KARUPPUAH, S. 1989. A guide to the planter in utilizing barn owl (*Tyto alba*) as an effective biological control of rats in mature oil palm plantations. In. PORIM International oil palm Development Conference. Proceedings, Malasia, p. 357-372.
- HALL, T; HOWARD, W.E.; MARSH, R.E. 1981. Raptor use of artificial perches. Wildlife Society Bulletin, 9(4), Winter.
- HILJE, L. 1992a. Biología y ecología de los roedores plaga en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas, Costa Rica, 23: 17-25.
- HILJE, L. 1992b. Daño y combate de los roedores plaga en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas, Costa Rica, 23: 32-38.
- LIM, J.L.; VISALINGAN, M.; BUCKLE, M.; FENN, M.G.P. 1991. Prey selection by barn owl (*Tyto alba*) and its impact on rat control in an oil palm plantation. In.

- PORIM International oil palm Conference (1993, Kuala Lumpur, Malasia).
Proceedings. Kuala Lumpur, p. 458-465.
- LIAU, S.S.; CHUNG, G.F.; SIM, S.C.; HO, C.T. 1991. Rat species and distribution in West Malasian plantations. In. PORIM International oil palm Conference (1993 Kuala Lumpur, Malasia). Proceedings. Kuala Lumpur, p. 511-515.
- MOHD MAT MIN. 1985. Current experiences on rat control in Peninsular Malasia oil palm plantations. *Planter, Malasia*, 61: 477-488.
- PHILIPPINE COUNCIL FOR AGRICULTURE AND RESOURCES (PCARRD). 1985. The Philippines recommends for rodent control. Technical Bulletin Series N° 57. Los Baños. 55 p.
- WOOD, B.J. 1982. The present status of pests in oil palm estates in South Asia. In. *The Oil Palm in Agriculture in the Eighties*. Pushparajah, E. and Soon, C.P. (eds.). Kuala Lumpur, The Incorporated Society of Planters, p. 499-518.
- WOOD, B.J. 1986. Biological control of vertebrates, a review and an assessment of prospects for Malasia. In. *Biological Control in the Tropics*. Hussein, M.Y.; Ibrahim, A.G. (eds.). Proceedings. Kuala Lumpur, p.415-435.

Relación de equilibrio entre el contenido de humedad de las almendras de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) producida en Costa Rica y la humedad relativa del aire

Ronald Jiménez¹, Manuel Zeledón, Ramiro Alizaga

RESUMEN

Se desarrollaron isotermas de equilibrio higroscópico para la almendra de palma aceitera procedente de dos zonas en Costa Rica: Coto y Quepos. El estudio comprendió el ámbito de humedades entre 4 y 15% b.h. y dos temperaturas (25 y 32°C). Para las determinaciones de humedad relativa se utilizó el medidor de punto de rocío protómetro, y para el contenido de humedad se utilizó un horno de convección forzada. No se detectaron diferencias significativas en los contenidos de humedad de equilibrio (CHE) obtenidos en las dos regiones estudiadas. Igualmente, no se observaron variaciones importantes por efecto de la temperatura. El análisis de regresión reveló, que el modelo polinomial de tercer grado es el que mejor explica la variación del contenido de humedad de la almendra en función de la humedad relativa de equilibrio. Finalmente se combinaron todos los datos y se calculó una ecuación general de mejor ajuste, lo cual permitió generar una tabla de valores de CHE, que puede aprovecharse como herramienta complementaria para la toma de decisiones en el secamiento y almacenamiento de la almendra de palma aceitera.

INTRODUCCION

El agua (humedad) contenida en los productos agrícolas, ejerce una presión de vapor que varía según el tipo de material y su contenido de humedad. Cuando la presión de vapor del producto es igual a la presión de vapor en el aire circundante, la humedad del material es conocida como contenido de humedad de equilibrio (CHE), y la humedad relativa del aire, como humedad relativa de equilibrio (HRE).

Productos agrícolas distintos, aún cuando sometidos a las mismas condiciones de temperatura y humedad relativa, presentan humedades de equilibrio diferentes.

Los valores de humedad de equilibrio varían según la composición química del producto, el historial de manejo y las técnicas de medición de la HRE y del CHE. Diferencias en el CHE han sido encontradas entre variedades de una misma especie, entre granos de un mismo lote, según su estado de madurez y el manejo (Brooker et al. 1981).

