



MODELO DE SIMULACIÓN DEL CULTIVO DE LA PALMA ACEITERA

Melado A.¹

Tutores: Hernández Díaz-Ambrona C.G.¹, Martínez-Valderrama J.²

¹Dpto. de Producción Vegetal: Fitotecnia. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid

²CSIC, Estación Experimental de Zonas Áridas, Almería

E-mail: angelamelado@gmail.com

RESUMEN

El cultivo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) en el mundo y, concretamente, en Honduras es el principal motivo que ha impulsado la realización de este trabajo. En él, se estudia la relación existente entre factores climáticos y edafológicos con los rendimientos en plantaciones de palma en Honduras. La producción mundial de aceite de palma en 2006 fue de 37 millones de toneladas, obtenidas en una superficie de 8,2 Mha. Actualmente se considera que es una posible fuente de energía renovable y de carburante líquido. Es un cultivo en expansión en las zonas tropicales y subtropicales, particularmente en Honduras. Su cultivo es susceptible a cambios climáticos y a las condiciones edafológicas, los cuales son determinantes de su rendimiento. En este trabajo se desarrolla un modelo de simulación dinámico, utilizando el software VENSIM® DSS versión 4.0, para estudiar el potencial de crecimiento y desarrollo de la palma en Honduras en relación con factores climáticos y edafológicos.

Palabras clave: *Elaeis guineensis*, cultivo oleaginoso, biodiesel.

INTRODUCCIÓN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) es un cultivo que se está expandiendo mucho en las zonas tropicales, como fuente de producción de biodiesel. Dicha palma, se cultiva en zonas de elevada pluviosidad (1500-2000 mm/año).

La palma aceitera es el cultivo oleaginoso que produce mayor cantidad de aceite por unidad de superficie y es muy utilizado para la producción de biodiesel. Una hectárea de palma produce el mismo aceite que 9 de girasol (*Helianthus annuus*), 10 de soja (*Glycine max*), 15 de maní (*Arachis hypogaea*), 30 de algodón (*Gossypium hirsutum*), y 35 de ajonjolí (*Sesamum indicum*) (Raygada, 2005). Tiene un contenido medio en aceite del 20% sobre el peso fresco del fruto. Asimismo, la eficiencia energética estimada es alta (1:9,5), mayor que las de otros cultivos, como la soja (1:2,15). La Unión Europea y la República Popular China son los principales importadores de aceite de palma, con más de cinco millones de toneladas cada uno, lo que supone el 38% del mercado.

La superficie plantada con palma de aceite en Honduras es de 100.000 ha, de las cuales 70.000 están en producción (INE, 2003). El rendimiento medio en fruto fresco de palma de aceite, en 1361 fincas contabilizadas, fue de 17,5 t/ha, con un rango entre 16 y 20 t/ha. Honduras produce 0,13 Mt de aceite (el 8% del total del aceite de América Latina). Ante la creciente demanda de esta producción (la Unión Europea ha aumentado por dos sus importaciones hasta alcanzar 5 Mt en 2007), el gobierno hondureño promueve nuevas plantaciones en 200.000 hectáreas.

Ante la expansión de su cultivo en nuevas zonas, el objetivo de este trabajo es construir un modelo de simulación del cultivo de la palma que relacione los factores edafoclimáticos con los fisiológicos del crecimiento y desarrollo del cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el presente trabajo, se realiza un modelo de simulación simple del cultivo de la palma aceitera, mediante el software Vensim® DSS. Este modelo simula el crecimiento

