



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,  
A.C.  
México

Arrieta Rivera, Agrícola; Carrillo Avila, Eugenio  
Respuesta del papayo variedad maradol, a tres espaciamientos de drenaje subsuperficial  
Terra Latinoamericana, vol. 20, núm. 4, octubre-diciembre, 2002, pp. 435-447  
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.  
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320408>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# RESPUESTA DEL PAPAYO VARIEDAD MARADOL, A TRES ESPACIAMIENTOS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

## Response of the Papaya Tree Variety Maradol at Three Subsurface Drainage Spacing Distances

Agrícola Arrieta Rivera<sup>1</sup> y Eugenio Carrillo Avila<sup>2</sup>

### RESUMEN

Los mantos freáticos someros en las zonas tropicales húmedas ocasionan problemas agrícolas por exceso de humedad a los cultivos. Para resolver esta problemática, el drenaje parcelario juega un papel preponderante, principalmente en el caso de cultivos sensibles a dichos excesos. El estudio se realizó en el área experimental del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, ubicada en la Chontalpa, Tabasco. El objetivo fue estudiar el comportamiento fenológico del papayo (*Carica papaya* L.), variedad Maradol, establecido en una parcela con tres espaciamientos de drenaje subsuperficial (EDS), que se consideraron como tratamientos. En cada tratamiento se eligieron al azar 20 plantas en las que se evaluaron las variables: altura de planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH), número de frutos (NF), peso de frutos (PF), altura a los primeros frutos (APF), días a la floración (DF), rendimiento (R), longitud de raíz (LR) y plantas perdidas por acame (PPA). Se evaluaron también las variables hídricas profundidad del nivel freático (PNF), potencial de presión del agua en el suelo ( $h$ ) y contenido de humedad en el perfil ( $\theta$ ), así como las variables meteorológicas: temperatura del aire (T) y horas brillo sol (HBS). Como resultado del análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos en las variables: AP, NH, DT, DF y NF; en el EDS de 10 m se encontraron los valores más elevados en las variables R, AP, DT, NF y PF. En este EDS, las plantas presentaron un valor mayor en la variable LR, menos PPA, así como el valor más bajo en las variables DF y APF. El valor de  $\Theta$  fue mayor en el

EDS de 40 m, factor que retrasó el desarrollo del cultivo, ocasionando el acame de plantas en producción hasta de 88.4% en dicho EDS. Se realizaron regresiones múltiples para relacionar a R con las variables independientes: PNF,  $h$ , T y HBS, determinándose los valores que optimizan el rendimiento del cultivo. Se obtuvo un rendimiento promedio de 60.4 t ha<sup>-1</sup> en el EDS de 10 m, que superó en 50% a la media regional.

**Palabras clave:** Carica papaya L., espaciamiento de drenaje, profundidad del manto freático, potencial de presión, rendimiento.

### SUMMARY

Shallow water tables in the humid tropical areas cause agricultural problems because of excess moisture in the soil profile where roots develop. To solve these problems, drainage plays a determining role, mainly in the case of crops that are sensitive to these excesses. The study was carried out in the experimental area of the Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, located in the Chontalpa region, Tabasco. The objective was to analyze the phenological behavior of papaya (*Carica papaya* L.), variety Maradol, established in a plot with three subsurface drain spacing distances (EDS), which were considered treatments. In each treatment, 20 plants were chosen randomly. Variables such as plant height (AP), stem diameter (DT), number of leaves (NH), number of fruits (NF), weight of fruits (PF), height of the first fruits (APF), days to flowering (DF), yield (R), length of roots (LR) and plants lost by "acame" (fall) (PPA) were evaluated. Hydrologic and meteorological variables such as depth of the groundwater level (PNF), soil water pressure potential ( $h$ ), moisture content in the soil profile ( $\theta$ ), air temperature (T), and hours of sunlight (HBS) were also evaluated. As result of the analysis of variance, there were highly significant differences among treatments in the following variables: AP, NH, DT, DF, and NF. The highest values in the variables R,

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Texcoco, estado de México. (aarrieta@colpos.colpos.mx)

<sup>2</sup> Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados. Periférico Carlos A. Molina s/n., 86500 H. Cárdenas, Tabasco. (ceugenio@colpos.colpos.mx)

AP, DT, NF and PF were observed in EDS of 10 m. In the same EDS, the plants also showed a higher value in the LR variable, a lower PPA value, as well as the lowest value in the DF and APF variables. The higher  $\theta$  value occurred in EDS of 40 m, acting as a factor that delayed the development of the crop, causing up to 88.4% of the total population of plants to fall during the productive stage. Multiple regressions were done to relate the variable R to the independent variables such as PNF,  $h$ , T and HBS, and to determine the values for optimal crop yield. An average yield of 60.4 t ha<sup>-1</sup> was obtained in the EDS of 10 m, surpassing the average regional yield by 50%.

**Index words:** *Carica papaya L., drainage spacing, water table level, soil water pressure potential, yield*

## INTRODUCCION

En México y el mundo, la papaya (*Carica papaya* L.) se considera un frutal de importancia económica, por su alta rentabilidad y la gran aceptación de sus frutos (PROFRUTA, 1999). En la actualidad, México ocupa el séptimo lugar mundial en superficie establecida con este cultivo con 19 694 ha; se obtienen un rendimiento promedio nacional de 29.2 t ha<sup>-1</sup> y una producción de 575 558 t año<sup>-1</sup>; el estado de Veracruz es el mayor productor, con 55.80% de la producción total nacional (FAO, 2000). En el estado de Tabasco, se empezó a incrementar la superficie cultivada con este frutal a partir de 1992 y se cultivan actualmente 2250 ha con las variedades Mamey y Maradol, siendo esta última la de mayor aceptación en el mercado nacional y mundial por su sabor y duración en anaquel (INEGI, 2000).

El cultivo de papaya se desarrolla de manera adecuada en lugares donde la precipitación oscila de 1500 a 2000 mm anuales (Samson, 1991). En general, las plantas jóvenes requieren más agua que las plantas adultas, pero una sequía prolongada durante la etapa productiva ocasiona caída de hojas, reduce el amarre de frutos y afecta el rendimiento (Mandujano, 1993). Yee *et al.* (1980), después de realizar investigaciones por tres años en la Isla de Kauai, Hawai, recomendaron aplicar 14 L de agua planta<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> durante períodos húmedos y 27 a 36 L de agua planta<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> durante períodos secos. Awada *et al.* (1979) recomendaron que la cantidad de agua que debe aplicarse al cultivo debe ser 1.3 veces la evaporación medida en el tanque evaporímetro tipo "A" en la

semana anterior. En cambio, León *et al.* (1985) reportaron que la evapotranspiración del cultivo del papayo en Veracruz es equivalente a 75-80% de la evaporación medida en el tanque tipo "A".

Por la consistencia herbácea del tallo del papayo, es una planta bastante perjudicada por los vientos, dado que el tallo debe de soportar el gran peso de los frutos. Cuando se presentan vientos huracanados, los tallos se quiebran o acaman y los frutos se caen, lo que, como consecuencia, reduce el rendimiento (De los Santos *et al.*, 1997).