El secamiento artificial, por ejemplo, puede reducir el CHE de algunos productos, como el maíz, entre 0,5 y 1,0%, como resultado de pequeños cambios químicos que ocurren durante el proceso, especialmente cuando los granos alcanzan temperaturas superiores a 60°C (Tuite y Foster, citados por Foster 1982).

¹ CIGRAS, Facultad de Agronomía, Univ. de Costa Rica, Costa Rica. Authors received support from the National Council for Scientific and Technological Research (CONICIT), Costa Rica

El subsoleo en palma aceitera

Rubén A. Ortiz¹

El subsoleo es una práctica de labranza de la parte sub-superficial del suelo, con la que no se produce inversión de prismas, y tiene el propósito de romper las capas compactadas del suelo que restringen el movimiento del agua, del aire y la penetración de raíces (Soil Conservation Society of America 1982).

El principal implemento agrícola usado es el subsolador, "una pieza metálica, pesada y de gran resistencia, la cual al introducirse en el suelo y ser tirada por un tractor, causa la ruptura de las capas compactadas". El subsoleo se realiza para aflojar el suelo, aumentar la aeración, mejorar el drenaje y la distribución de la humedad, destroncar y despedregar, todo ello para favorecer el crecimiento radicular.

Cuando un suelo presenta compactación o drenaje interno impedido, el crecimiento de las raíces es restringido, se limita la captura de humedad y se incrementa la escorrentía y la erosión. Rice (1983), señaló que los cultivos con un desarrollo radicular restringido en el horizonte superficial, nunca llegan a alcanzar su potencial de producción.

En general, el subsoleo permite aumentar la producción de varios cultivos como la soya y el maíz, en terrenos donde se realiza labranza mínima (griffith et al. 1986; Ortiz 1985)

La época apropiada para realizar el subsoleo está determinada por la estación de siembra del cultivo, el tipo de suelo, el contenido de humedad del suelo, el clima y la susceptibilidad del suelo a la erosión. Como ejemplo, en los Estados Unidos se recomienda hacer esta práctica en suelos pesados durante el otoño, cuando tienen el grado óptimo de humedad proveniente de la precipitación (y no solamente de la irrigación) (Green et al. 1981).

Cassel (1979) indica que los subsoladores tienen otros usos además de romper las capas compactadas del suelo. Con ellos se puede halar una masa metálica con forma de "bala" o similar (aguilón), a través de suelos arcillosos húmedos para crear un orificio que permite el drenaje o la irrigación sub-superficiales.

Cuando el suelo está húmedo se requiere de menos energía para el subsoleo, pero el volumen de suelo que es disturbado disminuye. Por lo general, el mayor beneficio se logra cuando el suelo está relativamente seco (London 1991). Según Cassel 1979, el ámbito óptimo de humedad se encuentra entre 1 y 9.8 bares (3 y 44 pF), lo que corresponde a una condición cercana a la capacidad de campo (London 1991)

En plantaciones ubicadas en regiones con un ecosistema de bosque húmedo tropical, posiblemente nunca se logra alcanzar el momento "óptimo" para el subsoleo. Por ejemplo, en las plantaciones de palma aceitera del Grupo Numar en Coto (Costa Rica), la "ventana" para realizar esta labor es muy corta. Contrariamente, en la región de Quepos (Costa Rica) y San Alejo

¹ Chiquita Productivity Improvement Group. Apdo. 217-1150 La Uruca

(Honduras), se presenta una época seca más larga que permite una mayor flexibilidad para realizar el subsoleo.

Como beneficio del subsoleo, se menciona la reducción en la densidad y dureza, y el incremento en el volumen de macroporos del suelo, lo cual mejora la aeración y el drenaje interno y aumenta la tasa de infiltración del agua (Caliman et al.1990). En estudios realizados en Coto, se encontró que el contenido de humedad y la porosidad (poros grandes) ejercen un efecto sobre la producción de palma aceitera de 61 y 18% respectivamente, (Durán et al.1993, Durán 1994).

En esta misma región, Ortíz y Durán (1993) encontraron que el subsoleo, más una pasada de rastra mejoraron el crecimiento y el rendimiento inicial de la palma aceitera, con relación al testigo sin labranza. En este experimento, todos los tratamientos donde se utilizó algún tipo de labranza mostraron un mejor crecimiento que el testigo (cero-labranza).