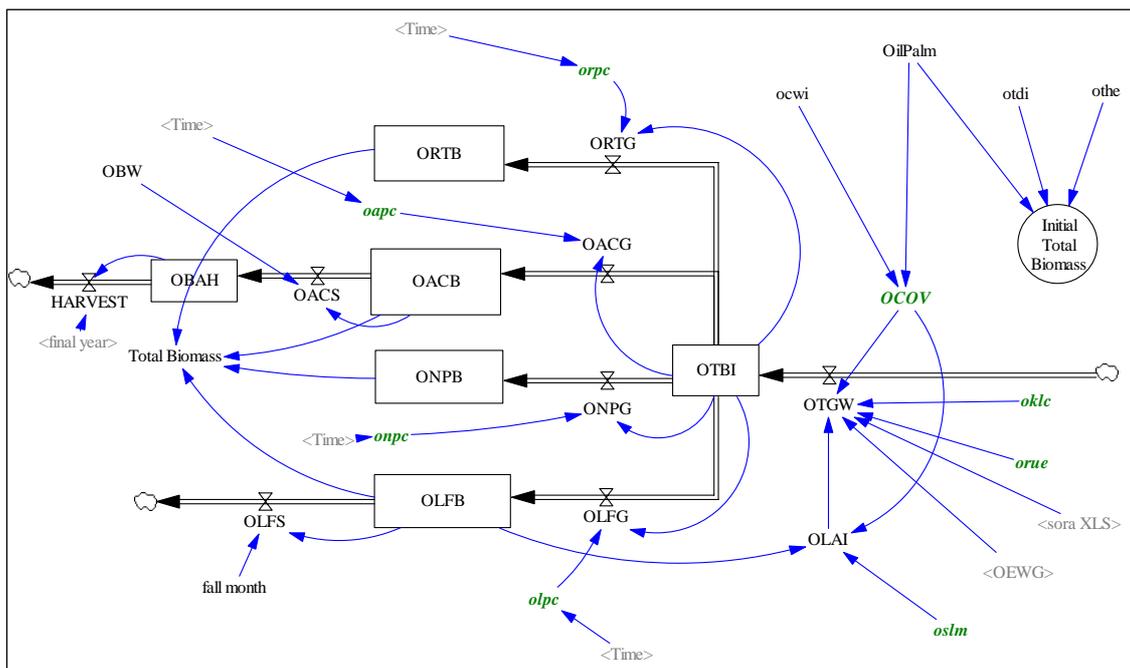


diario de una plantación y la del cultivo de cobertura. Las variables conductoras son radiación solar, temperatura y disponibilidad de agua en el suelo. El modelo se divide en cinco submodelos que se corresponden con los componentes principales del sistema: palma aceitera, hierba, clima y el suelo. El submodelo clima, se corresponde con los datos diarios de temperatura, radiación solar y precipitación y calcula la evapotranspiración mediante una simplificación de la ecuación de Priestley-Taylor. El submodelo suelo utiliza la descripción del perfil del suelo para calcular el balance de agua en el suelo. El modelo calcula la producción de biomasa diaria a partir de la eficiencia en el uso de la radiación, la intercepción de radiación en cada estrato de la vegetación y con la eficiencia en el uso del agua de la palma y el cultivo de cobertura. La calibración se ha hecho a partir de datos bibliográficos y la validación mediante datos de plantaciones comerciales en Honduras, ya que no existen datos experimentales disponibles. Este modelo se aplicó a tres tipos de suelo: arenoso, franco-arcilloso y franco-limoso; y tres profundidades útiles del suelo de 0,9, 1,1 y 1,3 metros. Consideramos a los efectos de este estudio como profundidad útil del suelo aquella que pueden llegar a explorar las raíces de la palma. Los datos meteorológicos fueron tomados de la estación de La Masica (15°38'N, 87°06'O, 18 msnm) para datos registrados de 1987 a 1998 con una precipitación anual de 2.938 mm y una temperatura media anual de 26°C (máxima 31°C y mínima 21°C), se aplicó el programa GlimGen versión 4.1.05 para generar una serie de datos meteorológicos diarios de 25 años.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 presenta el diagrama relacional del submodelo de crecimiento de la palma aceitera obtenido. Las variables de estado son los rectángulos conectadas con el flujo de materiales dibujado con una doble línea. Las nubes son Fuentes o sumideros de materiales fuera de las fronteras del modelo. Los parámetros del modelo se definen en la tabla 1. Las variables intermedias se utilizan como pasos intermedios en los cálculos o como datos de salida para comprobar el funcionamiento del modelo. Los flujos de información están representados por una línea sencilla que conectan los parámetros y las variables de estado a través de los flujos de control. Las variables y parámetros definidos con anterioridad en otro submodelo aparecen entre corchetes, lo presentamos así para simplificar el diagrama.

