

TENSIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN PLÁTANO (*Musa AAA Simmonds*) cv. Gran Enano

SOIL MOISTURE TENSION AND NITROGEN FERTILIZATION ON BANANA (*Musa AAA Simmonds*) cv. Gran Enano

José Orozco-Romero y Octavio Pérez-Zamora

Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México. (perez.octavio@inifap.gob.mx)

RESUMEN

El plátano (*Musa AAA Simmonds*) cv. Gran Enano es el segundo frutal más importante en el Estado de Colima, el clima es semiárido y la producción agrícola requiere riego. Las prácticas de fertilización nitrogenada son empíricas. El objetivo del trabajo fue probar dosis de N (0 a 300 kg ha⁻¹) y tensiones de humedad del suelo (10, 25, 45 y 75 kPa) en el rendimiento y calidad de fruta de plátano cv Gran Enano durante cuatro años. Los resultados mostraron que el plátano responde a la aplicación de N y de humedad; la interacción de ambos insumos fue positiva en rendimiento y calidad de fruta. Rendimientos máximos se obtuvieron con 290 a 300 kg N ha⁻¹ y tensión de humedad del suelo cercano a capacidad de campo durante todo el período de cultivo, pero el máximo beneficio económico (relación beneficio/costo) se obtuvo con 25 kPa-200 N. El abatimiento (0.521 Mg ha⁻¹) en rendimiento fue lineal por cada unidad (kPa) que la tensión de humedad se apartó de 10 kPa. El rendimiento tuvo alto grado de confiabilidad ($R^2=0.94$) con la ecuación $Y=159.12-0.195 X+0.33 N-0.0005 N^2-0.001 XN$, donde Y=rendimiento de plátano (Mg ha⁻¹), X=tensión de humedad del suelo (kPa), y N=kg N ha⁻¹. El N aplicado al suelo no tuvo efecto en la calidad de fruta, pero la humedad sí, mejorándose con tensiones de 30 kPa o menores.

Palabras clave: Gran Enano, plátano de riego, semiárido.

INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa AAA Simmonds*) cv. Gran Enano se cultiva en áreas tropicales, subtropicales y mediterráneas, con sistemas que generan rendimientos de 7 a 70 Mg ha⁻¹ por año (Singh *et al.*, 1977; Robinson, 1995; Delvaux, 1995). En Colima el clima en la región platanera es semiárido y el cultivo requiere riego que se aplica con periodicidad mayor a 30 d, lo cual ocasiona estrés hídrico en las plantas y baja producción de fruta. La fertilización nitrogenada es una práctica usual, pero no considera el clima, el cultivar ni el tipo de suelo, lo que afectaría el rendimiento que en el Estado es 25 Mg ha⁻¹ por año.

ABSTRACT

Banana (*Musa AAA Simmonds*) cv Gran Enano is the second most important fruit crop of the State of Colima, where the climate is semiarid and agricultural production requires irrigation. Nitrogen fertilization practices are empirical. This study was conducted to test dosages of N (0 to 300 kg ha⁻¹) and soil moisture tension (10, 25, 45 and 75 kPa) on yield and quality of banana fruits cv Gran Enano during four years. The results showed that bananas respond to the application of N and moisture; the interaction of both inputs was positive in yield and fruit quality. Maximum yields were obtained with 290 to 300 kg N ha⁻¹ and soil moisture tension close to field capacity during the entire crop cycle, but the maximum economic benefit (benefit/cost ratio) was obtained with 25 kPa-200 N. Reduction (0.521 Mg ha⁻¹) in yield was linear for every unit (kPa) that moisture tension moved away from 10 kPa. Yield had a high degree of reliability ($R^2=0.94$) with the equation $Y=159.12-0.195 X+0.33 N-0.0005 N^2-0.001 XN$, where Y=banana yield (Mg ha⁻¹), X=soil moisture tension (kPa), N=kg N ha⁻¹. N applied to the soil had no effect on fruit quality, but moisture did, improving with tensions of 30 kPa or lower.

Key words: Gran Enano, irrigation bananas, semiarid.

INTRODUCTION

Banana (*Musa AAA Simmonds*) cv. Gran Enano is grown in tropical, subtropical and Mediterranean areas with systems that yield 7 to 70 Mg ha⁻¹ per year (Singh *et al.*, 1977; Robinson, 1995; Delvaux, 1995). In Colima the climate of the banana-growing area is semiarid and cultivation requires irrigation, which is applied at intervals of more than 30 d, causing water stress in the plants and low fruit production. Nitrogen fertilization is the usual practice, but climate, cultivar or soil type are not considered, affecting yield, which in the State is 25 Mg ha⁻¹ per year.

This yield contrasts with high technology plantations in Costa Rica where productivity (70 Mg ha⁻¹) has been maintained by fertilization (López, 1998; Delvaux, 1995; Delvaux *et al.*, 1989) and the impact of fertilization on production costs is 15 to 17% of the total. In banana cultivation, high dosages of fertilizers, especially N and

Recibido: Septiembre, 2004. Aprobado: Octubre, 2005.

Publicado como Artículo en *Agrociencia* 40: 149-162. 2006.