Donde no existen problemas de compactación o drenaje, no es necesario subsolar. Si hubiese horizontes compactados, entonces, es importante considerar los beneficios económicos del subsoleo u otra práctica de labranza.

Literatura citada

- Caliman, J.; Concaret, J; Aubry M., 1990. Labor de subsoleo en una plantación de palma aceitera. Presentación del implemento adecuado y de las condiciones de realización. *Oleagineaux* 45(8-9):393-394.
- Cassel, D.K. 1979. Subsoiling. *Crops and Soils*. American Society of Agronomy. Madison, WI. p. 7-10.
- Durán, N.; Ortíz, R.A.; de Bruin, S. 1993. Utilización de tensiómetros para la medición del status de humedad del suelo y su relación con la producción de palma aceitera. Congreso Agronómico Nacional. San José, Costa Rica p. 217.
- Durán, 1994. Evaluación del efecto de algunas propiedades físicas de suelos y precipitación en la producción de palma aceitera. Congreso Técnico. Grupo Numar. Coto 47. Costa Rica.
- Green, D.; Woolley, D.G.; Mullen, R.E. 1981. *Agronomy Principles and practices*. Burgess Publishing Company. Minneapolis, MN. p. 134-149.
- Griffith, D.R.; Manneuring, J.V.; Box, J.E. 1986. Soil and moisture management with reduced tillage. In Sprague M., and F. Triplett (Eds.) *No-tillage and Surface-Tillage Agriculture*. John Willey P. and Sons. New York. p. 19-58.
- London, J. R. (Ed.). *Booker tropical soil manual*. Longman Scientific and Technical. London. p. 88.
- Ortiz, R.A.; Durán, N. 1993. Oil Palm growth as affected by different tillage systems. *American Society of Agronomy Agron. Abstr.* Madison, WI.
- Ortiz, R.A. 1985. Chemical and physical properties of long-term multiple cropping systems as affected by tillage. *Agronomy Dept. IFAS*. University of Florida. Gainesville. 127p.
- Rice, R.W. 1983. *Fundamentals of no-till farming*. American Association for vocational Instructional Materials. Athens, GA. p. 59-60.
- Soil conservation Society of America. 1982. *Resource conservation glossary*. Soil Conservation Society of America. Third Edition. Ankeny, IA. p. 171.

Los productos oleaginosos, entre los que se cuenta la almendra de la palma aceitera, presentan un CHE menor que el encontrado en productos amiláceos (alto contenido de almidón); esto debido a que toda el agua de un grano aceitoso se concentra en su porción hidrófila (Booth 1984).

Existe poca información referente a la HRE de ciertos productos agrícolas, en especial aquellos de las regiones tropicales. Por ejemplo, en la recopilación de Gough y Lippiatt (1977) se cita sólo una referencia (Somade 1955) sobre la almendra de palma aceitera. En este estudio se señala que almendras producidas en Nigeria (no se indica el material genético), alcanzaron una humedad de equilibrio de 5,6% a una H.R. de 68,6% después de un proceso de desorción (secamiento). Otras muestras que sufrieron un proceso de adsorción (humedecimiento) para llegar al equilibrio en el mismo ambiente, alcanzaron un CHE de 4,9%. La temperatura ambiente, que no fue controlada, osciló entre 24,5 y 31°C. Este trabajo establece claramente el fenómeno de histéresis en la almendra de palma y aporta información única y valiosa, pues no se tiene conocimiento de otros trabajos similares.

A pesar de esto, las normas de manejo pos-cosecha que puedan derivarse de los resultados anteriores, no pueden ser aplicados directamente a las situaciones existentes en las zonas productoras de palma aceitera en Costa Rica. En particular, porque los materiales nigerianos y los locales pueden diferir en composición química; y porque el manejo pos-cosecha en ambos casos podría ser distinto. Estos factores, y otros más, afectan las relaciones de equilibrio higroscópico y por lo tanto, las conclusiones que puedan derivarse del citado trabajo.

Dada la situación expuesta, el objetivo de este estudio fue desarrollar las curvas de humedad de equilibrio para la almendra de palma aceitera que se produce en Costa Rica y generar información para su utilización.

MATERIALES Y METODOS

Recolección y preparación de las muestras

Se recolectaron muestras de almendra de palma aceitera de tres plantas extractoras en Costa Rica. Una de ellas está situada en el Pacífico sur (Coto), y las otras dos en la costa central pacífica (Quepos: Naranjo y Palo Seco).