Por otra parte, el exceso de humedad afecta sensiblemente al papayo. Mellado (2001) indicó que con períodos de lluvia prolongados la planta sufre amarillamiento, los tallos se tornan largos y delgados, el rendimiento es menor, la recolección de frutos se torna difícil y disminuye la producción de látex. De los Santos *et al.* (1997) señalaron que el suelo en el que se establezca el cultivo debe tener buena estructura y drenaje, para evitar encharcamientos de más de 48 h que pueden causar daños severos a la planta y, en ocasiones, la muerte. Medina *et al.* (1980) y Nakasone (1980) indicaron que el papayo no tolera más de 48 h de encharcamientos en el espesor radical.

El estado de Tabasco dispone de agua de lluvia durante casi todo el año, con una precipitación pluvial que varía desde 1800 hasta más de 4000 mm anuales, por lo que es común encontrar suelos con problemas de drenaje, en los que la producción de papaya se restringe. El alto contenido de humedad en el suelo ocasiona retrasos en el desarrollo durante las diferentes etapas fenológicas de las plantas de papaya, además de ocasionar daños como: pudrición de raíces, caída de flores y frutos e inclusive la pérdida total de las plantas, lo que implica la pérdida de la cosecha. Para resolver esta problemática, los productores construyen drenes superficiales que, en ocasiones, no resuelven totalmente los problemas ocasionados por los excesos de humedad. Como alternativa, en el Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, se construyó un módulo de drenaje subsuperficial entubado, con la finalidad de evaluar la eficiencia de este tipo de drenaje en cultivos importantes para la región (Palacios *et al.*, 1993).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento fenológico del papayo establecido en un lote con tres espaciamientos de drenaje subsuperficial, para determinar el posible efecto que el espaciamiento de drenaje tiene sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de papayo. La hipótesis estadística utilizada fue Ho: Los diferentes

espaciamientos de drenaje subsuperficial no tienen efecto sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de papayo, contra la hipótesis alternativa Ha: Al menos un espaciamiento de drenaje tiene un efecto sobre esas variables.

## MATERIALES Y METODOS

### Ubicación del Sitio Experimental y Clima

La investigación se realizó en el módulo de drenaje subsuperficial del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, en la Chontalpa, Tabasco, localizado en el km 100 de la carretera Coatzacoalcós-Cárdenas, a 17°49'03" N y 93°23'03" O, con una altitud de 11 m. El módulo de drenaje subsuperficial consiste en un área compacta que conforman los lotes denominados C-6, C-7, D-5 y D-6, con 15 ha cada uno. La longitud total de los drenes interceptores (tubería de plástico corrugada y ranurada, de 7.5 y 10 cm de diámetro) y colectores (tubería corrugada de 15 y 20 cm de diámetro) instalados es de 13 645 m, con una profundidad de 1.1 a 1.4 m (Palacios *et al.*, 1993). El clima dominante, según la clasificación de Köppen modificado por E. García, es del tipo Am (f) w" (i) g (Nájera *et al.*, 1998), cálido húmedo tropical con lluvias abundantes en verano. La precipitación pluvial y la evaporación media anual oscilan alrededor de 2240 y 1400 mm, respectivamente. La precipitación tiene una distribución temporal bastante irregular y se pueden distinguir a lo largo del año tres épocas con características pluviométricas diferentes: a) época de lluvias, comprendida entre los meses de junio a octubre, en esta época la magnitud e intensidad de la precipitación pluvial son muy elevadas, b) época de "nortes", durante los meses de noviembre a enero, caracterizada por lluvias del tipo ciclónico de baja intensidad y duración prolongada, y c) época de relativa sequía, de febrero a mayo.

### Diseño Experimental y Tratamientos

La evaluación de la respuesta del papayo a los espaciamientos de drenaje subsuperficial (EDS) de 10, 20 y 40 m entre drenes, se llevó a cabo en el Lote D-5 del mismo módulo. El área experimental, incluyendo las áreas correspondientes a los tres EDS, consistió de un rectángulo de 280 m de largo por 36 m de ancho, con una densidad poblacional de 2000 plantas, establecidas en los vértices de una cuadrícula a 2 m

entre hileras y 2.5 m entre plantas. Cada espaciamiento de drenaje subsuperficial se consideró como tratamiento. El diseño experimental empleado fue un completamente al azar, por lo que se seleccionaron 20 plantas al azar en cada tratamiento (área con diferente EDS), que se consideraron como unidades experimentales, mismas en las que se evaluaron el comportamiento fenológico, el desarrollo y el rendimiento del cultivo.

### Establecimiento del Cultivo

La preparación del terreno consistió en un barbecho cruzado, tres pasos de rastra semipesada, trazo de la plantación y ahoyado. El trasplante de papaya se efectuó el 9 de julio de 1999, siguiendo las recomendaciones técnicas dadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) en la región. Las plantas de papaya de la variedad Maradol se adquirieron en un vivero particular.

### Mediciones Realizadas

**Variables edáficas.** En el centro del área correspondiente a cada tratamiento se excavó un perfil, en el que se determinaron la textura y la densidad aparente del suelo para las profundidades 20, 40, 60, 80 y 100 cm. Estos valores se utilizaron para estimar los valores de la porosidad del suelo a las mismas profundidades.

#### Variables hídricas

**Contenido volumétrico de humedad ( $\theta$ ).** En el área central de cada tratamiento se determinó el contenido de humedad del perfil de suelo dos veces por semana, a partir del 11 de noviembre de 1999 y hasta el 30 de octubre de 2000, a cinco profundidades (20, 40, 60, 80 y 100 cm). Los valores se expresaron de manera volumétrica mediante la expresión:

$$\theta = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \times \frac{D_a}{D} \quad (1)$$

Donde:  $\theta$  = contenido volumétrico de humedad ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $P_{sh}$  = peso de la muestra húmeda de suelo (g);  $P_{ss}$  = peso de la muestra seca de suelo (g);  $D_a$  = densidad aparente del suelo a la profundidad del muestreo ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $D$  = densidad del agua ( $\text{g cm}^{-3}$ ), considerada constante e igual a la unidad.

**Potencial de presión (*h*).** Para determinar el potencial de presión del agua dentro del perfil de suelo (*h*), se instalaron cinco tensiómetros de manómetro en el EDS de 10 m a 20, 40, 60, 80 y 100 cm y en el EDS de 40 m a 60 y 80 cm de profundidad, en la parte central de cada EDS. Las lecturas se observaron diariamente durante el tiempo que tomó el experimento. En el EDS de 20 m no se midió el potencial de presión por no disponer de suficientes tensiómetros, eligiéndose medir sólo los sitios más contrastantes en cuanto a densidad de drenaje.

**Profundidad del nivel freático (PNF).** Para la determinación de la profundidad del nivel freático (PNF), se instalaron cinco pozos de observación por tratamiento, contruidos con tubo de PVC de 2" de diámetro a una profundidad de 3 m, distribuidos en la parte central de cada tratamiento; la lectura se realizó diariamente y durante todo el tiempo que duró el experimento.

#### Variables Meteorológicas

**Precipitación, temperatura (T) y horas brillo sol (HBS).** Se tomaron los datos diarios de los registros mensuales de lluvia, de la temperatura promedio diaria (T), así como del total de horas brillo sol diarias (HBS) durante todo el ciclo de estudio, en la estación agrometeorológica del Campus Tabasco.