Dicho rendimiento contrasta con el de plantaciones altamente tecnificadas de Costa Rica, donde la productividad (70 Mg ha^{-1}) se ha mantenido debido a la fertilización (López, 1998; Delvaux, 1995; Delvaux *et al.*, 1989); el impacto de la fertilización en el costo de producción es 15 a 17% del total. En el cultivo de plátano se utilizan altas dosis de fertilizantes, especialmente N y K, y la reposición de los nutrimentos extraídos se realiza con fuentes de fertilizantes inorgánicas u orgánicas. Para mantener la fertilidad del suelo es necesario aplicar 350 a $450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para una eficiencia de uso de N relativamente alta (70%); ello implica aplicar 60 a 80 Mg ha^{-1} (López, 1998; Lahav, 1995; Scholes *et al.*, 1994) si se usan abonos orgánicos, lo cual sería una aberración técnica.

Los plátanos se cultivan en áreas tropicales húmedas cuyas precipitaciones anuales exceden a la evapotranspiración potencial. El promedio de inmovilización de agua de una planta de plátano Gran Enano con un rendimiento de 65 a 75 Mg ha^{-1} es 78% y 49% en planta completa y fruto (Lahav, 1995). El suministro de agua para la planta depende de la disponibilidad en el suelo, del volumen explorado por las raíces activas, de las necesidades en cada etapa fisiológica y de la demanda de la evaporación (Delvaux, 1995). Las raíces de plátano extraen agua del suelo únicamente a valores bajos de succión, por lo que la humedad del suelo debe mantenerse cerca de la capacidad de campo para evitar estrés por agua (Delvaux, 1995; Hedge y Srinivas, 1989; Cooli *et al.*, 1976).

El efecto de la interacción de fertilización nitrogenada y humedad está documentada, y su resultado en el rendimiento y mejoramiento en calidad de fruta ha sido positivo (Davis, 1995; Fontaine *et al.*, 1989; Lahav y Kalmar, 1988); esto se relaciona con los altos requerimientos de agua y N por el cultivo de plátano. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el uso óptimo del N y agua para maximizar el rendimiento y la calidad de fruta del plátano en el Estado de Colima.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se realizó en el Campo Experimental Tecomán, municipio de Tecomán, Colima ($18^\circ 57' 07'' \text{ N}$ y $103^\circ 50' 30.5'' \text{ O}$) de marzo 1997 a enero 2000; la temperatura media anual es 26°C y la precipitación media anual 730 mm (Cuadro 1). Durante el estudio la precipitación pluvial fue 475, 724, 834 y 1083 mm para la primera, segunda, tercera y cuarta floración del plátano.

El sitio tiene pendiente menor del 1% y se ubica a 55 m de altitud. El suelo se clasificó como Calcisol vértico (FAO, 1991). Las principales características físicas y químicas del suelo se muestran en el Cuadro 2.

K are utilized, and extracted nutrients are restored with inorganic or organic fertilizer sources. To maintain soil fertility it is necessary to apply 350 to $450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for relatively high N use efficiency (70%). This implies application of 60 to 80 Mg ha^{-1} (López, 1998; Lahav, 1995; Scholes *et al.*, 1994) if organic fertilizer is used, which would be a technical aberration.

Bananas are cultivated in wet tropical areas where annual precipitation exceeds potential evapotranspiration. Average water immobilization in a Gran Enano banana plant with a yield of 65 to 75 Mg ha^{-1} is 78% and 49% in complete plant and fruit (Lahav, 1995). The supply of water to plants depends on its availability in the soil, the volume explored by active roots, plant needs during each physiological stage and the demand of evaporation (Delvaux, 1995). Banana roots extract water from the soil only at low levels of suction and, therefore, the soil should be kept near field capacity to prevent water stress (Delvaux, 1995; Hedge and Srinivas, 1989; Cooli *et al.*, 1976).

The effect of nitrogen fertilization and moisture is documented and the result on yield and fruit quality improvement has been positive (Davis, 1995; Fontaine *et al.*, 1989; Lahav and Kalmar, 1988). This is related to high water and N requirements by the banana crop. Thus, the objective of this study was to determine the optimal use of N and water to maximize yield and fruit quality of banana in the State of Colima.

MATERIALS AND METHODS

Location

The study was conducted in the Campo Experimental Tecomán, municipality of Tecomán, Colima ($18^\circ 57' 07'' \text{ N}$ and $103^\circ 50' 30.5'' \text{ W}$) from March 1997 to January 2000; mean annual temperature is 26°C and mean annual precipitation is 730 mm (Table 1). During the study, rainfall was 475, 724, 834 and 1083 mm for the first, second, third and fourth flowering of banana.

The site had a slope of less than 1% and is located at an altitude of 55 m. The soil is classified as a Vertic calcisol (FAO, 1991); its main physical and chemical characteristics are shown in Table 2.

Electric conductivity of irrigation water is 1.32 dS m^{-1} , with high contents of Ca^{2+} and Na^+ and HCO_3^- and SO_4^{2-} ; classification of irrigation water is C_3S_1 , that is, high risk of salinization.

Banana variety

The cultivar used was Gran Enano planted at a distance of $2.5 \times 3.0 \text{ m}$ ($1333 \text{ plant ha}^{-1}$), with two plants in production per mat. Pruning was performed to obtain a selection of plants: mother, daughter and granddaughter, leaving two plants in successive generations as of the second flowering. Planting time was established to obtain the first harvest in the months the fruit fetches higher prices.