Las muestras se obtuvieron de las plantas extractoras, luego de que las almendras pasaron por todas las etapas del proceso usual, exceptuando el secado. Su contenido de humedad inicial era alto, mayor de 20% con base húmeda (b.h.). Las muestras se llevaron al Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS), de la Universidad de Costa Rica, donde se limpiaron de impurezas como fibras de mesocarpio, residuos de endocarpio y fragmentos pequeños de almendras y cualquier otra materia extraña.

Las muestras limpias se dividieron en lotes de 10 kg cada uno, y se secaron con aire forzado a temperaturas entre 60 y 80°C, simulando las condiciones reales de operación del proceso industrial. A intervalos entre 15 y 30 minutos, se sacaron sub-muestras de 0,4 kg, cada una a humedad diferente, con el propósito de cubrir todo el ámbito de humedades frecuentes en el secamiento y almacenamiento (15% - 4% b.h.). Las primeras sub-muestras obtenidas del secador alcanzaron temperaturas más bajas que las últimas. Todas las sub-muestras, una vez enfriadas a temperatura ambiente, se empacaron herméticamente y se almacenaron en una cámara de refrigeración a 10 ± 2 °C, para uniformizar la humedad y evitar el desarrollo de hongos.

Determinación del contenido de humedad

Se emplearon sub-muestras de 60g de almendra sin triturar, que fueron secadas a 120 °C durante 12 horas en un horno de convección forzada. La determinación de la humedad de cada muestra se hizo por triplicado.

El método referido se emplea rutinariamente en los laboratorios de las plantas extractoras en Costa Rica. En pruebas preliminares se verificó que se obtienen valores de humedad prácticamente iguales si se realiza la determinación con almendras enteras o con almendras trituradas.

Cuantificación de la humedad relativa de equilibrio (HRE)

Para medir la HRE se utilizó un protímetro (medidor del punto de rocío). Este instrumento, además de la temperatura del bulbo seco, mide directamente la temperatura del punto de rocío, ya que su celda sensoria detecta por medios óptico-electrónicos, la temperatura del rocío que se deposita en la superficie de un espejo de oro sólido al ser enfriado eléctricamente. El protímetro se calibró previamente, colocando su celda sensoria en diferentes microambientes de humedad relativa y temperatura conocida, producidos con soluciones de sales saturadas. Luego de un período de reposo, se registraron las lecturas de la temperatura del punto de rocío y del bulbo seco del medidor. Seguidamente se calcularon las humedades relativas utilizando las ecuaciones psicrométricas (ASAE 1984) y se compararon con los valores obtenidos con las sales saturadas (método de referencia). Se hizo un análisis de regresión y se obtuvo la ecuación de mejor ajuste (o de calibración).

Para determinar la humedad relativa, se colocaron muestras de 125 g de almendra en recipientes de vidrio de 230 ml sellado herméticamente la abertura con un tapón de hule ajustado a presión. Los envases se colocaron en una cámara a temperatura controlada, en donde se dejaron reposar por un lapso no menor de 48 horas. Posteriormente, se retiró el tapón y se colocó el sensor del medidor dentro del recipiente. Una vez alcanzado el equilibrio higroscópico (aproximadamente dos horas después), se hicieron las lecturas definitivas de la temperatura del punto de rocío, la temperatura del bulbo seco y de la humedad relativa. Este procedimiento se realizó por duplicado para cada una de las sub-muestras.

Todas las pruebas se realizaron a dos temperaturas, 25 y 32 °C, que representan en promedio los extremos a los que la almendra está expuesta durante su almacenamiento bajo techo en las zonas donde se efectuó el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Isotermas de humedad de equilibrio

La relación entre el contenido de humedad de un material y la humedad relativa de equilibrio a una temperatura dada, puede representarse gráficamente como una curva de humedad de equilibrio. Estas curvas se denominan isotermas, debido a que los valores graficados para cada curva corresponden a una temperatura específica (Brooker et al. 1981).

Las isotermas de humedad de equilibrio a 25 y 32°C, obtenidas para las almendras de las diferentes áreas en estudio se presentan en las figuras 1-3. Asimismo, en las figuras 4 y 5, se

muestran las isotermas correspondientes a las ecuaciones generales de mejor ajuste para cada una de las temperaturas y la curva de equilibrio higroscópico correspondiente a la ecuación general de mejor ajuste para todas las áreas analizadas.