#### Variables Fenológicas

**Altura de plantas (AP).** Esta variable se midió cada dos semanas desde el inicio hasta el término del experimento, con el auxilio de una escalera y un flexómetro. Las medidas se tomaron desde la base del tallo hasta la altura máxima del dosel de las hojas.

**Número de hojas (NH).** Se determinó contando cada dos semanas el número total de hojas de cada planta durante el periodo de realización del trabajo.

**Longitud de raíz (LR).** Sólo se determinó en una sola planta por tratamiento, al inicio de la floración y en la cosecha, debido a la necesidad de sacrificar la planta usada en la determinación.

**Diámetro de tallo (DT).** Se midió con vernier, tomando precaución de medir siempre la misma posición del tallo (10 cm de la superficie del suelo). La determinación se realizó cada dos semanas desde el inicio de la fase reproductiva hasta el final del experimento, del 27 de marzo hasta el 31 de octubre de 2000.

**Días a la floración (DF).** Se consideró que los días a la floración se alcanzaron en cada tratamiento cuando 80% de las plantas medidas contaban con brotes florales abiertos.

**Altura a los primeros frutos (APF).** Se determinó cuando se detectaron los primeros frutos con una longitud mínima de 10 cm. Se consideró como APF a la altura promedio de las 20 plantas evaluadas en cada tratamiento.

**Número de frutos (NF).** A partir del primer fruto cosechado, se contabilizó el número de frutos cosechables por planta en los tres tratamientos. Se consideró como número de frutos por planta al número promedio de frutos determinado en las 20 plantas evaluadas.

**Peso de frutos (PF).** El peso de frutos para cada tratamiento se consideró como el valor promedio del peso individual de los frutos cosechados en las plantas seleccionadas en cada tratamiento.

**Rendimiento (R).** Se estimó con base en los valores de NF y PF, considerando la densidad poblacional para determinar el valor de R ( $t\ ha^{-1}$ ) en los tres tratamientos.

**Número de plantas perdidas por acame (PPA).** Se cuantificó el valor de PPA, de cada uno de los tratamientos, siendo el exceso de humedad el factor que originó mayor afectación.

**Análisis estadístico.** Se realizó un análisis de varianza del diseño completamente al azar para determinar el posible efecto de los tratamientos sobre las variables fenológicas evaluadas, así como una prueba de comparación múltiple de medias, determinando la diferencia mínima significativa en cada caso con el método propuesto por Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), con el uso del programa Statistical Analysis System (SAS, 1996). Además, empleando el mismo programa, se corrieron regresiones múltiples para relacionar a R en cada tratamiento con las variables independientes PNF, T, HBS y *h* a 60 cm de profundidad.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Clasificación Textural del Suelo

Los porcentajes encontrados de arcilla oscilaron de 28 a 38 y los de arena de 46 a 57 en el área experimental. El suelo del área correspondiente a los Tratamientos  $T_1$  y  $T_2$  (EDS de 10 y 20 m, respectivamente) se clasifica como migajón arcillo arenoso, mientras que el suelo del área

correspondiente al Tratamiento T<sub>3</sub> (EDS de 40 m) se clasifica como arcillo arenoso.

### Evolución del Contenido Volumétrico de Humedad ( $\theta$ )

En el Cuadro 1, se muestran los valores promedio ( $\theta_m$ ) y el coeficiente de variación (CV) de los valores de  $\theta$  para las cinco profundidades evaluadas en los tres EDS, así como los valores de la porosidad del suelo (P) correspondientes. En este cuadro, se aprecia que en el EDS de 40 m los valores promedio de  $\theta$  son mayores que en los demás EDS. En este EDS se obtuvo el valor más elevado del CV en la profundidad de 20 cm y los valores más bajos de dicho coeficiente en las profundidades de 80 y 100 cm, para las cuales se determinaron los mayores valores de  $\theta$ , lo que implica que a dichas profundidades la humedad tomó casi siempre valores elevados. En contraste, en el EDS de 10 m se obtuvieron los menores valores del CV a las profundidades más superficiales (20, 40 y 60 cm), con un contenido de humedad menor. De manera general, los valores más elevados del CV se presentan cerca de la superficie para todos los EDS, debido a que la variación de los valores de  $\theta$  es mayor, como resultado de los intercambios de humedad suelo-atmósfera, así como de la extracción de agua hecha por las raíces, que se desarrollaron principalmente cerca de la superficie.

### Evolución Temporal del Potencial de Presión ( $h$ ) y de la Profundidad del Nivel Freático (PNF)

En la Figura 1, se ilustra el comportamiento temporal de  $h$  (considerado positivo) medido a la

profundidad de 60 cm en los EDS de 10 y 40 m, así como la evolución de la PNF en los tres tratamientos durante el ciclo de desarrollo del cultivo. Nótese la estrecha relación entre los valores de  $h$  dentro del perfil y la distribución temporal de la lluvia: durante la época de secas (de febrero a inicio de junio), la magnitud de la lluvia es pequeña, por lo que  $h$  aumenta considerablemente en el perfil; en cambio, durante las épocas de lluvia y “nortes”,  $h$  toma valores cercanos a cero en todo el perfil, como resultado del humedecimiento del suelo ocasionado por las lluvias, lo que es más notorio en el EDS de 40 m. Cabe hacer notar la diferencia en la evolución de  $h$  para los EDS de 10 y 40 m: en el EDS de 10 m,  $h$  se incrementa mucho más rápidamente, alcanzando pronto la máxima capacidad de medición del tensiómetro para determinar  $h$  (de alrededor de 800 cm); en cambio, en el EDS de 40 m, el aumento de  $h$  es más lento y alcanza valores menores, lo que indica un mayor contenido de humedad.

Por otra parte, en la Figura 1, también se observa que la profundidad del nivel freático en el área experimental dependió fundamentalmente de la magnitud de la lluvia, observándose una relación estrecha entre ambas variables. En el EDS de 40 m, la PNF alcanza la superficie en la época de “nortes”, lo que no ocurrió en los EDS de 10 y 20 m. Cabe mencionar que el desalojo del agua en los EDS de 10 y 20 m es más rápido y la PNF es mayor, mientras que en el espaciamiento de 40 m, el desalojo tiende a ser más lento con PNF menor durante todo el ciclo. Esto ocasionó que en este espaciamiento el nivel freático se mantuviera por varios días más cerca del sistema radical de las plantas, por lo que muchas de ellas se debilitaron y cayeron; más tarde, otras murieron por la inhibición del proceso de respiración. Estas fueron

**Cuadro 1. Promedio y coeficiente de variación de los valores de contenido volumétrico de humedad ( $\theta$ ), determinados durante el período de estudio, así como valores de porosidad para los diferentes espaciamientos de drenaje en las diferentes profundidades evaluadas.**

Profundidad	Espaciamiento entre drenes (m)								
	$\theta_m^\dagger$	10 CV	P	20 $\theta_m$	CV	P	40 $\theta_m$	CV	P
cm									
20	0.254	41.09	0.399	0.216	47.09	0.354	0.228	53.67	0.417
40	0.274	28.34	0.384	0.254	41.09	0.395	0.304	32.11	0.450
60	0.295	35.43	0.402	0.287	36.11	0.439	0.297	37.63	0.477
80	0.309	30.26	0.421	0.295	37.41	0.433	0.319	27.38	0.477
100	0.311	35.66	0.448	0.295	39.87	0.441	0.324	34.21	0.480