La conductividad eléctrica del agua de riego es 1.32 dS m^{-1} , con alto contenido de Ca^{2+} y Na^+ y HCO_3^- y SO_4^{2-} ; la clasificación del agua para riego es $\text{C}_3 \text{ S}_1$, o sea, de alto riesgo de salinidad.

Variedad de plátano

El cultivar empleado fue Gran Enano plantado a una distancia de $2.5 \times 3.0 \text{ m}$ ($1333 \text{ plantas ha}^{-1}$), con dos plantas en producción por matero o cepa. Se pudo para obtener una selección de plantas: madre, hijo y nieto dejando dos plantas en generación sucesiva a partir de la segunda floración. La época de siembra se estableció para obtener la primera cosecha en los meses que la fruta tiene mayor precio.

Riego y fertilización

Los riegos se efectuaron para mantener tensiones de humedad del suelo objetivo de 10, 25, 50 y 75 kPa que se registró con tensiómetros colocados a 0.3 m de profundidad; también se instalaron tensiómetros a 0.6 m para evitar cambios bruscos (se mantuvieron a tensiones menores a 40 kPa) y tener mejor control de la humedad. Las lecturas se tomaron diariamente a las 07:00. El riego fue por inundación y los intervalos de riego fueron cada 7, 14, 21 y 27 d, equivalentes a tensiones de 10, 25, 50 y 75 kPa.

La fertilización se hizo la mitad en agosto y el resto en diciembre. Las fuentes de fertilizantes fueron sulfato de amonio, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio; se aplicaron 75 y 220 kg ha^{-1} de P y K, y para N fueron las dosis evaluadas (0 a 300 kg ha^{-1}). El

Cuadro 1. Precipitación pluvial (mm) mensual, 1996 a 2001. Campo Experimental Tecomán, Colima[†].

Table 1. Monthly rainfall (mm), 1996 to 2001. Campo Experimental Tecomán, Colima[†].

Mes	1997	1998	1999	2000	Media (20 años)
Mayo	0	0	0	0	4
Junio	135	58	35	118	94
Julio	117	125	315	237	155
Agosto	124	118	86	348	160
Septiembre	53	98	299	306	181
Octubre	5	281	65	1	83
Noviembre	0	32	0	0	12
Total (año)	475	724	834	1083	730

[†] Período de temporada de lluvias.

Irrigation and fertilization

Irrigation was applied to maintain target soil moisture tensions of 10, 25, 50 and 75 kPa, which was recorded by tensiometers placed at 0.3 m deep; also tensiometers were installed at 0.6 m to avoid brusque changes (kept at tensions below 40 kPa) and to better control moisture. Readings were taken daily at 07:00. Irrigation was applied by flooding at intervals of 7, 14, 21 and 27 d, equivalent to tensions of 10, 25, 50 and 75 kPa.

Half of the fertilizer was applied in August and the rest in December. Fertilizer sources were ammonium sulphate, triple calcium superphosphate and potassium chloride; 75 and 220 kg ha^{-1} P and K,

Cuadro 2. Propiedades físico químicas del suelo y del extracto de saturación. Campo Experimental Tecomán, Colima. 2001.

Table 2. Soil physical-chemical properties and extract of saturation. Campo Experimental. Tecomán, Colima. 2001.

Variable	Suelo [†] (Profundidad, cm)		Variable	Extracto de saturación (Profundidad, cm)	
	0 a 30	30 a 60		0 a 30	30 a 60
Textura	Franca	Migajón arcillosa	Extracto saturación		
Arena (%)	44.92	32.92	pH	8.2	8.2
Limo (%)	29.28	33.28	C.E. (dS m^{-1})	0.72	0.84
Arcilla (%)	25.8	33.80	Ca^{2+} (me L^{-1})	3.76	3.95
pH agua (1:2)	8.5	8.5	Mg^{2+} (me L^{-1})	1.98	2.37
Carbono orgánico (%)	1.24 M	0.70 P	Na^+ (me L^{-1})	1.08	1.39
P Olsen (mg kg^{-1})	22.7 M	10.1 P	K^+ (me L^{-1})	0.44	0.24
K (mg kg^{-1})	448.0 MR	290.0 R			
Ca (mg kg^{-1})	4831.0 R	5082.0 MR	CO_3^{2-} (me L^{-1})	0.39	0.39
Mg (mg kg^{-1})	184.0 R	214.0 R	HCO_3^- (me L^{-1})	2.98	2.58
Na (mg kg^{-1})	32.0	40.0	Cl^- (me L^{-1})	1.71	2.09
Carbonatos (%)	12.38	12.38	SO_4^{2-} (me L^{-1})	2.67	2.44
Fe (mg kg^{-1})	3.1 MP	2.3 MP	P.S.I. [‡]	0.00	0.00
Mn (mg kg^{-1})	9.4 M	6.0 MedP			
Zn (mg kg^{-1})	0.5 P	0.3 MP			
Cu (mg kg^{-1})	1.3 R	1.3 R			
N total (%)	0.11 M	0.08 P			

[†] P=pobre, MP=muy pobre, M=mediano, R=rico, MR=muy rico, Med P=medianamente pobre ♦ P=poor, MP=very poor, M=median, R=rich, MR=very rich, Med P= moderately poor.