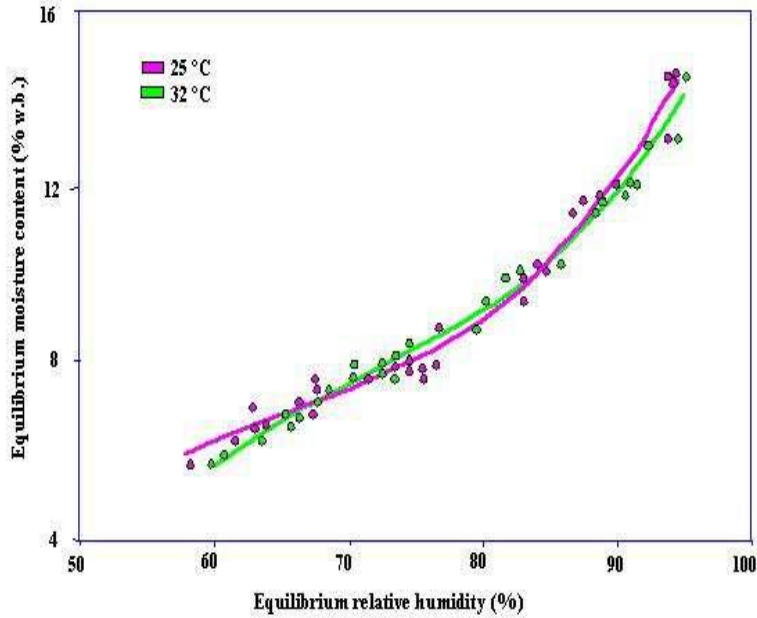


Fig. 1 Isotermas para la relación entre el contenido de humedad de equilibrio (25 y 32°C) en almendras de palma aceitera obtenidas en Coto, Costa Rica

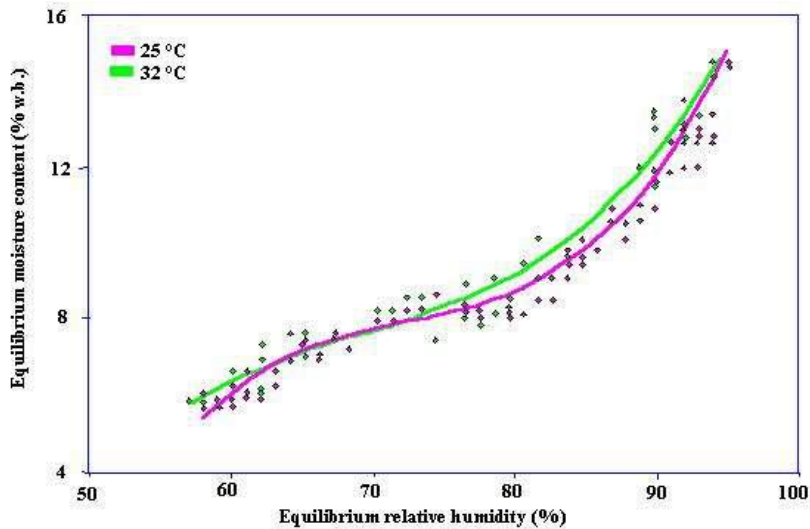


Fig. 2. Isotermas para la relación entre el contenido de humedad de equilibrio (25 y 32°C) en almendras de palma aceitera obtenidas en Naranjo (Quepos), Costa Rica

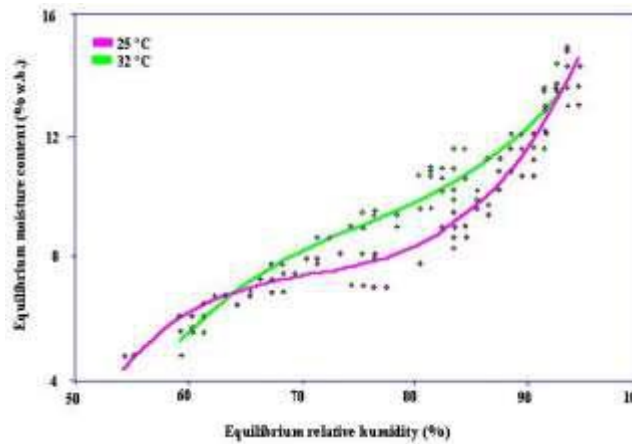


Fig. 3. Isothermas para la relación entre el contenido de humedad de equilibrio (25 y 32 °C) en almendras de palma aceitera obtenidas en Palo Seco (Quepos), Costa Rica