<sup>†</sup>  $\theta_m$  = valor promedio del contenido volumétrico de humedad del suelo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); CV = coeficiente de variación de los valores de contenido volumétrico de humedad del suelo (%); P = porosidad ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

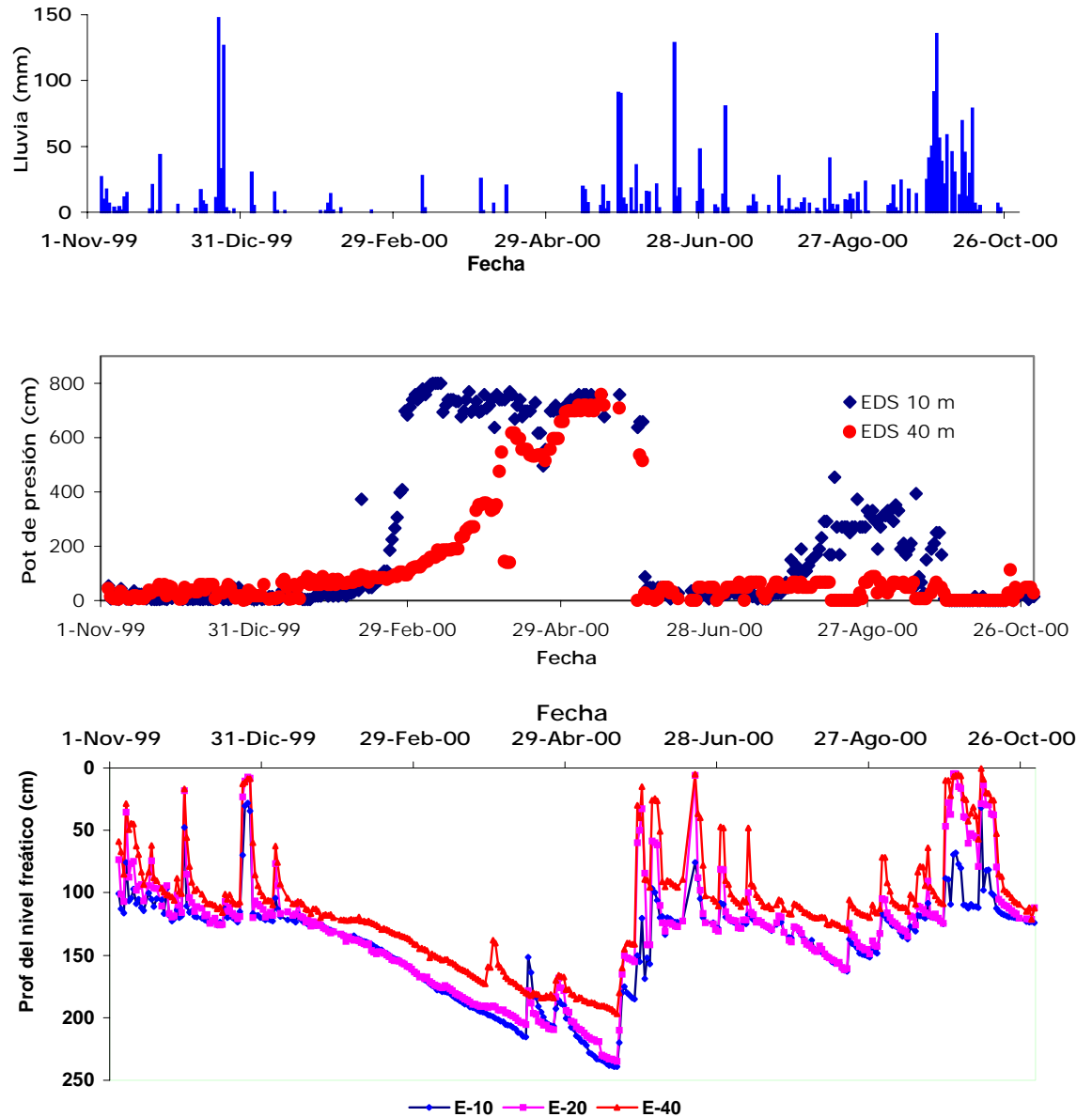


Figura 1. Evolución temporal del potencial de presión ( $h$ ) a 60 cm de profundidad en los espaciamientos de drenaje subsuperficial (EDS) de 10 y 40 m, y de la profundidad del nivel freático (PNF) en los tres EDS evaluados, como función del aporte de agua por lluvia.

las causas que originaron una pérdida de 88.4% del total de plantas productivas en este último EDS.

#### Relación entre la Profundidad del Nivel Freático y el Potencial de Presión

En este trabajo, se estudió la relación entre el potencial de presión  $h$  y el crecimiento y rendimiento

del cultivo de papaya; sin embargo,  $h$  es comúnmente difícil de medir, por lo que una alternativa es determinar la PNF para estimar el valor de  $h$  dentro del perfil. La relación entre los valores de  $h$  dentro del perfil de suelo y la PNF es dinámica, y ha podido ser modelada empleando la ecuación de Richards (Richards, 1931), que se deriva de la ley de Darcy y de la ecuación de conservación de la masa, y permite

calcular la variación de  $h$  como función de la magnitud de los aportes de agua en la superficie, de las características hidrodinámicas del perfil de suelo y de la profundidad del manto freático.

Aunque se sabe que una simple regresión no resuelve el problema de relacionar ambas variables, se considera que si provee de información suficiente para estimar con cierta precisión el valor de  $h$  con base en el valor de la PNF. Esta alternativa es además bastante simple, comparada con la ecuación de Richards, por lo que en la Figura 2 se presentan las ecuaciones de regresión encontradas para relacionar a  $h$  a 60 cm de profundidad con la PNF en el área experimental en los EDS de 10 y 40 m. En dicha figura puede observarse que al aumentar la PNF, el valor de  $h$  a 60 cm de profundidad aumenta de manera exponencial, y que ambas variables se relacionan de manera aceptable. Sin embargo, debe aclararse que las ecuaciones de regresión presentadas sólo son válidas para el tipo de suelo de la parcela experimental. Cabe señalar que la relación entre  $h$  a 60 cm de profundidad y PNF es muy similar en ambos EDS, a pesar de que existen ligeras diferencias en cuanto a la textura y porosidad del perfil entre los EDS.

### Resultados del Análisis Estadístico

En el Cuadro 2, se muestran los resultados del análisis de varianza del diseño completamente al azar

para las variables fenológicas evaluadas en los tres tratamientos, incluyendo los valores del coeficiente de variación (CV) y la diferencia mínima significativa (DMS) para cada variable (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). En casi todas las variables se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos, siendo el Tratamiento T<sub>1</sub> en el que se observaron las mejores características agronómicas en el cultivo como respuesta al mejor desalojo del agua excedente.