[‡] Porcentaje de sodio intercambiable.

fertilizante se depositó en dos hoyos a 0.3 m de distancia del hijo, colocándolo en el fondo y tapándolo inmediatamente.

Variables

Las variables fueron peso (kg) y longitud (cm) de racimo, peso (g) y longitud (mm) del dedo central de la segunda mano del racimo, número de manos por racimo, diámetro de pseudotallo (a 0.3 m del suelo), número de hojas útiles al momento de emerger el racimo, altura (m) de planta y rendimiento de fruta en cada floración y acumulado de cuatro floraciones.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques incompletos con arreglo de parcelas divididas. La parcela experimental consistió de 25 cepas, dejando nueve cepas como parcela útil. Las parcelas grandes fueron cuatro tensiones de humedad objetivo: 10, 25, 50 y 75 kPa, y las parcelas chicas cuatro dosis de N: 0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹; cada tratamiento se repitió cuatro veces. Los datos se procesaron para análisis de varianza y regresión lineal y múltiple con el paquete estadístico CoHortSoftware (1995). Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Análisis económico

El cálculo financiero de las variables tensión de humedad del suelo y dosis de N se efectuó con el procedimiento FIRA-Residencia Colima (Pérez, 2002), usando datos del Paquete Tecnológico para el Establecimiento y Mantenimiento del Cultivo de Plátano (Delegación SAGARPA en Colima, Distrito de Desarrollo Rural 002). En el análisis económico se calculó la relación beneficio/costo (B/C) incremental y total; la total fue el cociente de la venta de la cosecha y el costo de producción del cultivo, y la incremental el producto del valor de 1 t de fruta por el incremento en rendimiento debido al uso de las variables, dividido entre el costo de las variables tensión y N adicionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de fruta

El rendimiento de fruta de cada floración se muestra en el Cuadro 3. El cultivo respondió significativamente a los tratamientos de humedad y N en las floraciones individuales y en el rendimiento acumulado de fruta.

Efecto de humedad

Los menores rendimientos se registraron en la primera y cuarta floración, en 1997 y 2000, lo que se relacionó con la precipitación más escasa en la primera y en la otra con lluvia mayor a la normal (Cuadro 1). En el año seco el rendimiento fue 36% menor que el obtenido

and the evaluated dosages of N (0 to 300 kg ha⁻¹) were applied. The fertilizer was deposited in two holes 0.3 m from the daughter plant (sucker); it was placed at the bottom and covered immediately.

Variables

Variables were bunch weight (kg) and length (cm), weight (g) and length (mm) of the middle finger of the second hand of the bunch, number of hands per bunch, diameter of the pseudostem (0.3 m from the ground), number of useful leaves at emergence of bunch, plant height (m) and fruit yield in each flowering and accumulated yield of four flowerings.

Experimental design

An incomplete block split-plot experimental design was used. The experimental plot consisted of 25 mats, leaving nine mats as the useful plot. The large plots were four target moisture tensions: 10, 25, 50 and 75 kPa, and the small plots were the four N dosages: 0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹; each treatment was replicated four times. The data were processed by analysis of variance and linear and multiple regression with the software CoHortSoftware (1995). Means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

Economic analysis

Financial calculation of the variables soil moisture tension and N dosage was performed following the FIRA-Residencia Colima procedure (Pérez, 2002), using data from the Technological Package for Establishment and Maintenance of Banana Crop (Delegación SAGARPA in Colima, Rural Development District 002). In the economic analysis, the incremental and total benefit/cost (B/C) ratios were calculated: total was the quotient of harvest sale and crop production cost, and incremental B/C was the product of value of 1 t of fruit by the increase in yield due to the use of the variables, divided by the additional cost of the variables tension and N.

RESULTS AND DISCUSSION

Fruit yield

Fruit yield of each flowering is shown in Table 3. The crop responded significantly to the treatments of moisture and N in both individual flowering and accumulated fruit yield.

Effect of moisture

Lower yields were recorded for the first and fourth flowerings in 1997 and 2000, which was related to lower precipitation in the first, and in the fourth, to precipitation above normal (Table 1). In the dry year, yield was 36% lower than that obtained in the second flowering in treatment 75 kPa, while in the wet year it was 18% lower

Cuadro 3. Relación entre rendimiento de fruta de plátano (Mg ha⁻¹) con tensiones de humedad del suelo y dosis de N. Campo Experimental Tecmán. Colima, México.**Table 3. Relationship between banana fruit yield (Mg ha⁻¹) with soil moisture tensions and N dosages. Campo Experimental Tecmán. Colima, México.**

Tensión (kPa)	Número de floración				Rendimiento acumulado
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	
	Mg ha ⁻¹				
10	43.2 a [†]	52.3 a	47.3 a	43.7 a	186.5 a
25	37.61 b	49.6 b	43.7 a	42.8 ab	173.7 b
50	34.5 b	44.9 c	41.4 b	37.3 b	158.1 c
75	26.6 c	41.9 d	38.1 bc	34.2 b	140.8 d
N (kg ha ⁻¹)					
0	29.6 bc	38.6 c	37.2 b	37.3 b	142.6 c
100	33.9 b	47.1 b	40.6 b	38.9 ab	160.6 b
200	40.1 a	52.9 a	47.5 a	41.4 a	181.9 a
300	38.3 a	50.0 a	42.8 a	40.4 ab	171.65 ab

