

Crterios tcnicos para la seleccin de sistemas de riego: Aplicacin al cultivo de palma de aceite en Colombia

Technical criteria for irrigation systems selection: Application the oil palm crop in Colombia

Robert J. Lascano ¹ y Fernando Munévar ²

RESUMEN

Existe mucha informacin sobre la teora de calcular el uso potencial de agua o la evapotranspiracin (ET_p) de un cultivo. Sin embargo, lo que hace falta es un mtodo simple pero exacto para calcular el uso real de agua, o ET_a de la ET_p . Adem{s, hay muy poca informacin publicada sobre el uso del agua y los requisitos de la palma de aceite. Un mtodo emprico para relacionar la ET_{palma} con ET_p es utilizando un coeficiente especfico para el cultivo para la palma de aceite (K_{palma}), es decir, $ET_{palma} = K_{palma} \times ET_p$. Este mtodo es conocido como la propuesta de ingeniera y se utiliza en todo el mundo para calcular el uso de agua de muchos cultivos. Para estandarizar el clculo de la ET_p de debe utilizar la ecuacin de la FAO Panman-Monteith. El clculo de la ET_p requiere parmetros del clima que normalmente se miden en una estacin meteorolgica estandar. Los valores reportados de K_{palma} en la literatura fluctuan entre 0,75 y 1,2. La evidencia emprica sugiere que estos valores tambin se pueden utilizar para calcular ET_{palma} al norte de Colombia. Esta regin est caracterizada por un periodo seco desde noviembre hasta julio, donde la ET_p diaria puede exceder 10 mm/d. Clculos preliminares de esta regin sugieren que los requisitos de agua diarios para un cultivo adulto de palma de aceite al norte de Colombia puede oscilar entre 350 y 400 l/palma. Adem{s, cuando el agua de riego es limitada, la frecuencia de riego con un sistema de rociadores se debe realizar cada 3 das. Esta frecuencia mximiza la cantidad de agua almacenada en el suelo, mientras que proporciona suficiente capacidad de almacenaje en el suelo para almacenar cualquier lluvia recibida. La seleccin de un sistema de riego depende principalmente de dos factores: disponibilidad de agua y el costo del sistema de riego. Los resultados preliminares de experimentos en la plantacin El Carmen, cerca de Codazzi, Colombia, sugiere que el riego con una frecuencia de cada 3 das aumenta en un 14% el rendimiento de la fruta.

SUMMARY

There is much information on the theory of calculating the potential water use or evapotranspiration (ET_p) of a crop. However, what is missing is a simple yet accurate method to estimate actual water use or ET_a from ET_p . Furthermore, there is very little information published on the water use and requirements of oil palm. An empirical method to relate ET_{palma} to ET_p is by using a crop specific coefficient for oil palm (K_{palma}), i.e. $ET_{palma} = K_{palm} \times ET_p$. This method is known as the engineering approach and is used worldwide to estimate the water use of many crops. To standardize the calculation of ET_p the FAO Penman-Monteith equation should be used. The

1 Texas A&M University and USDA-ARS, 3810 4th Street, Lubbock, TX 79415. E-mail: r-lascano@tamu.edu. voice mail 806-723-5238; Fax: 806-723-5271.

2 Jefe Cientfico de Investigacin. Cenipalma. Apartado Aéreo 252171. Bogotá, D.C., Colombia. E-mail: cenipalma@cable.net.co.

calculation of ET_p requires weather parameters that are normally measured with a standard weather station. Reported values of K_{palm} in the literature range from 0.75 to 1.2. Empirical evidence suggests that these values can also be used to calculate ET_{palm} in northern Colombia. This region is characterized by a dry period from November through July, where the daily ET_p can exceed 10 mm/d. Preliminary estimates from this region suggest that the daily water requirements for an adult oil palm crop in northern Colombia may range between 350 and 400 L/palm. Furthermore, when irrigation water is limited the frequency of irrigation with a sprinkler system should be every 3 days. This frequency maximizes the amount of water stored in the soil while providing enough soil storage capacity to store any rainfall received. The selection of an irrigation system depends primarily on two factors, water availability and the cost of the irrigation system. Preliminary results from experiments in plantation El Carmen, near Codazzi, Colombia suggest that irrigation on a 3-day frequency increase fruit yield by 14%.

Palabras claves: Palma de aceite. Riego, Sistemas de riego.

La aplicación de agua de riego a cualquier cultivo tiene que considerar varios factores relacionados con la disponibilidad de agua, así como con la demanda de agua y las necesidades del cultivo (Lascano 2000). La disponibilidad está relacionada con la cantidad y la frecuencia de la lluvia, la cantidad de agua que es accesible para riego y finalmente con la cantidad de agua disponible almacenada en el suelo. A la inversa, el requisito de agua del cultivo está relacionado con la etapa de crecimiento de las plantas y la demanda impuesta por el medio ambiente. Por ejemplo, en la parte norte de Colombia la lluvia durante los meses de noviembre hasta julio usualmente es de < 50 mm por mes, mientras que en otras partes del país la lluvia tiene una mejor distribución mensual con cantidades que con frecuencia exceden los 100 mm. Sin embargo, en el caso del norte de Colombia, la falta de lluvia durante los meses secos indica la necesidad de agua adicional mediante el riego. Además, este período seco también representa el período con la mayor demanda de agua, debido a altos niveles de irradiación solar acompañados usualmente por fuertes vientos. No es inusual que el potencial diario de evapotranspiración (ET_p) alcance >10 mm por día durante este período seco (Pelález¹).