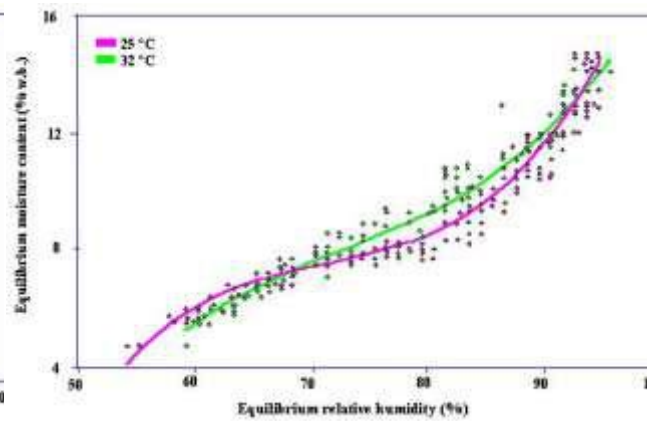


Fig. 4. Isothermas de equilibrio higroscópico para almendras obtenidas de tres plantas extractoras en Costa Rica

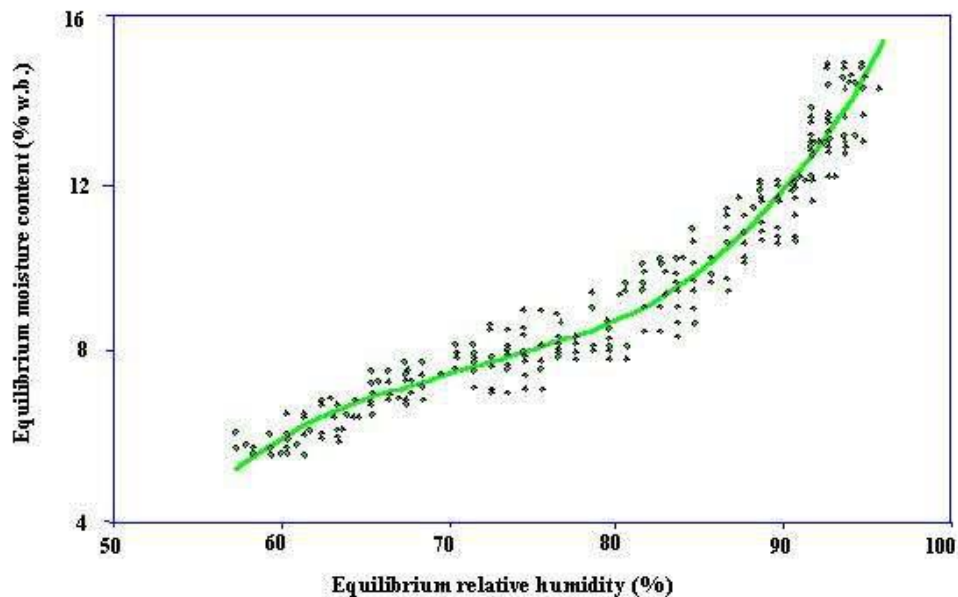


Fig. 5. Relación entre la humedad relativa y el contenido de humedad de cambio en almendras de palma aceitera obtenidas de tres extractoras en Costa Rica

Análisis de regresión

Para determinar la ecuación que mejor explicase la relación de equilibrio existente entre las dos variables, CHE y HRE, se examinaron cinco modelos de regresión básicos: cuatro polinomiales (lineal, cuadrático, cúbico y cuadrático) y el exponencial. Los parámetros que sirvieron para comparar los modelos analizados fueron el coeficiente de determinación (R^2), y el error estándar de la estimación (s.e.), que en este caso representa el error, en porcentaje sobre base húmeda, en que se incurre cuando se utiliza el modelo para estimar el contenido de humedad de equilibrio del producto. Además, se utilizó como criterio de decisión el comportamiento mostrado por las

diferencias entre el valor experimental del contenido de humedad de equilibrio y el valor estimado por el modelo (residuos).

El análisis de regresión reveló en todos los casos, que el modelo polinomial de tercer grado explica mejor la variación del contenido de humedad de la almendra en función de la humedad relativa de equilibrio.