Valores con letras diferentes en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

en la segunda floración en el tratamiento 75 kPa, mientras que en el año húmedo fue 18% menor, en el mismo tratamiento de humedad del suelo. En el primer caso el menor rendimientos se atribuyó a la dificultad de la planta para abastecerse de agua porque la precipitación fue escasa; en el año húmedo el problema se relacionó con la errática distribución de la lluvia durante el ciclo de cultivo, así como con la disminución natural de la productividad que experimentan las plataneras con cultivo mecánico durante el cuarto rebrote (Doorenbos y Kassam, 1979). No obstante la condición semiárida de Colima, el rendimiento de plátano es aceptable comparado con los de regiones que tienen condiciones más favorables para el cultivo.

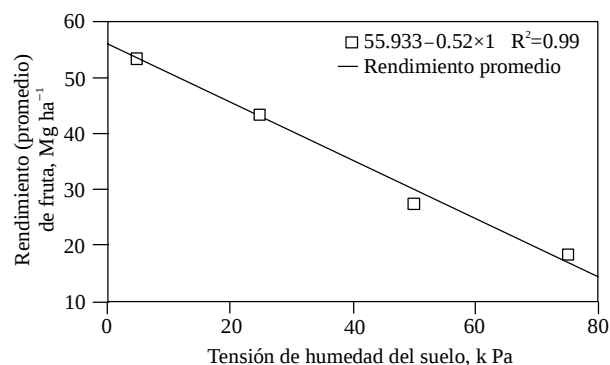
El abatimiento del rendimiento fue lineal conforme la tensión de humedad del suelo disminuyó (Figura 1), 0.521 Mg ha⁻¹ por cada unidad de kPa que la humedad se apartó de 10 kPa (tratamiento húmedo). Este decremento de rendimiento por efecto de estrés de agua es similar al observado por Pérez y Cigales (2001) en melón cantaloupe. La respuesta a la humedad se debe a que las condiciones de Colima son menos húmedas (Cuadro 1) que las de otras regiones plataneras, donde las precipitaciones anuales exceden a la evapotranspiración potencial (Lahav, 1995), y a los resultados para plátano cultivado en condiciones semiáridas (Goenaga e Irizarry, 1995; Goenaga *et al.*, 1995; Srinivas, 1997). En consecuencia, la humedad del suelo debe mantenerse cerca de capacidad de campo (CC) para evitar estrés por agua (Delvaux, 1995). El suelo es franco arcilloso y tiene características favorables para almacenar (150 mm m⁻¹) agua de lluvia (Cuadro 2). En esta clase de textura se

than the same soil moisture treatment. In the first case, lower yield was attributed to the plant's difficulty in receiving sufficient water because of the scarce rainfall. In the wet year the problem was related to the erratic distribution of rainfall during the crop cycle, as well as to the natural reduction of productivity of banana plantations cultivated mechanically during the fourth sprouting (Doorenbos and Kassam, 1979). In spite of the semiarid condition of Colima, this yield is acceptable compared with that of the regions that have more favorable conditions for the crop.

Reduction in yield was linear with decreases in soil moisture tension (Figure 1), 0.521 Mg ha⁻¹ per unit of kPa from the 10 kPa (wet treatment). This decrease in yield as an effect of water stress is similar to that observed by Pérez and Cigales (2001) in cantaloupe. The response to moisture is due to the conditions of Colima (Table 1) that are less moist than other banana-growing regions, where annual precipitation exceeds potential evapotranspiration (Lahav, 1995), and to results for banana cultivated in semiarid conditions (Goenaga and Irizarry, 1995; Goenaga *et al.*, 1995; Srinivas, 1997). Consequently, soil moisture must be kept close to field capacity (CC) to prevent water stress (Delvaux, 1995). The soil is clay loam and has characteristics that favor rainwater storage (150 mm m⁻¹) (Table 2). With this texture class, it is expected that appropriate cultural practices and water supply will promote root development since these extract water only at tensions close to field capacity (Cooli *et al.*, 1976; Hedge and Srinivas, 1989; Delvaux, 1995).

Effect of nitrogen

Banana responded favorably to N application from the first to the fourth flowering, like accumulated yield. Natural productivity of the clay loam soil was acceptable

**Figura 1. Relación entre tensión de humedad del suelo y abatimiento en rendimiento de fruta de plátano.****Figure 1. Relationship between moisture tension and decrease in banana fruit yield.**

espera que prácticas de labranza adecuadas y el suministro de agua promuevan el desarrollo de raíces, ya que éstas sólo extraen agua a tensiones cercanas a la CC (Cooli *et al.*, 1976; Hedge y Srinivas, 1989; Delvaux, 1995).

Efecto de nitrógeno.