El riego de un cultivo tiene dos propósitos principales, que son los siguientes: primero, aumentar la producción, y segundo, aplicar una

cantidad de agua que sea igual a la cantidad de agua utilizada por el cultivo, es decir, transpiración (T). Desde un punto de vista de optimización, el objetivo es producir la máxima producción económica con la menor cantidad de agua. Para el riego de un cultivo, la infraestructura económica asociada con los costos del riego tiene que ser considerada y no se puede ignorar. En algunos casos, los costos del riego pueden ser prohibitivos y dictarán cómo se riega el cultivo, sin consideración de otros factores prevalecientes. La determinación de la T de un cultivo es una cantidad difícil de medir o calcular. Sin embargo, el conocimiento de esta cantidad es necesario para aplicar correctamente la cantidad de agua que el cultivo necesita. Se ha realizado mucha investigación para calcular las necesidades reales de agua de los cultivos (Alien et al. 1998); sin embargo, la información sobre las necesidades reales de agua para la producción de la palma de aceite es escasa (Lascano 1998).

Los aspectos generales del riego tienen que considerar los siguientes seis puntos: 1) la cantidad y la frecuencia de lluvia; 2) la cantidad de agua de riego que está disponible para riego; 3) la ET real versus la ET potencial del cultivo; 4) el uso de agua por el cultivo, considerando el balance de agua del sistema; 5) los costos de los diferentes sistemas de riego y 6) la asociación del riego con la fertilización. El término genérico utilizado para describir los factores mencionados arriba es *Manejo del agua en el suelo y el cultivo*. El manejo del agua de riego es *integrado* y no puede ser separado del manejo colectivo del

1 Pelález, CE., comunicación personal.

cultivo y debe considerar el manejo de otros temas agronómicos, tales como plagas, nutrientes y malezas. Cada uno de los seis puntos mencionados arriba se pueden resumir como sigue:

- 1) Para planificar correctamente el manejo del agua para la producción de la palma de aceite, o para cualquier cultivo, uno debe considerar el registro histórico diario o mensual de la cantidad y la frecuencia de la lluvia. Este registro determinará los períodos probables en los que el cultivo podría experimentar estrés de agua debido a la falta de lluvia o la necesidad de drenaje debido a un exceso de agua. Siempre que sea posible, los registros históricos de lluvia deberán ser de por lo menos 30 años. El promedio mensual, así como su desviación estándar se pueden utilizar como indicadores de la probabilidad de lluvia. Nuevamente, ver el ejemplo para el norte de Colombia (Fig. 3, Lascano 1998), donde la distribución mensual de la lluvia muestra claramente un déficit de agua para la producción de la palma de aceite durante los meses de noviembre a julio.
- 2) La información sobre la cantidad de agua disponible para el riego es necesaria y debe ser conocida. Si la fuente del agua es un pozo, se necesita saber la producción del pozo, es decir, litros o metros cúbicos de agua por minuto. Si la fuente del agua es de un lago o un río, se necesita un inventario sobre la cantidad de agua disponible para riego durante el período cuando el agua es necesaria. Un inventario sobre el agua disponible para riego es un requisito previo para manejar correctamente el riego de un cultivo de palma de aceite.
- 3) El medio ambiente determinará el uso de agua diario de un cultivo de palma de aceite. El término que se utiliza normalmente para describir las necesidades de agua de un cultivo es *evopotranspiración*, o ET, que es la suma de las pérdidas de agua debidas a la evaporación de la superficie del suelo (E) y del cultivo debido a la transpiración (T). La suma de E y T es ET y el valor potencial de ET se puede calcular de los datos climáticos utilizando la fórmula de Penman-Monteith

(Lascano 1998; Alien et al. 1998). El valor potencial de ET es indicado como ET_p , que es un índice climatológico que representa el valor *máximo* de agua que un cultivo de césped podría usar cuando el suelo tiene abundante agua disponible. Sin embargo, la dificultad es convertir ET_p en la ET real del cultivo (ET_a), en este caso la palma de aceite. Este tema se tratará más adelante en este trabajo.

- 4) El uso real de agua por parte del cultivo, o ET_a , tiene que considerar el balance de agua del cultivo. El balance de agua se obtiene por la suma de entradas y salidas de agua al sistema. Una discusión de este balance se presenta más adelante.
- 5) En muchos casos, el costo del riego determinará cuánta agua será aplicada y qué sistema será escogido para regar el cultivo. El costo de cualquier sistema de riego es una función de muchas variables, tales como el costo de la electricidad o el combustible diesel para operar el pozo de riego, el costo del método de riego escogido, por ejemplo, de surco, de goteo, de rociador y los costos de la mano de obra. Adicionalmente, el operador también tiene que considerar los beneficios económicos que se ganan utilizando el riego, tales como aumentos en el rendimiento de fruta, la estabilidad de la producción y la calidad del aceite, entre otros factores.
- 6) Las investigaciones han mostrado los beneficios de aplicar fertilizantes a un cultivo por medio del agua de riego y dividir en secciones los requisitos de ciertos nutrientes, especialmente N, a lo largo de toda la temporada de crecimiento y como una función del agua aplicada. Este proceso se conoce como *fertigación*. Ésta es una de las ventajas de un sistema de riego, ya que le da al usuario más flexibilidad en el manejo de la aplicación de nutrientes para aumentar al máximo la producción de frutos.