**Altura de plantas.** El valor presentado para AP en el Cuadro 2 para cada tratamiento corresponde al valor promedio durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo. Las plantas fueron significativamente más altas en el Tratamiento T<sub>1</sub> (EDS 10 m) y menores en el Tratamiento T<sub>3</sub> (EDS 40 m), en el que se presentaron los menores valores de  $h$  y los más elevados de  $\theta$  en el perfil de suelo, lo que indica que el exceso de humedad reduce el crecimiento del cultivo y limita la talla final de las plantas. Cabe señalar que Mandujano (1993) reportó, para la variedad Maradol, una altura promedio no mayor que 2 m. En el presente trabajo, se encontró una AP final promedio superior a la que reporta este autor en el EDS de 10 m, de 2.19 m en promedio, lo que indica que el cultivo responde favorablemente al menor espaciamiento entre drenes. El coeficiente de variación encontrado para esta variable fue muy pequeño (3.37%), lo que indica que la respuesta del

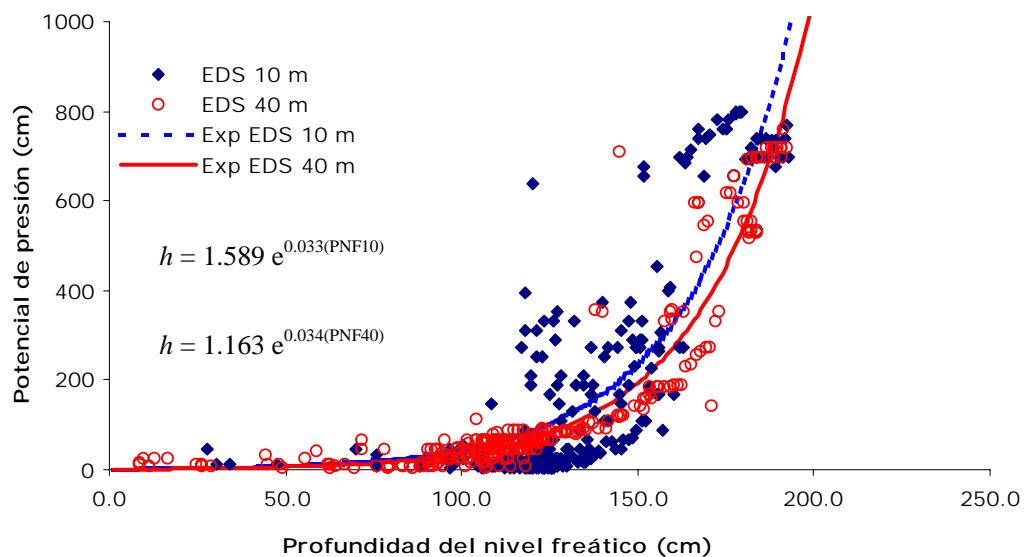


Figura 2. Relación observada entre el potencial de presión del agua en el suelo a 60 cm de profundidad en el perfil ( $h$ ) y la profundidad del manto freático (PNF) en los espaciamientos entre drenes de 10 y 40 m.



**Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza de las variables fenológicas.**

Variable	Medias de tratamientos			Media general	CV	DMS	p>F
	T <sub>1</sub> (EDS 10 m) †	T <sub>2</sub> (EDS 20 m)	T <sub>3</sub> (EDS 40 m)				
					%		
AP‡ (cm)	161.06 a§	149.22 b	141.0 c	150.43	3.37	4.28	0.0001**#
NH	34.40 a	28.75 a	23.1 c	28.41	22.55	4.94	0.0001**
DT (cm)	8.51 a	7.24 b	6.7 b	7.48	17.77	1.03	0.0003**
DF (días)	159.65 b	180.50 b	221.5 a	187.25	18.15	26.20	0.0001**
APF (cm)	62.52 a	63.02 a	68.87 a	64.80	29.36	14.67	0.5 NS
NF	18.65 a	12.30 b	10.75 b	13.90	54.66	5.85	0.0052**
PF (kg)	1.60 a	1.34 a	0.79 b	1.25	39.73	0.38	0.0216*
R (t ha <sup>-1</sup> )	60.4	32.9	12.2				
PPA (%)	9.1	58.8	88.4				

† EDS = espaciamiento de drenaje subsuperficial; ‡ AP = altura de plantas (cm); NH = número de hojas; DT = diámetro del tallo (cm); DF = días a la floración; APF = altura a los primeros frutos (cm); NF = número de frutos; PF = peso del fruto (kg); R = rendimiento de frutos (t ha<sup>-1</sup>); PPA = plantas perdidas por acame (%); § Medias con la misma letra en fila son estadísticamente iguales, Tukey ( $\alpha = 0.05$ ); # \*\* Altamente significativo, \* Significativo y NS = no significativo.

cultivo a los diferentes tratamientos (EDS) fue muy homogénea.

**Número de hojas.** Los Tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> presentaron un NH significativamente mayor que el Tratamiento T<sub>3</sub>, como respuesta al mejor desalojo del agua excedente. El menor NH en este último tratamiento se debe a los efectos negativos provocados en esta variable por el exceso de humedad. El valor de NH determinado en el Tratamiento T<sub>1</sub> es similar al encontrado por Mandujano (1993), quien señaló que una planta sana tiene más de 30 hojas fotosintéticamente activas.

**Diámetro del tallo.** Las plantas establecidas en el Tratamiento T<sub>1</sub> mostraron diferencia estadística altamente significativa con las establecidas en los Tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, que fueron iguales estadísticamente (Cuadro 2). Los valores más elevados en esta variable se encontraron en el tratamiento con EDS más corto, como respuesta al mejor desalojo del agua excedente. Mosqueda y Molina (1973) reportaron que el grosor del tallo es una de las variables morfológicas más correlacionadas con el rendimiento de fruta. Plantas con tallo más grueso tienden a ser más productivas y más precoces.

**Días a la floración.** Las plantas establecidas en los Tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> tuvieron una floración más temprana (iguales estadísticamente) que las plantas establecidas en el Tratamiento T<sub>3</sub> [diferente estadísticamente (Cuadro 2)]. En este último tratamiento, las plantas sufrieron un retraso en el crecimiento, causado por la presencia de excesos de humedad en varios períodos, además de que el nivel freático se mantuvo más cerca de la superficie durante la etapa de floración.

**Altura a los primeros frutos.** No se encontraron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos evaluados, sin embargo, en el Tratamiento T<sub>3</sub> se encontraron los valores más altos en esta variable (Cuadro 2), lo que indica que los excesos de humedad en el suelo afectan también el proceso de floración y aparición de frutos, lo que reduce el intervalo de tiempo durante el cual la plantación es productiva. Esta característica se ha recomendado como criterio de selección para ganar en precocidad en el amarre de frutos (Giacometti, 1987), aunque en el presente estudio las diferencias en los valores de la APF se debieron al efecto de los tratamientos y no a factores genéticos.