El plátano respondió favorablemente a la aplicación de N desde la primera a la cuarta floración, al igual que el rendimiento acumulado. La productividad natural del suelo franco arcilloso es aceptable porque el rendimiento del testigo (0 N) fue 30 a 37 Mg ha⁻¹, y el rendimiento máximo entre 50 y 52 Mg ha⁻¹, con sólo dos aplicaciones de fertilizantes en el año. En Costa Rica hay producciones de 70 Mg ha⁻¹, pero con 12 aplicaciones de N en el año, dosis altas de K (400 a 450 kg ha⁻¹) y una precipitación mayor que la evapotranspiración potencial (López, 1998).

El N requerido para obtener el máximo rendimiento de fruta fue 256, 217, 210 y 238 kg ha⁻¹ para la primera, segunda, tercera y cuarta floración, como promedio de las cuatro tensiones de humedad. La curva de rendimiento acumulado de las cuatro floraciones, promedio de las cuatro tensiones de humedad, fue una función cuadrática ($R^2=0.96$), con efecto lineal de 0 a 200 kg N ha⁻¹ y la ecuación siguiente:

$$Y=0.321+0.321 N-0.0007 N^2$$

donde Y es el rendimiento de fruta (Mg ha⁻¹) y N la cantidad de N aplicada al plátano (kg ha⁻¹). El máximo rendimiento se obtuvo con 226 kg N ha⁻¹. La respuesta a N fue congruente con los resultados en otros lugares (Abd-El-Kader *et al.*, 1994; Cooli *et al.*, 1976; Lahav, 1995).

Interacción años×tensión de humedad×nitrógeno

En el Cuadro 4 se muestra el análisis de varianza de los tres factores, los cuales fueron estadísticamente significativos ($p \leq 0.001$), así como las interacciones entre años con tensión de humedad y dosis de N, y la interacción triple años×tensión×N; esta última se debió a la fuerte variación en la producción anual. En el año uno (1997) hubo menor rendimiento, lo cual se esperaba porque correspondió al establecimiento del cultivo. En el año dos (1998) el rendimiento fue mayor y se consideró como el periodo en el cual se estabilizó la plantación.

Los años son variables no controlables de la producción, ya que integran factores abióticos, bióticos, de manejo y humanos que afectan el comportamiento de las plantas. En el presente trabajo sólo se incluyó la

since yield of the control (0 N) was 30 to 37 Mg ha⁻¹, and maximum yield between 50 and 52 Mg ha⁻¹, with only two applications of fertilizer during the year. In Costa Rica production reaches 70 Mg ha⁻¹, but with 12 applications of N per year, high dosages of K (400 to 450 kg ha⁻¹) and one precipitation above potential evapotranspiration (López, 1998).

The N required to obtain maximum fruit yield was 256, 217, 210 and 238 kg ha⁻¹ for the first, second, third and fourth flowerings, as averages of the four moisture tensions. The accumulated yield curve of the four flowerings, average of the four moisture tensions, was a quadratic function ($R^2=0.96$), with a linear effect of 0 to 200 kg N ha⁻¹ and the following equation:

$$Y=0.321+0.321 N-0.0007 N^2$$

where Y is fruit yield (Mg ha⁻¹) and N the amount of N applied to banana plants (kg ha⁻¹). The maximum yield was obtained with 226 kg N ha⁻¹. The response to N was congruent with the results in other sites (Abd-El-Kader *et al.*, 1994; Cooli *et al.*, 1976; Lahav, 1995).

Interaction years×moisture tension×nitrogen

Table 4 shows the analysis of variance of the three factors, which were statistically significant ($p \leq 0.001$), as well as the interactions between years with moisture tension and N dosage, and the triple interaction years×tension×N; the latter was due to the strong variation in annual production. In year one (1997) yield was lower; this was expected because in that year the plantation was established. In year two (1998) yield was higher; this year was considered the period in which the plantation stabilized.

Cuadro 4. Análisis de varianza de la tensión de humedad y dosis de nitrógeno en el cultivo del plátano.

Table 4. Analysis of variance of moisture tension and nitrogen dosage in banana.

Fuente	gl	Cuadrado medio	Significancia p
Parcelas principales			
Repeticiones	3	2.39	0.81
Años	3	1481.41	0.005
Error parcelas principales	9	7.42	
Tensión humedad	3	1711.71	0.005
Tensión×años	9	13.39	0.005
Error subparcela	36	4.04	
Nitrógeno	3	932.9	0.005
Nitrógeno×año	9	55.45	0.005
Nitrógeno×tensión	9	13.13	0.005
Nitrógeno×tensión×años	27	9.09	0.005
Error experimental	144	5.21	

precipitación pluvial, como factor abiótico, que explicó parcialmente la variación en rendimiento entre años. La mejor producción en el año dos (1998) se debió a una mejor distribución de la precipitación que en los años tres y cuatro (1999 y 2000), y no a la cantidad de lluvia (Cuadro 1). Sin embargo, en adición a enfermedades bióticas que afectan el rendimiento, el plátano es sensible a enfermedades abióticas que también afectan la producción (Agrios, 1997). Estas son enfermedades no infecciosas que ocasionan alteración morfológica y fisiológica de una planta en respuesta a factores físicos y químicos, que impiden o limitan el funcionamiento normal de las plantas.