Otro aspecto del riego que es importante y que es necesario considerar está relacionado con la *programación*. La programación se refiere a la cantidad y la frecuencia del riego. La cantidad

es la dosis diaria de agua requerida por el cultivo y 3sta usualmente se indica en mm/d3a, y la frecuencia se refiere al intervalo en d3as entre eventos de riego. La pr3xima secci3n discutir3 c3mo determinar los requisitos diarios de agua de un cultivo adulto de palma de aceite, por medio de los datos meteorol3gicos.

REQUISITOS DIARIOS DE AGUA DE UNA PALMA DE ACEITE ADULTA

La determinaci3n de la cantidad de agua diaria utilizada por un cultivo es dif3cil, ya que involucra muchas variables que son, dif3ciles de medir o de calcular con suposiciones que a veces no son v3lidas. La teor3a para calcular los requisitos diarios de agua por medio de datos meteorol3gicos de la mayor3a de los cultivos agr3colas est3 bien establecida y se basa en trabajos originalmente propuestos por Penman (1948). En esta teor3a el uso diario de agua se calcula con base en la combinaci3n del balance de agua y la energ3a del cultivo y por consiguiente el nombre "m3todo de combinaci3n". Existen otros m3todos micrometeorol3gicos para calcular la ET diaria de un cultivo, tal como la relaci3n Bowen y la correlaci3n Eddy y revisiones de estos m3todos se pueden encontrar, por ejemplo, en ASCE No. 70 (Jensen et al. 1990).

Abundan las teor3as sobre el c3lculo diario del uso de agua de un cultivo; sin embargo, lo que hace falta es un m3todo pr3ctico y sencillo, pero exacto, para calcular los requisitos diarios de agua (Lascano 2000). Para prop3sitos de este trabajo se han escogido dos m3todos utilizados extensivamente para calcular la ET diaria de un cultivo y 3stos son el *balance de agua* diario y la propuesta de *ingenier3a* sugeridos por primera vez por Jensen (1968) en donde la ET_a es obtenida al multiplicar la ET_p potencial por un coeficiente de cultivo espec3fico (K_c). Alien et al. (1998) proporcionan una

revisi3n excelente y minuciosa sobre este tema. Sin embargo, se ha realizado muy poco trabajo en este tema en relaci3n con la palma de aceite.

Balance de Agua

El balance de agua de un cultivo es la suma de las entradas y salidas de agua al sistema considerado. Las entradas son la cantidad de agua recibida, como lluvia y riego, y las salidas son las p3rdidas de agua del sistema debido a evaporaci3n del agua del suelo (E_{suelo}), el cultivo de cobertura ($E_{cobertura}$) y del cultivo (E_{palma}), el drenaje por debajo de la zona de la ra3z y la escorrent3a. En este balance, el sistema tiene condiciones de l3mites de alrededor de 1-2 m por encima del dosel del cultivo y la profundidad en el fondo de la zona de la ra3z se considera el l3mite m3s bajo. Una representaci3n gr3fica de este balance aparece en la Figura 1. Entradas espec3ficas son la lluvia efectiva y el agua de riego. Todos los t3rminos tienen las unidades de profundidad de agua o mm.

La entrada por precipitaci3n se refiere a la cantidad de agua recibida por lluvia y lo que es necesario considerar no es la cantidad total seg3n se mide en un pluvi3metro, sino m3s bien la precipitaci3n *efectiva* o *neta*. La precipitaci3n efectiva se define como la cantidad de lluvia que es almacenada en la zona de la ra3z y que puede ser utilizada por el cultivo. Esta definici3n tiene en cuenta la cantidad de lluvia que es interceptada por el dosel del cultivo y nunca llega

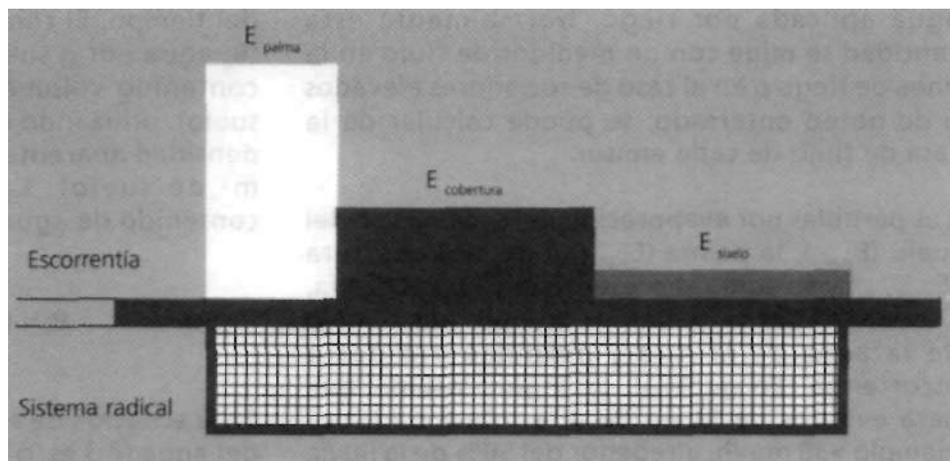


Figura 1. Balance de agua en una palma de aceite adulta. Los t3rminos se definen en el texto.