**Número de frutos.** Los valores más elevados en esta variable se encontraron en el Tratamiento T<sub>1</sub>, diferente estadísticamente de T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> (Cuadro 2). Esto confirma lo reportado por Mosqueda y Molina (1973), quienes señalaron que plantas con un diámetro más grande de tallo tienen un número mayor de frutos. El valor del CV para esta variable (54.66%) es muy elevado, resultado de una gran variabilidad en el valor de NF en las plantas evaluadas, tanto entre tratamientos como dentro de tratamientos, sin embargo, ello no obstó para que se encontraran diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

**Peso de frutos.** De igual forma que en el resto de variables relacionadas con el rendimiento del cultivo, el PF más elevado se encontró en el Tratamiento T<sub>1</sub> (igual estadísticamente a T<sub>2</sub>). Cabe mencionar que el peso promedio del fruto reportado para la variedad Maradol varía de 1.5 a 2.5 kg (PROFRUTA, 1999), lo que coincide con los resultados obtenidos en los Tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>. En el Tratamiento T<sub>3</sub>, (diferente

estadísticamente de  $T_1$  y  $T_2$ ), el PF fue significativamente menor, como resultado del efecto negativo de los excesos de humedad sobre el desarrollo del cultivo.

**Rendimiento.** El comportamiento del rendimiento (R) del cultivo tiene una tendencia clara: a mayor EDS menor R, como consecuencia de la menor capacidad del sistema de drenaje para desalojar los excesos de agua. En el Tratamiento  $T_1$ , se obtuvo el mayor valor de R, de  $60.4 \text{ t ha}^{-1}$ , que sobrepasa en 50% al rendimiento medio regional (de  $40 \text{ t ha}^{-1}$ ), lo que es un indicador claro de las bondades que el drenaje parcelario subsuperficial correctamente diseñado tiene. Por otra parte, a consecuencia de la sensibilidad del papayo a los excesos de humedad, los resultados encontrados en el Tratamiento  $T_3$  indican que en este caso el drenaje subsuperficial no fue suficiente para resolver los problemas ocasionados al cultivo por la humedad excesiva, encontrándose un valor de R muy por debajo del promedio regional, de apenas  $12.2 \text{ t ha}^{-1}$ . En el Tratamiento  $T_2$ , R ( $32.9 \text{ t ha}^{-1}$ ) tampoco superó al valor promedio para la zona.

**Plantas perdidas por acame.** No se realizó un análisis de varianza de esta variable, debido a que no se contemplaron repeticiones de áreas cultivadas con el mismo EDS. Sin embargo, los resultados encontrados refuerzan las conclusiones que pueden derivarse del análisis del resto de variables evaluadas: el EDS de 40 m ( $T_3$ ) fue insuficiente para resolver los problemas ocasionados por el exceso de humedad en el cultivo; en este EDS, 88.4% de las plantas establecidas murieron por ahogamiento, o bien, por la presencia de enfermedades fungosas en la raíz (cabe señalar que no se registraron plantas afectadas con virosis). En cambio, en el EDS de 10 m ( $T_1$ ), sólo 9.1% de las plantas se perdieron por esas causas.

**Longitud de raíz.** En esta variable no se realizó el análisis de varianza, debido a la falta de repeticiones; sin embargo, las raíces mostraron una mayor longitud máxima en el Tratamiento  $T_1$  (2.18 m) y menor en el Tratamiento  $T_3$  (0.6 m) como respuesta a un menor valor de  $\theta$  en el EDS de 10 m, mientras que en el Tratamiento  $T_2$ , las raíces alcanzaron una longitud máxima de 1.58 m. Este comportamiento coincide con lo mencionado por Samson (1991), quien indicó que el sistema radical en suelos húmedos se mantiene cerca de la superficie. Mirafuentes *et al.* (2000) indicaron que en suelos profundos y bien drenados, las raíces llegan a alcanzar hasta 1.80 m de longitud.

## Estimación del Rendimiento

Con base en los valores del número y peso promedio de frutos en cada tratamiento para las diferentes fechas de medición, se estimaron los valores del rendimiento (R) del cultivo en cada fecha. Con estos datos, se realizaron regresiones múltiples para relacionar a R con las variables independientes  $h$  a 60 cm de profundidad en el perfil, PNF, temperatura promedio (T) y horas brillo sol (HBS). Para realizar las regresiones, se calcularon valores promedio de las variables independientes  $h$ , NF, T y HBS para los períodos de tiempo entre cada estimación de R (fecha de medición de frutos), con el objetivo de disponer de igual número de observaciones en la variable dependiente y en las variables independientes. Se realizaron dos tipos de regresiones: 1) Relacionando al valor de R promedio con las variables: PNF promedio, T promedio y HBS promedio. 2) Relacionando al valor de R promedio con las variables:  $h$  promedio, T promedio y HBS promedio. En ambos casos, se probaron los efectos lineales y cuadráticos, así como las interacciones entre las variables independientes sobre el rendimiento, seleccionando los modelos encontrados con base en los valores del coeficiente de determinación y en los niveles de significancia de los parámetros de cada modelo. Esta operación se realizó utilizando la opción FORWARD BACKWARD STEPWISE de SAS (SAS, 1996), que selecciona los coeficientes del modelo que superan un nivel de significancia previamente establecido ( $\alpha = 0.1$ ).

**Estimación del rendimiento promedio con base en las variables independientes potencial de presión, temperatura y horas brillo sol.** El potencial de presión  $h$  sólo se determinó en los espaciamientos de drenaje de 10 y 40 m, por lo que sólo se obtuvieron modelos para dichos espaciamientos. Para la obtención de los modelos, se consideró a los valores de  $h$  positivos, aunque en realidad representan una presión inferior a la atmosférica (negativa). Los modelos seleccionados se muestran a continuación, en los que no se incluyen los efectos lineales ni cuadráticos ni las interacciones que resultaron no significativos:

EDS de 10 m:

$$R = 41.97 + 0.173 h - 0.000198 h^2 + 0.1561 T^2 - 0.0057 h*T - 0.1521 T*HBS + 0.00044 h*T*HBS \quad (2)$$

Coeficiente de determinación  $r^2 = 0.9493$

EDS de 40 m:

$$R = -679.42 + 55.36 T + 0.000128 h^2 - 1.2149 T^2 - 1.497 HBS^2 - 0.013 h*HBS + 0.8763 T*HBS \quad (3)$$

Coefficiente de determinación  $r^2 = 0.9065$

**Estimación del rendimiento promedio con base en las variables independientes profundidad del nivel freático, temperatura y horas brillo sol.** Los modelos seleccionados se muestran a continuación. De la misma forma que en el caso anterior, no se incluyen los efectos lineales ni cuadráticos ni las interacciones que resultaron no significativos:

EDS de 10 m:

$$R = -380.3947 + 1.8316 NF + 12.212 T - 0.00547 NF^2 + 0.094602 NF*HBS - 0.00520795 NF*T*HBS \quad (4)$$

Coefficiente de determinación  $r^2 = 0.9356$

EDS de 20 m:

$$R = -123.1 + 0.9448 NF + 3.941 T - 0.0036198 NF^2 - 0.076635 T*HBS \quad (5)$$

Coefficiente de determinación  $r^2 = 0.8492$

EDS de 40 m:

$$R = -139.8536 + 0.7832 NF + 4.7362 T + 6.7407 HBS - 0.00341 NF^2 - 0.3422 T*HBS \quad (6)$$

Coefficiente de determinación  $r^2 = 0.835$

En la Figura 3, se muestra la comparación entre el valor de R promedio medido y el R promedio estimado con los modelos (4), (5) y (6), en la que

puede observarse que, en general, el valor de R promedio puede estimarse aceptablemente bien como función de las variables independientes, lo que es un indicador claro de la influencia que éstas tienen sobre el rendimiento del cultivo. Sin embargo, debe aclararse que los modelos encontrados son válidos sólo para los rangos de variación de las variables independientes utilizados en su determinación, así como para el tipo de suelo de la parcela. En el Cuadro 3, se incluyen los rangos de variación de las variables independientes para los cuales fueron determinados los modelos de regresión.