Figura 1. Diagrama relacional del modelo de palma aceitera (más explicación en el texto).





La simulación del crecimiento diario (ganancia diaria de biomasa) de la palma aceitera (OTGW) se obtiene aplicando la ecuación:

$$\text{OTGW (kg/ha día)} = \text{orue} \times 0,45 \times \text{sora XLS} \times (1 - e^{-\text{oklc} \times \text{OLAI}}) \times \text{OCOV} \times \text{OEWG} \times 10000$$

Siendo: orue la eficiencia en el uso de la radiación PAR; sora XLS la variable exógena radiación solar diaria, el coeficiente 0,45 es para obtener la radiación fotosintéticamente activa; oklc es el coeficiente de extinción de la radiación solar; OLAI es el índice de área foliar obtenido cada día en función de la biomasa en hojas y de la masa foliar específica; OEWG es un factor de restricción hídrica que varía entre 0,1 y el cociente entre la evapotranspiración real de la palma y la máxima del cultivo de palma; OCOV es el porcentaje de suelo cubierto por las hojas de palma considerando su proyección vertical; finalmente el factor 10000 para pasar de metros cuadrados a hectáreas.

OTBI es una variable de estado intermedia que representa el pool de fotoasimilados antes de su distribución entre las distintas partes de la planta, a través de los flujos que van a hojas (OLFG), estípites (ONPG), flores y frutos (OACG) y raíz (ORTG). A medida que los frutos alcanzan su tamaño máximo dado por la variable Peso seco promedio del racimo (OBW) van pasando a la variable de estado cosecha anual (OPAH) hasta que al final de año mediante el flujo *harvest* se eliminan para ir contabilizando las producciones anuales.

Tabla 1. Parámetros calibrados para el modelo palma aceitera.

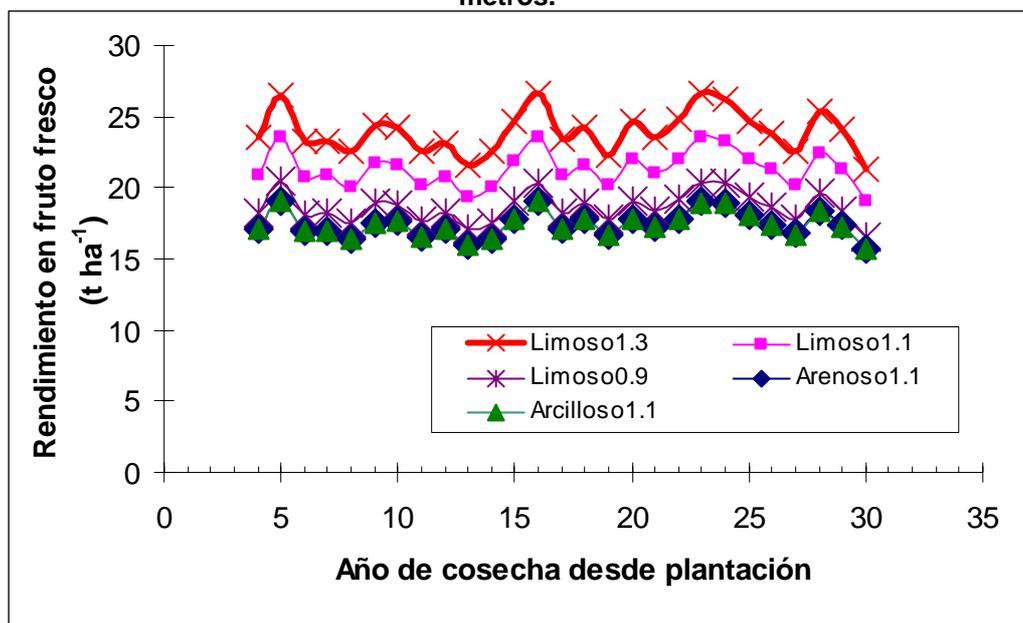
Parámetro y valores iniciales de variables	Símbolo	Valor	Unidad	Fuente
Diámetro de la corona	ocw	8,5	m	Quesada, 1997
Densidad de plantación	OilPalm	143	Núm./ha	Quesada, 1997
Diámetro del estípites	otdi	0,07	metros	Henson, 1999
Espesor del estípites	othe	0,36	metros	Henson, 1999
Coeficiente de extinción	oklc	0,45	1/1	Henson, 1999
Eficiencia en el uso de la radiación PAR	orue	5,08	g/MJ	Henson, 2000
Biomasa inicial en raíz	ORTB	0,18	1/1	Henson, 2000
Biomasa inicial en tronco	ONPB	0,12	1/1	Henson, 2000
Biomasa inicial en hojas	OLFB	0,70	1/1	Henson, 2000
Biomasa inicial en racimos	OACB	0	1/1	Henson, 2000
Coeficientes de reparto crecimiento de raíz	orpc	0,11-0,18	1/1	Henson, 2000
Coeficientes de reparto crecimiento de tronco	onpc	0,07-0,12	1/1	Henson, 2000
Coeficientes de reparto crecimiento de hojas	olpc	0,43-0,70	1/1	Henson, 2000
Coeficientes de reparto crecimiento de fruto	oapc	0,40-0,00	1/1	Henson, 2000
Masa foliar específica	oslm	3846	kg/ha	Henson, 2000
Duración de la hojas	OLFS	24	meses	Surre y Ziller, 1969
Peso seco promedio del racimo	OBW	9	kg	—