Entre las principales enfermedades abióticas que podrían estar relacionadas con el comportamiento anual del cultivo de plátano en Colima, se tienen altas o bajas temperaturas (acanelamiento del fruto), carencia o exceso de humedad (Cuadro 1) y de luz, ausencia de O_2 , deficiencias nutricionales y toxicidades minerales y químicas (fungicidas, insecticidas y herbicidas), así como prácticas culturales inapropiadas (Agrios, 1997).

Para la interacción años $\times$ tensión $\times$ N se efectuaron tres contrastes ortogonales entre años: año 1 vs años (2+3+4), año 2 (mayor rendimiento) vs años (1+2+3), y años (1+2) vs años (3+4). Los contrastes resultaron estadísticamente significativos ($p \leq 0.01$) entre años, considerando los efectos medios de tensión $\times$ N. También se observó significancia estadística para los mismos contrastes probados en cada uno de los cuatro niveles de tensión de humedad y las cuatro dosis de N. El contraste año 1 vs años (2+3+4) mostró el efecto de interacción de baja precipitación (475 mm) vs (880) mm de los otros tratamientos con la etapa inicial de establecimiento del cultivo, e independientemente de los años se mantuvo la interacción tensión $\times$ N en cada nivel de humedad y dosis de N.

El contraste año 2 (mayor rendimiento) vs años (1+2+3) fue estadísticamente superior para el año 2, lo cual se relacionó con condiciones más favorables del año 2 (724 mm) en comparación con los años (1+2+3). Esto corroboró que, en cuanto a precipitación, resulta más importante la distribución y oportunidad de lluvia que su cantidad total, ya que no es raro que eventos de 100 o más mm por día ocurran en la región, mientras que el resto del mes sea seco (Pérez, 1993). En situaciones de precipitación abundante, sobre el requerimiento hídrico, la planta de plátano podría estar expuesta a condiciones desfavorables debida a la presencia de enfermedades abióticas (ausencia de O_2 , exceso de humedad, falta de luminosidad, entre otras).

Al comparar los primeros dos años (599 mm) con el tercero y cuarto (958 mm) no se registraron diferencias estadísticas, aunque en los años 3 y 4 la lluvia fue 1.6 veces mayor que en los años 1 y 2. El comportamiento

Years are non-controllable production variables since they integrate abiotic, biotic, management and human factors that affect the performance of the plants. In this study only rainfall was included as an abiotic factor, which partially explained the variation in yield from year to year. The best production in year two (1998) was due to a better distribution of rainfall than in years three and four (1999 and 2000), and not to the quantity of rain (Table 2). However, in addition to biotic diseases that affect yield, bananas are sensitive to abiotic diseases that also affect production (Agrios, 1997). These are non-infectious diseases that cause morphological and physiological alterations in plants as response to physical and chemical factors that impede or limit the normal functions of the plant.

Among the main abiotic diseases that could be related to the annual performance of the banana crop in Colima are the high or low temperatures (fruit browning), lack or excess of moisture (Table 1) and light, absence of O_2 , nutritional deficiencies, mineral and chemical toxicity (fungicides, insecticides and herbicides) and inappropriate cultural practices (Agrios, 1997).

For the interaction year $\times$ tension $\times$ N, three orthogonal contrasts of years were performed: year 1 vs year (2+3+4), year 2 (highest yield) vs years (1+2+3) and years (1+2) vs. years (3+4). The contrasts were statistically significant ($p \leq 0.01$) between years, considering the mean effects of tension $\times$ N. Also, statistical significance was observed for the same contrasts tested in each of the four levels of moisture tension and four dosages of N. The contrast year 1 vs years (2+3+4) exhibited the effect of the interaction of low precipitation (475 mm) vs (880) mm of the other treatments with the initial stage of crop establishment, and regardless of the years, the interaction tension $\times$ N in each level of moisture and N dosage was maintained.

The contrast year 2 (highest yield) vs years (1+2+3) was statistically higher for year 2; this is related to more favorable conditions in year 2 (724 mm) compared with years (1+2+3). This corroborates that, in terms of precipitation, distribution and timely rain is more important than the total amount since it is not uncommon that events of 100 or more mm in a day occur in the region, while the rest of the month is dry (Pérez, 1993).

In situations of abundant rainfall, above water requirements, the banana plant could be exposed to unfavorable conditions due to the presence of abiotic diseases (absence of O_2 , excess of moisture, lack of light, among others).

Comparing the first two years (599 mm) with the third and fourth years (958 mm), no statistical differences were found, although in years 3 and 4 rainfall was 1.6 times greater than in years 1 and 2. The behavior of the variation among years justifies averaging the response effects since

de la variación entre años justifica el promediar los efectos de respuesta, ya que dicha variable no es un factor controlable, mucho menos predecible, de la producción.

Interacción nitrógeno × tensión de humedad del suelo

Rendimiento promedio de cuatro floraciones

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del rendimiento como respuesta a la dosis de N a cuatro tensiones de humedad del suelo. El cultivo respondió a la aplicación creciente de N, pero tal respuesta fue mayor cuando las condiciones de humedad resultaron más favorables. Los rendimientos máximos se obtuvieron a la tensión de 10 kPa y 300 kg ha⁻¹ N. En otros estudios se observó el efecto positivo de la interacción de agua y N, lo cual corrobora la importancia de ambos insumos en la producción de plátano (Goenaga e Irizarry, 1995; Hedge y Srinivas, 1991; Saad, 1997).