### Valores de las Variables Independientes que Maximizan el Rendimiento Promedio

A partir de los modelos de regresión, pueden determinarse los valores de las variables independientes que hacen máximo el rendimiento. El modelo general empleado fue:

$$R = a + bx + cy + dz + ex^2 + fy^2 + gz^2 + hxy + ixz + jyz + kxyz \quad (7)$$

Donde: R = rendimiento del cultivo ( $t\ ha^{-1}$ ); x, y, z = variables independientes; a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k = coeficientes del modelo.

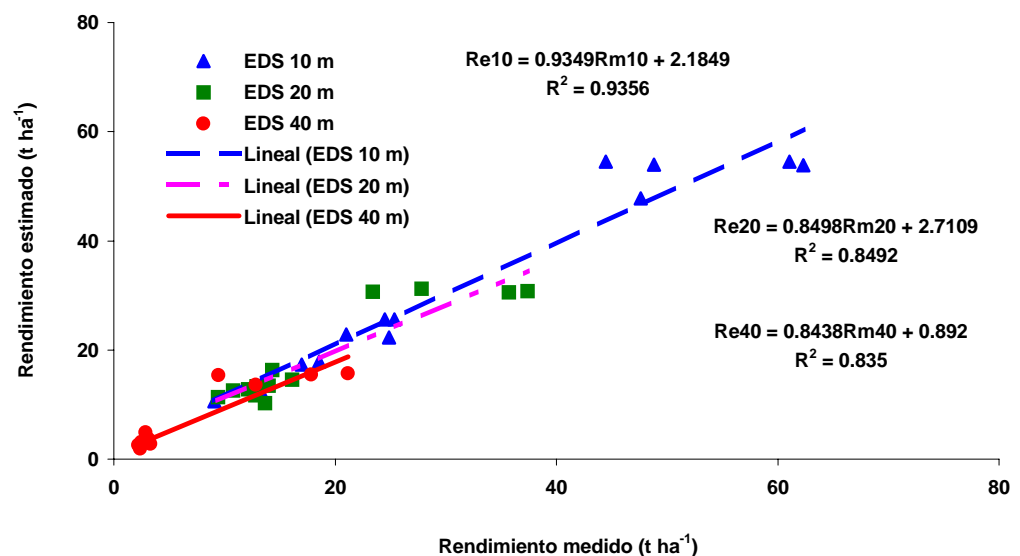


Figura 3. Comparación del rendimiento promedio medido y el rendimiento promedio estimado ( $t\ ha^{-1}$ ) con las expresiones (4), (5) y (6) para los EDS de 10, 20 y 40 m. Re = rendimiento estimado; Rm = rendimiento medido.

**Cuadro 3. Rango de variación de las variables independientes en la determinación de los modelos.**

Variable	Espaciamiento de drenaje	Rango de variación Valor máximo	Valor mínimo
	m		
Potencial de presión $h$ (cm)	10	740.27	12.21
	40	711.8	10.97
Prof. del nivel freático PNF (cm)	10	226.62	101.36
	20	218.18	60.49
	40	187.87	45.74
Temperatura promedio $T$ (°C)		29.79	21.18
Horas brillo sol HBS		9.06	3.85

Calculando las derivadas parciales respecto de las variables independientes e igualando a cero, se obtiene un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas:

$$\frac{\partial R}{\partial x} = b + 2ex + hy + iz + kyz = 0 \quad (7.1)$$

$$\frac{\partial R}{\partial y} = c + 2fy + hx + jz + kxz = 0 \quad (7.2)$$

$$\frac{\partial R}{\partial z} = d + 2gz + ix + jy + kxy = 0 \quad (7.3)$$

La solución de las Ecuaciones 7.1 a 7.3 permite determinar el punto para el cual  $R$  tiene un valor extremo. Para verificar que en ese punto la función tiene un máximo, los valores de los menores principales de la matriz Hesiana, formada por las segundas derivadas parciales y derivadas cruzadas de la función respecto a las variables independientes,

deben alternar en signo, iniciando con un valor negativo (Apostol, 1972).

En el Cuadro 4, se muestran los valores encontrados de las variables independientes para el punto de localización del valor extremo de  $R$ . En dicho cuadro se incluyen también los valores de los menores principales de la matriz Hesiana, calculados para los modelos seleccionados. Cuando el valor de los menores principales no alterna en signo iniciando con un valor negativo, el punto determinado mediante el proceso de optimización no corresponde a un máximo, sino a un “punto de silla”; en este caso, el valor máximo se localiza en uno de los extremos del dominio de la función. En el Cuadro 5, se muestran los valores de las variables independientes que hacen máximo el rendimiento del cultivo de papaya, indicando en cada caso si el máximo se presentó en el punto determinado por optimización, o en el extremo del dominio (considerándose como dominio de la función al rango de variación observado de las variables independientes).

Con la hipótesis de que los modelos seleccionados permiten estimar aceptablemente el rendimiento del cultivo, la papaya tendrá un rendimiento máximo si las variables independientes se encuentran en los valores optimizados indicados en el Cuadro 5, es decir, si la temperatura media del aire es de 24.94 °C, se tienen 5.98 h de brillo sol y el potencial de presión del agua en el suelo a 60 cm de profundidad es de 436.87 cm, o bien, la profundidad del nivel freático es de 167.4 cm. Este último resultado en los valores de  $h$  y PNF optimizados en los modelos, coincide con la relación empírica para ambas variables para el suelo del área experimental, representada por las expresiones ilustradas en la Figura 2. Este último

**Cuadro 4. Solución del sistema de Ecuaciones 7.1 a 7.3 y valor de los menores principales para los modelos seleccionados.**

Variables independientes	Esp. entre drenes	Solución del sistema de ecuaciones 7.1 a 7.3.			Valor de los menores principales			Observaciones
		$h^{\dagger}$	$T$	HBS	M1	M2	M3	
	m	cm	°C					
$h$ , $T$ y HBS	10	436.87	0.00	7.00	3.9E-4	-5.9E-4	6.4E-7	Punto de silla
	40	303.72	24.94	5.98	2.6E-4	-6.2E-4	2.0E-3	Punto de silla
		PNF	$T$	HBS	M1	M2	M3	
		cm	°C					
PNF, $T$ y HBS	10	167.42	18.16	14.00	1.1E-2	-5.0E-3	8.0E-3	Punto de silla
	20	130.50	0.00	7.50	7.0E-3	0.00	4.3E-5	Punto de silla
	40	114.83	19.69	13.84	7.0E-3	0.00	8.0E-4	Punto de silla

$^{\dagger} h$  = potencial de presión del agua en el suelo (cm);  $T$  = temperatura del aire (°C); HBS = horas brillo sol diarias; PNF = profundidad del manto freático a partir de la superficie del suelo (cm).