a la superficie del suelo. Por ejemplo, Dufrene et al. (1992), en una plantación de palma de aceite en la Costa de Marfil, reportaron que el 14% de la lluvia era interceptada por el dosel.

Otro ejemplo de lluvia efectiva se midió en una plantación adulta al norte de Colombia (Tabla 1). En este caso, el dosel interceptó el 7% de la precipitación. La lluvia interceptada es agua que se evapora del dosel y nunca alcanza el suelo. Los resultados de estos dos estudios indican que, por lo general, para un cultivo de palma de aceite adulto el dosel intercepta de 7-14% de la lluvia.

Tabla 1. Lluvia efectiva medida en la Hacienda Las Flores durante septiembre de 1999 y junio de 2000 en Codazzi, Colombia (Cenipalma datos no publicados de experimentos realizados por Mejía, Renjifo y Munévar).

Parámetro	Suma (mm lluvia)	% sobre total lluvia
Precipitación total (arriba del follaje)	965	100
Precipitación interna (bajo del follaje)	881	91
Escurrimiento por el tallo	19	2
Interceptación	65	7

En ciertos casos la escorrentía de los campos adjuntos puede seguir corriendo y así esta agua puede estar disponible para el cultivo. Esta agua representa una entrada; sin embargo, es difícil medir o calcular la cantidad exacta del agua que corre. El término entrada final es la cantidad de agua aplicada por riego. Normalmente esta cantidad se mide con un medidor de flujo en la línea de riego o en el caso de rociadores elevados o de goteo enterrado, se puede calcular de la tasa de flujo de cada emisor.

Las pérdidas por evaporación del sistema son del suelo (E_{suelo}), la palma (E_{palma}) y del de cobertura ($E_{\text{cobertura}}$) y su suma representa la ET_a real diaria. Otras pérdidas se deben al drenaje por debajo de la zona de la raíz y pérdidas debidas a escorrentía. En general, es seguro asumir que para eventos de lluvia de alta intensidad, por ejemplo >30 mm/h, alrededor del 50% de la lluvia se pierde debido a escorrentía. Sin embargo, si el cultivo de palma tiene un cultivo de cobertura

bien establecida donde la superficie del suelo no esté compactada, la escorrentía se reduciría quizás $<20\%$. Las mediciones tomadas por Cenipalma en la Hacienda El Carmen, en Codazzi, Colombia, mostraron que la rata de infiltración del suelo debajo de una cobertura de kudzú (*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth.) fue 6,7 veces del suelo desnudo cercano (Cenipalma, datos no publicados). En general, la cantidad exacta de agua de lluvia almacenada será una función de la tasa de infiltración del suelo, la cantidad de agua en el suelo y por ende la capacidad de almacenamiento. Por ejemplo, si un suelo ha sido regado recientemente con, por ejemplo, 100 mm y luego recibe una lluvia de 25 mm en menos de una hora, es seguro asumir que el 80-90% de dicha lluvia se perderá debido a escorrentía. En general, mientras menor sea la intensidad de la lluvia, más será la cantidad de agua almacenada en el suelo, siempre y cuando la capacidad de almacenamiento de agua del suelo no se exceda. El término drenaje es difícil de medir y, por lo tanto, en muchos casos se asume que sea insignificante o cero.

El método del balance de agua puede ser utilizado para calcular el requerimiento diario de agua del cultivo. El caso más simple es asumir un drenaje y una escorrentía de cero y medir cambios del contenido de agua en el suelo en el perfil del suelo, como una función de la profundidad del suelo y el tiempo. Los cambios en el contenido de agua en el perfil del suelo se pueden realizar, tomando muestras gravimétricas del suelo como una función de la profundidad y del tiempo. El contenido gravimétrico del agua (θ agua por g suelo) es necesario convertirlo a contenido volumétrico (θ_v m³ agua por m³ de suelo), utilizando el valor correspondiente de la densidad aparente del suelo (δ_s , kg de suelo por m³ de suelo). La ecuación para convertir contenido de agua θ_g a θ_v es la siguiente:

$$\theta_v = \theta_g \times \frac{\delta_s}{\delta_w} \quad [1]$$

En la ecuación de arriba se asume que la densidad del agua (δ_w) es, o bien de 1 g/cm³ ó 1.000 kg/m³, dependiendo de las unidades que se escojan para representar a δ_s .