La comparación de los modelos polinomiales de tercer y cuarto orden indicó que, aunque muy similares en distribución (R^2 y s.e. semejantes), los residuos presentaron un mejor ajuste con el modelo cúbico. Este comportamiento, junto al hecho de que la ecuación cúbica es más simple, llevaron a la conclusión de que el modelo polinomial es el que mejor explica la relación entre la HRE y el CHE para la almendra de la palma aceitera.

Una comparación similar se efectuó entre los modelos exponencial y cúbico para cada temperatura y zona de producción estudiada. De manera general, se comprobó que para el ámbito de Las curvas de mejor ajuste obtenidas con los modelos de tercer orden tienen forma sigmoide, lo cual concuerda con lo establecido en la clasificación de Brunauer, de que las curvas isotermas de humedad para granos pertenecen al tipo II, conocidas como isotermas sigmoideas o en forma de S (Henderson y Perry 1976).

El cuadro 1 muestra los coeficientes de las ecuaciones de mejor ajuste, para una humedad relativa en el ámbito de 35% a 95% así como los coeficientes de determinación y los errores estándar de las estimaciones correspondientes para cada una de las zonas productoras y temperaturas analizadas. La ecuación de mejor ajuste se expresa de la siguiente manera:

$$CHE = a + b*HRE + c*HRE^2 + d*HRE^3 \quad (1)$$

donde:

CHE = contenido de humedad de equilibrio, % b.h.

HRE = humedad relativa de equilibrio, %

a,b,c,d = constantes

La literatura señala que la relación de equilibrio CHE/HRE para la mayoría de los productos agrícolas varía con la temperatura (Brooker et al. 1981), pero en esta investigación no se observó claramente este fenómeno, lo cual se atribuye al estrecho ámbito de temperaturas utilizado (Fig. 4). Con base en este resultado, y en el hecho de que tampoco se encontraron diferencias importantes en los valores del CHE obtenidos para los tres sitios estudiados, se procedió a calcular una ecuación, que de manera general relacionase la humedad relativa del aire con el respectivo contenido de humedad de equilibrio de la almendra de la palma aceitera, bajo las condiciones de temperatura imperantes en las zonas productoras del país. Al igual que en los casos particulares, el modelo de tercer orden fue el que mejor explicó la relación de equilibrio existente (Fig. 5). La ecuación resultante fue:

$$CHE = -116,823 + 5,037*HRE - 6,927 \times 10^{-2} *HRE^2 + 3,241 \times 10^{-4} *HRE^3 \quad (2)$$

El coeficiente de determinación (R^2) es de 0,954 y el error en la estimación (s.e.) es de \approx 0,55%. La ecuación anterior se empleó para generar el Cuadro 2.

El contenido de humedad de equilibrio y su relación con el secamiento y almacenamiento

El concepto del contenido de humedad de equilibrio es útil en el secamiento y el almacenamiento de productos agrícolas, ya que se utiliza para prever si un producto ganará o perderá humedad durante el almacenamiento bajo condiciones específicas de temperatura y humedad relativa.

El propósito del secamiento de un producto agrícola, es reducir su humedad hasta un nivel en equilibrio con una cierta humedad relativa comprobada como segura para el almacenamiento. La actividad de hongos es muy reducida a humedades relativas inferiores a 60%, por lo que la almendra con un contenido de humedad de 6,0% (Cuadro 2) puede considerarse seca y lista para el almacenamiento a largo plazo, (de seis meses a un año).

Bajo ciertas restricciones, como la de utilizar el producto dentro de un período relativamente corto después del secado, es factible mantener la almendra a contenidos de humedad ligeramente superiores, pero siempre dentro del ámbito considerado seguro. Al respecto, Foster (1982) indica que los hongos de almacenamiento crecen muy lentamente a humedades relativas por debajo de 70%. Considerando lo anterior, se puede derivar de la figura 5, que en general es riesgoso almacenar las almendras a contenidos de humedad superiores a 7,5%, que es la humedad en equilibrio con aire a una humedad relativa de 70% (Cuadro 2).

Los resultados de este trabajo discrepan de lo informado por Somade (1955), quien en general obtuvo valores de HE más bajos. La mayor diferencia fue de 1,8% y se presentó a una humedad relativa de 75%. Es posible que las diferencias observadas se originen en variaciones en la constitución genética de los materiales (almendras) utilizados en ambos trabajos, así como en el manejo pos-cosecha a que fueron sometidos. Es importante destacar las técnicas de determinación del contenido de humedad y la humedad relativa, que fueron diferentes en ambos estudios.