Variables exógenas: Time (la unidad de tiempo, el día); sora XLS (radiación solar diaria en MJ/(m² día); OEWG (restricción hídrica que es el valor máximo entre 0,1 y el cociente entre la evapotranspiración real de la palma y la máxima del cultivo de palma).

La producción media simulada alcanzada (para los 22 años de vida útil productiva de los 25 años de duración de la plantación) fue en el mejor caso de 24 t/ha (suelo franco limoso con 1,3 m de profundidad) frente a los 17,4 t/ha que se alcanzó en el suelo arenoso y franco-arcilloso con la profundidad media de 1,1m. Con esa misma profundidad de suelo la textura franco-limosa produce un 22% más, e incluso con menos profundidad efectiva (0,9 m) seguía produciendo un 7% más que los otros dos tipos de texturas.



Figura 2. Rendimiento simulado en fruto fresco de palma aceitera en La Masica (Honduras) para tres tipos de suelo (limoso, arcilloso y arenoso, con profundidades de 1,3; 1,1 y 0,9 metros.



CONCLUSIÓN

A pesar de la limitación de datos para la validación del modelo los resultados de producción simulada son satisfactorios ya que se encuentran entre los rangos de rendimientos medios de Honduras. La profundidad útil de suelo es un factor clave en el cultivo de palma de aceite. La presencia de un nivel freático próximo a la zona radical condiciona fuertemente la actividad y la capacidad de exploración de las raíces. La reducción de la profundidad útil de suelo reduce el rendimiento en el cultivo de palma aceitera. Los resultados de simulación mostraron una reducción de 134 kilos de fruto fresco por cada centímetro de reducción de la profundidad útil del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el programa de Cooperación al Desarrollo de la Universidad Politécnica de Madrid a través del proyecto C40.05.02. También agradecemos la colaboración de Liz Abraham Norales y Wilson Leonel Ramos Rodezno de la Escuela Agrícola Panamericana en Honduras.

BIBLIOGRAFÍA

Henson I.E. 1999. Comparative ecophysiology of oil palm and tropical rain forest. In Singh, G., Huan, L. K., Leng, T., and Kow, D. L., eds, Oil Palm and the Environment – A Malaysian Perspective, Malaysian Oil Palm Growers' Council, Kuala Lumpur, Malaysia, 9–39. • Henson I.E. 2000. Modelling the effects of haze on oil palm productivity and yield. J. Oil Palm Research 12 (1), 123-134. • INE, 2003. Encuesta Agropecuaria Básica, noviembre 2003. Instituto Nacional de Estadística Honduras, Tegucigalpa, Honduras. • Quesada, G. 1997. Cultivo e industria de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*). Departamento Agrícola, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica, 67. • Raygada, R. 2005. Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera. Asociación de Promoción Agrarias, Lima, Perú, 104. • Surre, C y Ziller, R. 1969. La Palmera de aceite. Ed. Blume, Barcelona, España, 231,19-20.