El contenido de agua es necesario medirlo justo *por debajo* de la zona de raices y, si es posible, en aumentos de profundidad de 20 cm o menos. Una vez que se conviertan los perfiles del contenido de agua a una base de volumen, ellos pueden ser integrados y la diferencia entre perfiles puede ser medida en distintos momentos, corregidos por lluvia recibida durante el mismo periodo y representa la ET de la palma de aceite. Este mtodo es la medida ms simple del ET total de una palma de aceite. En la prctica, lo que se hace es recoger varias muestras de suelo a travs de un campo con base semanal o quincenal. El nmero de muestras recogidas es una funcin de la mano de obra y el equipo disponible para secar las muestras de suelo. Este mtodo es simple, pero es engorroso ya que requiere muchas muestras de suelo y por lo tanto mano de obra para medir exactamente la ET de, por ejemplo, un campo entero. Una alternativa para este mtodo es medir directamente el contenido volumtrico de agua; por ejemplo, mediante la atenuacin de neutrones o reflectometra de dominio de tiempo (Lascano 1998), o utilizar un mtodo como lo propone Lascano (2000). Hay otros mtodos disponibles, pero no se revisan porque estn ms all del alcance de este artculo.

Propuesta de Ingeniera para Calcular la ET_a

Existen varios mtodos para calcular la ET potencial (ET_p), por ejemplo, Penman (1948), Monteith (1965), Van Bavel (1966) y Alien et al. (1998). Sin embargo, el mtodo ms comnmente utilizado es el propuesto por Alien et al. (1998), que representa un esfuerzo de la Food and Agriculture Organization de las Naciones Unidas (FAO). La ecuacin de la FAO es un intento por utilizar una sola ecuacin para todos los cultivos y ambientes con la esperanza de estandarizar el clculo de la ET_p. Sin entrar en su derivacin, la ecuacin de la FAO para calcular la ET_p est dada por:

$$ET_p = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34\mu_2)} \quad [2]$$

en donde, la ET_p est referida como la ET de referencia (ET₀) en mm/d, R_n es la irradiacin neta en la superficie del cultivo (MJ/m²d), G es la densidad de flujo del calor del suelo (MJ/m²d), T es el promedio de la temperatura del aire medido a una altura de 2 m (C), u₂ es la velocidad del viento medida a 2 m de altura (m/s), e_s es la presin del vapor de saturacin en kPa, e_a es la presin de vapor actual en kPa e_s - e_a es el dficit de la presin del vapor de saturacin en kPa, A es la curva de la presin del vapor de la inclinacin kPa/C, y γ es la constante psicromtrica (kPa/C). Para obtener informacin adicional sobre los trminos utilizados en la Ecuacin [2], el lector se debe referir a la publicacin de Alien et al. (1998). La Ecuacin [2] indica que las condiciones ambientales determinan la demanda de agua por el cultivo. En la prctica lo que se necesita es una *estacin meteorolgica* para medir las variables del clima necesarias para calcular la ET_p. Las variables del clima se miden a una altura de proteccin de 2,0 m por encima de la superficie del suelo y los parmetros que se miden son:

- Irradiacin solar con un pironmetro
- La temperatura y la humedad del aire, por ejemplo con un sensor Vasalia
- La velocidad del viento con un anemmetro de copa

Usualmente, las variables del clima se miden cada segundo y luego cada hora y los valores diarios se calculan y se tabulan. Las variables utilizadas en la Ecuacin [2] representan valores diarios de radiacin, temperatura y humedad del aire y velocidad del viento. Las estaciones meteorolgicas disponibles comercialmente proporcionan al usuario un sistema integrado con un computador y hardware y software apropiados para hacer posible la automatizacin del proceso de recopilacin de datos, as como su clculo y tabulacin.

Cantidad de Agua

Como se sealó anteriormente, ET_p . ET_a y, por consiguiente, la dificultad de calcular el uso real del agua del cultivo. Una propuesta emprica para calcular ET_a de ET_p fue sugerida en un principio por Jensen (1968) y este mtodo normalmente se llama la propuesta de *ingeniera*

(Lascano 2000). La relación entre ET_a y ET_p está dada en un coeficiente empírico (K_c) que se denota como *coeficiente específico de un cultivo*. Para el caso de la palma de aceite, la ecuación resultante es:

$$ET_{\text{palma}} = ET_p \times K_c \quad [3]$$

Por favor, tome nota de que la Ecuación [3] es empírica y, en el mejor de los casos, es una aproximación de la ET real de un cultivo. No obstante, la Ecuación [3] se utiliza extensivamente en todo el mundo y se ha convertido estándar para calcular la ET, de datos climáticos estándar (Alien et al. 1998; Lascano 2000).

La dificultad de utilizar la Ecuación [3] para calcular la ET es en determinar un valor representativo para K_c . Se sabe que para un cultivo dado K_c variará entre diferentes regiones geográficas y según la variedad utilizada. En el caso de una palma de aceite adulta, los valores de K_c reportados en la literatura fluctúan entre 0,75 y 1,2 (Dufreere et al. 1992; Henson 1993). En Costa de Marfil, donde el potencial de ET rara vez excede 4 mm/d, Dufreere et al. (1992) reportaron que para una palma con estrés por agua, la ET_{palma} podría ser aproximada por:

$$ET_{\text{palma}} = ET_p \times 0,75 \quad [4]$$

y para una palma bien regada con agua, por:

$$ET_{\text{palma}} = ET_p \times 0,81 \quad [5]$$

En Malasia, donde la ET_p varió entre 6-7 mm/d, el K_c calculado fluctuaba entre 0,8 y 1,2 (Henson 1993).