Desafortunadamente, las diferencias entre el trabajo de Somade y el presente se dan primordialmente en un ámbito de humedad relativa (60-80% H.R.) sumamente importante, pues normalmente el almacenamiento de almendras en las zonas productoras de Costa Rica se lleva a cabo bajo esas condiciones ambientales.

Si se utilizaran los resultados de Somade para derivar recomendaciones para el manejo pos-cosecha de la almendra en el país, se incurriría en prácticas de secado que favorecerían la remoción innecesaria de agua, con el consiguiente costo. Estas consideraciones apuntan a la conveniencia de generar información, con base en ensayos con los materiales genéticos en uso y bajo las condiciones locales.

En relación con los posibles efectos de las condiciones de secado de las muestras experimentales en el laboratorio, no se observaron indicios de discontinuidad en los datos generados en este estudio, tal y como se muestra en las figuras 1,2 y 3, por lo que los cambios químicos o físicos que pudieron haber ocurrido durante el secamiento, no tuvieron efectos observables en el comportamiento del equilibrio higroscópico de la almendra.

Cuadro 1. Coeficientes de regresión, de determinación y errores estándar para las estimaciones de las ecuaciones de mejor ajuste entre CHE y ERH de almendras de palma aceitera

Plantación	Coeficientes de regresión	
	25°C	32°C
Coto		
a	-55.692	-77.688
b	2.612	3.28
c*10 ⁻²	-3.773	-4.379
d*10 ⁻⁴	1.899	2.045
R ²	0.983	0.988
S.E.(% b.h.)	0.336	0.265
Naranja		
a	-164.665	-84.647
b	6.954	3.756
c*10 ⁻²	-9.448	-5.245
d*10 ⁻⁴	4.33	2.518
R ²	0.973	0.955
S.E.(% b.h.)	0.432	0.57
Palo Seco		
a	-140.804	-125.211
b	6.139	5.063
c*10 ⁻²	-8.56	-6.549
d*10 ⁻⁴	4.021	2.911
R ²	0.957	0.931
S.E.(% b.h.)	0.592	0.638
Todos los datos		
a	-130.67	-89.593
b	5.654	3.722
c	-7.816	-4.913
d	3.656	2.258
R ²	0.955	0.951
S.E (%b.h.)	0.55	0.56

Cuadro 2. Relación de equilibrio entre la humedad relativa del aire y el contenido de humedad de la almendra de la palma aceitera. Costa Rica

Humedad relativa (%)	Contenido de humedad (% w.b.)
50	2.4
51	2.9
52	3.4
53	3.8
54	4.2
55	4.6
56	4.9
57	5.3
58	5.5
59	5.8
60	6
61	6.3
62	6.4
63	6.6
64	6.8
65	6.9
66	7.1
67	7.2
68	7.3
69	7.4
70	7.5
71	7.6
72	7.7
73	7.8
74	7.9
75	8.1
76	8.2
77	8.3
78	8.4
79	8.6
80	8.8
81	8.9
82	9.2
83	9.4
84	9.6
85	9.9
86	10.2
87	10.5
88	10.9
89	11.3

90	11.7
91	12.2
92	12.7
93	13.2
94	13.8
95	14.4
96	15.1
97	15.8
98	16.6
99	17.4

Valores de equilibrio higroscópico para un ámbito de temperaturas entre 25 °C y 32 °C

LITERATURA CITADA

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. 1984. ASAE Standards. 31 ed. St. Joseph, MI., The Society. p.38-40.
- BOOTH, G. 1984. Post-harvest handling and storage. Part III: Pulses, Oil seeds, and Nuts. *Agribusiness Worldwide* (May/ June):19-38.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. 1981. *Drying Cereal Grains*. 4 ed. Westport, Conn., The AVI Publishing Co. p. 69-87.
- FOSTER, G.H. 1982. Drying cereal grains. In *Storage of Cereal Grains and their Products*. Ed. by C.M. Christensen. St. Paul, Minn., American Association of Cereal Chemists. p.86.
- GOUGH, M.C.; LIPPIATT, G.A. 1977. Moisture humidity equilibria of tropical stored produce. Part II. Oilseeds. *Tropical Stored Products Information* 34:49-61.
- HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L. 1976. *Agricultural Process Engineering*. 3 ed. Westport, Conn., The AVI Publishing Co.
- SOMADE, B. 1955. Moisture equilibrium of palm kernels. *Journal of Science, Food and Agriculture* 6:425-427.