**Cuadro 5. Valores de las variables independientes que maximizan el rendimiento del cultivo de papaya.**

Variables independientes	Esp. entre drenes	Valor de las variables independientes			Rendimiento máximo
		<i>h</i>	<i>T</i>	HBS	
	m	cm	°C		t ha <sup>-1</sup>
<i>h</i> , <i>T</i> y HBS	10	436.87 <sup>†</sup>	29.79 <sup>‡</sup>	9.06 <sup>‡</sup>	70.99
	40	711.80 <sup>‡</sup>	24.94 <sup>†</sup>	5.98 <sup>†</sup>	32.26
		Nf	<i>T</i>	HBS	
		cm	°C		
PNF, <i>T</i> y HBS	10	167.42 <sup>†</sup>	29.79 <sup>‡</sup>	3.85 <sup>§</sup>	97.70
	20	130.50 <sup>†</sup>	29.79 <sup>‡</sup>	3.85 <sup>§</sup>	47.16
	40	114.83 <sup>†</sup>	29.79 <sup>‡</sup>	3.85 <sup>§</sup>	32.91

<sup>†</sup> identifica a los valores optimizados mediante la solución de las Ecuaciones 7.1 a 7.3; <sup>‡</sup> identifica al extremo máximo; <sup>§</sup> identifica al extremo mínimo de variación observado de las variables.

resultado indica que para el suelo del área experimental se requiere mantener la profundidad del nivel freático a 167.4 cm durante el ciclo productivo del cultivo para maximizar su rendimiento; en tipos de suelo diferentes, se requiere determinar la relación entre PNF y *h* en el perfil para definir la profundidad del nivel freático óptima para el cultivo; de ahí la utilidad de definir un potencial de presión óptimo (de 436.87 cm a 60 cm de profundidad), ya que este valor es independiente del tipo de suelo. Los sistemas de drenaje y riego que se implementen para el cultivo deberán asegurar que el valor del potencial de presión no tome valores muy alejados (mayores o menores) del valor óptimo determinado.

### CONCLUSIONES

- Se encontraron diferencias estadísticas significativas en todas las variables que caracterizan el crecimiento y rendimiento del cultivo en los diferentes tratamientos (espaciamientos de drenaje) evaluados. El mejor tratamiento fue el correspondiente al espaciamiento de drenaje de 10 m, donde se obtuvo el mayor crecimiento y el más alto rendimiento; fue en éste donde la humedad del suelo fue menor, las plantas mostraron un desarrollo temprano y hubo un mínimo número de plantas acamadas en comparación con los otros dos tratamientos.

- Como resultado del estudio de la respuesta del papayo al régimen hídrico en tres espaciamientos de drenaje subsuperficial, se encontró que el alto contenido de humedad en el suelo retrasa el desarrollo del cultivo y disminuye el rendimiento, además de favorecer el acame de las plantas. En el espaciamiento entre drenes de 40 m, 88.4% de las plantas se acamaron, mientras que en el espaciamiento de 10 m sólo 9.1% de las plantas se perdieron por acame.

- De acuerdo con los modelos obtenidos, se encontró que los valores de la temperatura y horas brillo sol que maximizan el rendimiento del cultivo encontrados fueron de 24.9 °C y 5.98 h, respectivamente, y que el potencial de presión óptimo en el suelo para alcanzar el más alto rendimiento fue de 436.87 cm a 60 cm de profundidad en el perfil, lo que corresponde a una profundidad óptima del nivel freático de 167.42 cm para el tipo de suelo de la parcela.

### LITERATURA CITADA

- Apostol, T.M. 1972. Análisis matemático: Introducción moderna al cálculo superior. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Awada, M., I. Wu, R.H. Suehisa y M.M. Padgett. 1979. Effects of drip irrigation and nitrogen fertilization on vegetative growth, fruit yield, and mineral composition of the petioles and fruits of papaya. Tech. Bull. 103. Hawaii Agric. Exp. Stat. University of Hawaii. Manoa, Hawaii.
- De los Santos R., F., E.N. Becerra, R. Mosqueda, A. Vázquez y A.B. Vargas. 1997. Manual de producción de papaya en el Estado de Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Fundación PRODUCE Veracruz. Veracruz, Ver., México..
- FAO. 2000. Datos localizados en Internet. [www.apps1.fao.org](http://www.apps1.fao.org). 2000.
- Giacometti, D.C. 1987. Papaya breeding. Acta Hort. 196: 53-60.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2000. Anuario Estadístico del Estado de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- León A., R., J.B. Rosas y C.A. Ramírez. 1985. Balance hídrico de *Mangifera indica* L. y *Carica papaya* L. en Veracruz. Resumen de ponencias del primer Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. Hermosillo, Sonora, México.
- Mandujano B., R.A. 1993. El papayo. Publicación Técnica 1. Facultad de Ciencias Agrícolas, Especialidad de Postgrado en Fruticultura Tropical, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Medina J., C., J.L. García M., E.A. Salomón C., L. Vieira F., O. Ernesto U., N. M. de Figueiredo S., W. do Canto L. 1980. Mamão: Da cultura ao processamento e comercialização. Livrocres LTDA. S• o Paulo, Brasil.

- Mellado V., A. 2001. Respuesta del papayo (*Carica papaya* L.) al riego por goteo y a la aplicación de N, P y K en fertirriego, en Apatzingán, Michoacán. Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
- Mirafuentes H., F., M.A. Escalon A. y R.A. Mandujano B. 2000. El Estado del Arte en el cultivo de papaya en la planicie central del Golfo de México. Memorias 1er Foro SIGOLFO-PRODUCE. Sistema de Investigación del Golfo de México (SIGOLFO)-Fundación PRODUCE Veracruz. Boca del Río, Veracruz, México.
- Mosqueda V., R. y J. Molina G. 1973. Formas sexuales, sus frecuencias y su relación con otras características en *Carica papaya* L. Agrociencia 11: 77-83.
- Nájera H., F., O.L. Palacios V. e I. Nikolskii G. 1998. Evaluación económica de un módulo de drenaje subsuperficial en siembras de caña de azúcar y chile jalapeño en el trópico húmedo. Agrociencia 32: 209-215.
- Nakasone, H.D.Y. 1980. Práticas culturais nos trópicos com ênfase especial para a cultura do mamoeiro. Livrocetes. Piracicaba (SP), Brasil.
- Palacios V., O., Y. Nikolskii G. y J. Melo A. 1993. Construcción de un módulo de drenaje subterráneo controlado en 60 ha del campo experimental "El Trapecio", CEICADES-CP. Memoria Técnica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México, México.
- PROFRUTA. 1999. Manual del cultivo de papaya (*Carica papaya* L.). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Guatemala, Guatemala.
- Richards, L.A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous medium. Physics 1: 318-333.
- SAS Institute. 1996. Statistical Analysis System for Windows 6.12. Cary, NC.
- Samson, J.A. 1991. Fruticultura tropical. Limusa. México, D.F.
- Yee, W.Y.J., T.T. Sekioka, H.Y. Nakasone, D.K. Ikehara, J.J. Ooka y E.K. Akamine. 1980. Evaluation of papaya line and cultural practices at Moloaa. Island of Kauai, Hawaii. Circular 497. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii. Kauai, Hawaii.