Estos resultados muestran claramente que los valores diarios de la ET_p están relacionados directamente con la ubicación geográfica y, por lo tanto, con los valores diarios de la irradiación solar. Por ejemplo, la irradiación solar en Costa de Marfil nunca excedió 13 MJ/m²d (Dufreere et al. 1992) y en Malasia el valor máximo diario fue de 24 MJ/m²d (Henson 1993). En contraste, al norte de Colombia los valores diarios de irradiación de 28 MJ/m²d no son raros, especialmente durante el período seco de noviembre a julio. Los resultados de estas altas

irradiaciones son valores altos de la ET_p en esta región de Colombia (Fig. 4, Lascano 1998), en donde la ET_p diaria puede a menudo exceder los 10 mm/d. Estos valores han sido confirmados de mediciones climáticas realizadas por una estación meteorológica situada en la Hacienda El Carmen cerca de Codazzi⁴.

Evidencia empírica basada en pruebas de riego en el norte de Colombia muestran que a medida que la cantidad de riego disminuye, el número de flechas aumenta en una palma de aceite adulta (Tabla 2). El número de flechas es un indicador de estrés por sequía en palmas de aceite y parece ser que una palma de aceite adulta requiere entre 340 - 415 l/palma por día. Si se asume una densidad de palmas de 143 palmas/hectárea y un uso de agua de 350 l/palma por día, esto se traduce a una ET_a de 5 mm/d. Más aún, si se asume una ET_p de 7 mm/d, se obtiene un $K_c = ET_a/ET_p = 5/7 = 0,71$, el cual es ligeramente inferior a los valores de K_c dados por Henson (1993) para Malasia. A la inversa, asumiendo un uso de agua diario de 400 l/palma por día y una densidad de plantas de 143 palmas/hectárea, esto se traduce en una ET_a de 5,7 mm/d y utilizando una $ET_p = 7$ mm/d nos da un $K_c = 0,81$, que está dentro del rango de los valores de K_c dados por Dufreere et al. (1992) y Henson (1993).

Por favor tome nota de que la información que aparece en la Tabla 2 en cierto modo es cualitativa y en el mejor de los casos estos valores se pueden utilizar para calcular diferentes valores de K_c , asumiendo un valor dado de la ET_a y la ET_p . Es necesario apoyar estos valores con mediciones adicionales.

Tabla 2. Numero de flechas como función de la cantidad de riego (Comunicación personal, Hacienda "Los Robles" 1996).

Cantidad de Agua (l/palma día)	Número de Flechas
280	4 - 5
320	2
340 - 415	0

2 Peláez, C.M. Comunicación personal.

Adicionalmente al uso de agua por la palma de aceite se tiene la evaporación del agua de la superficie del suelo y del cultivo de cobertura, o sea,

$$ET_{total} = E_{suelo} + E_{palma} + E_{cobertura} \quad (6)$$

para una palma de aceite adulta se puede asumir que la evaporación de agua del suelo (E_{suelo}), si está bien cubierto, es de <0.5 mm/d y se puede calcular que el cultivo de cobertura puede utilizar cualquier cantidad desde 1 hasta 3 mm/d. Con base en estas suposiciones se puede calcular, por lo tanto, que el E_{total} para un cultivo de palma de aceite adulto al norte de Colombia durante el período seco será cercano a 70.000 l/hectárea y para una densidad de 143 plantas/hectárea esto es equivalente a 490 l/palma, o el equivalente a 7 mm/d. Esta es una cifra moderada en que quizás es mayor que el uso de agua real del cultivo; no obstante, puede ser utilizada como un estimado para calcular cuanta agua total sería necesaria para manejar un cultivo de palma de aceite adulto durante el período seco al norte de Colombia. Desde un punto de vista práctico, es mejor sobrestimar el uso de agua para asegurar una provisión de agua adecuada para las plantas durante los períodos críticos del crecimiento del cultivo, es decir, reproductivo, que pueda tener un gran impacto sobre el establecimiento de la fruta y por consiguiente en el rendimiento.

En resumen, lo que se necesita para calcular la *cantidad de agua de riego a aplicar*, es lo siguiente:

- 1) Estación meteorológica. Se necesita para medir las variables climáticas diarias como entradas para calcular ET_p .
- 2) Calcular ET_p utilizando la Ecuación [2] de la FAO o una ecuación similar.
- 3) Medir la lluvia efectiva o neta en el campo. La lluvia efectiva es un 86 a 93% de lo que se mide en un manómetro de lluvia, por encima del dosel de la planta.
- 4) Mantener y calcular un balance de agua diario del cultivo. Asumir un valor de K_c entre (0,6 - 1,2) que se puede utilizar para convertir la ET_p en ET_a .

- 5) Calcular un déficit diario de agua, es decir, la diferencia entre entradas y salidas de agua. Esto se puede manejar fácilmente utilizando un programa de hojas de cálculo, tal como el Microsoft® Excel.

Frecuencia de el Riego

El segundo aspecto relacionado con la programación del riego es la frecuencia del riego, que se refiere al intervalo de tiempo entre los eventos de riego. Muchas investigaciones han mostrado que para muchos cultivos (por ejemplo, Lyle y Bordovsky, 1995) con limitadas provisiones de agua, es mejor aplicar pequeñas cantidades de agua a intervalos frecuentes de, por ejemplo, 3 días o menos. La producción de palma de aceite en la parte norte de Colombia se caracteriza por una alta demanda de agua para la evaporación durante el período seco con provisiones limitadas de agua. No hay datos disponibles sobre el rendimiento de la palma de aceite como una función de frecuencia de riego y por lo tanto se inició un experimento en 1998 en una plantación cerca de Codazzi, Colombia, para responder la pregunta de rendimiento como función de la frecuencia de riego. Se escogieron tres frecuencias de 1, 2 y 3 días, aplicando la misma cantidad de agua en cualquier período de 3 días. Los resultados en un período de 22 meses, en cuanto a rendimiento de fruta, aparecen en la Tabla 3. El sistema de riego utilizado para estas pruebas en el campo fue un rociador elevado. Los resultados en esta Tabla muestran claramente que para el período de medición, la frecuencia de 3 días aumentó el rendimiento un 14%, comparado con la frecuencia de 1 día. Adicionalmente, el peso promedio de un racimo de frutas aumentó de 9,3 kg para la frecuencia

Tabla 3. Datos de productividad de racimos de fruta fresca para 22 meses de cosecha (Octubre, 1998 - Julio 2000), El Carmen, Codazzi, Colombia (Cenipalma, datos no publicados de experimentos realizados por Mejía, Renjifo y Munévar).

Frecuencia de riego	Peso RFF (kg/parcela mes)	Peso relativo (%)	No. racimos por parcela mes	Peso medio racimos (kg)
1	506	100	50,7	9,3
2	525	104	53,2	9,3
3	578	114	53,7	10,2

de 1 día, a 10,2 kg para la frecuencia de 3 días. El número de racimos cosechados también aumentó de 50,7 por mes para la frecuencia de 1 día, a 53,7 para la frecuencia de 3 días.

Este es un experimento progresivo que continuará evaluando el efecto de la frecuencia de riego sobre la producción en palma de aceite.

La producción acumulable de fruta fue de 38 toneladas/hectárea para la frecuencia de 3 días, < 35 toneladas/hectárea para la frecuencia de 2 días y 33 toneladas/hectárea para la frecuencia de 1 día. Estos datos sugieren que la frecuencia de 3 días es adecuada para este sistema, ya que ha aumentado la producción de fruta utilizando la misma cantidad de agua. Estos resultados preliminares confirman que la hipótesis, que cuando el agua es limitada, es mejor rociar con una frecuencia de 3 días, en vez de un intervalo de tiempo más corto. La principal razón que explica este aumento en el rendimiento de fruta es que para la frecuencia de 3 días, la mayor parte del agua aplicada por medio de riego es almacenada efectivamente en el suelo. A la inversa, al utilizar la frecuencia de 1 día, una gran porción de el agua aplicada es interceptada por el cultivo de cobertura y se evapora directamente a la atmósfera sin que jamás llegue a la superficie del suelo. Adicionalmente, una frecuencia de 3 días ofrece la oportunidad de almacenar cualquier lluvia recibida durante el intervalo de riego. Estos resultados son alentadores ya que demuestran la viabilidad de utilizar el riego durante los períodos secos al norte de Colombia. Además, los análisis económicos preliminares indican que las ganancias en rendimiento de fruta justifican la inversión económica de regar la palma de aceite al norte de Colombia.

SISTEMAS DE RIEGO

Existen varios sistemas de riego que se utilizan extensivamente, los cuales se pueden dividir en tres: 1) inundación, 2) rociador y 3) goteo enterrado. Cada uno de los sistemas tiene ventajas y desventajas y, en general, entre más eficaz sea el sistema en llevar agua desde la fuente hasta el cultivo, más caro se convierte el sistema. Por ejemplo, el sistema de riego más

barato para operar es el riego por inundación: sin embargo, este sistema también es el menos eficaz, ya que en muchos casos el 50% del agua distribuida nunca llega al cultivo. Naturalmente, éste es el sistema preferido cuando hay bastante agua para riego disponible. Finalmente, lo que determina qué sistema de riego se escoge y se utiliza son los beneficios costo/ingresos del sistema.

Riego de gravedad o de superficie

Este sistema depende de las diferencias de elevación para distribuir el agua, del origen al campo a regar y, por lo tanto, el nombre riego de gravedad, es decir que el agua fluye de elevaciones altas a bajas. En algunos casos puede ser necesario introducir una bomba reforzadora para superar el flujo sobre elevaciones altas. Este sistema se utiliza cuando el agua de riego es abundante y la intención es aplicar grandes cantidades de agua en exceso de 100 mm por evento de riego. Para aplicar agua uniformemente, el campo tiene que tener una inclinación leve. También requiere el mantenimiento de canales primarios, secundarios y a veces terciarios para distribuir el agua a las plantas en el campo. Este es un sistema común utilizado al norte de Colombia y se utiliza principalmente cuando la fuente de agua es un río.

Rociador

Estos sistemas distribuyen el agua a un campo por medio de un rociador elevado y el rociador puede variar en tamaño, desde un micro hasta una boquilla de regadera. La ventaja principal de estos sistemas es que la eficacia del riego usualmente es de > 90%; sin embargo, el costo puede ser considerable y requiere mantenimiento para mantener las líneas despejadas y los emisores destapados. Existen varios modelos que están disponibles comercialmente y el diseño e instalación de un sistema de rociador dependerá de factores tales como, disponibilidad de agua, espaciamiento de las plantas, entre otros. No existe un consenso claro sobre la ubicación de los rociadores con referencia a la planta de palma de aceite; sin embargo, dada la naturaleza de la palma de extender su sistema de raíz a través de varios metros, es mejor ubicar

el rociador donde la mayor porción de la superficie del suelo sea mojada. Otra ventaja de este tipo de riego es el beneficio agregado que proporciona al ser capaz de inyectar fertilizantes junto con el agua. Se debe tener precaución al escoger los fertilizantes que se aplican, ya que algunos se pueden precipitar y caer fuera de la solución y taponar los emisores. Se recomienda enérgicamente revisar el pH del agua y ajustar de conformidad con el fertilizante utilizado. Además, no es aconsejable utilizar los fertilizantes sólidos tradicionales que se usan normalmente, ya que éstos crearán problemas relacionados con solubilidad y precipitación.

Goteo Enterrado

En los últimos 10 años el goteo enterrado ha ganado considerable popularidad como sistema de riego para muchos cultivos agrícolas. Este sistema consiste de una cinta con emisores espaciados equitativamente, enterrada a una profundidad de 20-30 cm por debajo de la superficie. La cinta de goteo disponible comercialmente ofrece muchas opciones en términos de espaciamiento de emisores y tasas de flujo. Las principales ventajas de utilizar este sistema es que, si se utiliza apropiadamente, puede lograr una eficacia >95%. Este es un sistema que se debe escoger siempre que el agua de riego sea escasa. Las principales ventajas son el costo y el mantenimiento. Nuevamente, no existe un consenso claro sobre la ubicación de la cinta con referencia a la palma de aceite; sin embargo, parece ser que la cinta debe ser colocada al borde del dorsel de la planta con los emisores colocados hacia la planta.

Esta sección ofrece información introductoria sobre la selección de sistemas de riego para proveer de agua a la palma de aceite. Sin embargo, en muchos casos los problemas asociados con el riego son generales, pero las soluciones son específicas de un lugar y, por lo tanto, varían de un lugar a otro. Quizás el costo del sistema de riego y la disponibilidad de agua para el riego son los factores más determinantes al seleccionar un sistema. Se recomienda enérgicamente llevar a cabo un análisis de costos antes de escoger

cualquier sistema de riego. Además, las compañías de riego comerciales pueden ofrecer la experiencia necesaria en términos de bombas, filtros, cintas, rociadores, etc. necesarios y le ayudarán con la disposición del sistema en sí.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56, Rome.
- DUFRENE, E.; DUBOS, B.; REY, H.; QUENCEZ, P.; SAUGIER, B. 1992. Changes in evapotranspiration from an oil palm stand (*Elaeis guineensis* Jacq.) exposed to seasonal soil water deficits. Acta Oecologica (Francia) v. 13, p.299—314.
- HENSON, I. E. 1995. Carbon assimilation, water use and energy balance of an oil palm plantation assessed using micrometeorological techniques. In: PORIM International Palm Oil Congress- Update and Vision (Agriculture). P. 137—172.
- JENSEN, M. E. 1968. Water consumption by agricultural crops. In: T.T. Kozlowski (Ed.) Water Deficits in Plant Growth. Vol. II, Academic Press, New York. p. 1—22.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70. ASCE, New York, New York. 332p.
- LASCANO, R. J. 1998. Bases tecnológicas para el riego en palma de aceite. Palmas (Colombia) v. 19, Numero especial, p.229—241.
- LASCANO, R. J. 2000. A general system to measure and to calculate daily crop water use. Agronomy Journal (Estados Unidos)v. p.821—832.
- LYLE, W. A., BORDOVSKY, J. P. 1995. LEPA corn irrigation with limited water supplies. Transaction of the ASAE (Estados Unidos)v.38, p.445—462.
- MONTEITH, J.L. 1965. Evaporation and the environment. In: The State and movement of water in living organisms. XIXth Symposium of the Society for Experimental Biology. Swansea. Cambridge, University Press.
- PENMAN, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Society of London (Reino Unido) V.A193, p. 120—146.
- VAN BAVEL, C. H. M. 1966. Potential evaporation: The combination concept and its experimental verification. Water Resources Research (Estados Unidos) v.2, p.455—467.