Conforme se mejoró la condición hídrica el cultivo respondió a dosis crecientes de N aplicado al suelo: el máximo rendimiento ($dy/dN=0$) fue 207, 220 y 230 kg N ha⁻¹ para las tensiones 75, 50 y 25 kPa; la derivada ($dy/dN=0$) como función de 10 kPa fue superior a 300 kg ha⁻¹, máximo evaluado en el estudio. En consecuencia, el plátano responde favorablemente a N y humedad, y ésta última debe encontrarse en, o cercana a la CC (Delvaux, 1995) para obtener el máximo beneficio. La deficiencia de agua produce un fuerte efecto depresivo en el crecimiento de raíces, las cuales extraen agua a valores de tensión cercanos a la CC (Robinson, 1995). En suelos con texturas arcillosas el volumen de exploración se reduce de 0.8 a 0.4 m de profundidad (Delvaux, 1995), y las plantas de los tratamientos menos húmedos no pueden satisfacer los altos requerimientos hídricos del plátano.

Función de respuesta a la aplicación de N y tensión de humedad.

En la Figura 3 se muestra el rendimiento acumulado de plátano en respuesta a la aplicación de N y tensión de humedad; únicamente se consideraron los términos de la ecuación de regresión estadísticamente significativos, excluyéndose el coeficiente cuadrático de la tensión de humedad del suelo. Para incrementar el rendimiento a una misma tensión se requiere aumentar la dosis de N; los máximos rendimientos de fruta se obtuvieron a tensiones de CC y 300 kg N ha⁻¹. En otro estudio se debe modificar el espacio de exploración de tensión a valores cercanos a CC, ya que el cultivo extrae e inmoviliza cantidades considerables de agua y responde a dosis altas de N en el intervalo húmedo (Figura 2).

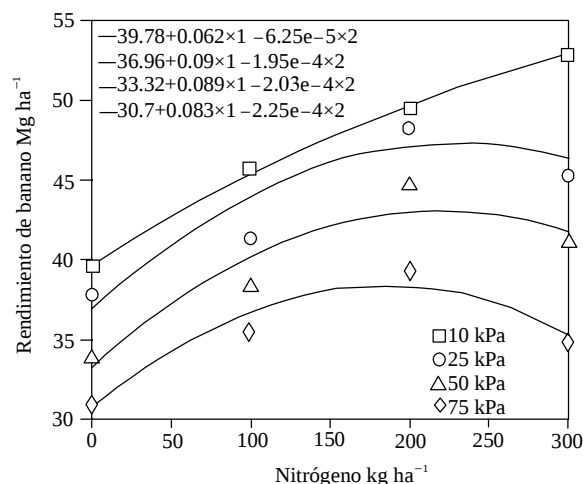


Figura 2. Rendimiento promedio (cuatro floraciones) en respuesta a dosis de N a tres tensiones de humedad del suelo.

Figure 2. Average yield (four flowerings) in response to N dosages at three soil moisture tensions.

this variable is not a controllable, much less a predictable, production factor.

Interaction nitrogen × soil moisture tension

Average yield of four flowerings

The behavior of yield as a response to N dosage at four soil moisture tensions is shown in Figure 2. The crop responded to the increasing application of N, but this response was greater when the moisture conditions were more favorable. The maximum yields were obtained at 10 kPa and 300 kg ha⁻¹ N. Other studies observed the positive effect of the interaction between water and N, corroborating the importance of both banana production inputs (Goenaga and Irizarry, 1995; Hedge and Srinivas, 1991; Saad, 1997).

As moisture conditions improved, the crop responded to increasing dosages of N applied to the soil: Maximum yield ($dy/dN=0$) was 207, 220, and 230 kg N ha⁻¹ for tensions 75, 50 and 25 kPa; the derivate ($dy/dN=0$) as a function of 10 kPa was above 300 kg ha⁻¹, the maximum evaluated in this study. Consequently, banana responded favorably to N and moisture and the latter must be at or close to field capacity (Delvaux, 1995) to obtain maximum benefit. Water deficiency produces a strong depressive effect on the growth of roots, which take up water at tensions close to field capacity (Robinson, 1995). In soils with clay textures, the volume of exploration is reduced from 0.8 to 0.4 m deep (Delvaux, 1995), and the banana plants of the less moist treatments could not satisfy their high water requirements.

Altura de planta, diámetro de pseudo tallo, longitud y peso de racimo

La altura de la planta y diámetro de pseudotallo, promedio de cuatro floraciones, se muestran en la Figura 4 a y b. Los déficit de humedad en el suelo afectaron lineal y negativamente ambas variables, en forma similar a la disminución en rendimiento de fruta. Estos resultados coinciden con los de Hedge y Srinivas (1991) y Hedge (1988), quienes los correlacionaron positivamente con la pérdida en rendimiento. El efecto de las dosis de N aplicadas al suelo, en la altura y diámetro de pseudotallo, no fue estadísticamente diferente.

Con humedad del suelo deficitaria la longitud del racimo (Figura 4 c) y el peso de racimo (Figura 4 d) disminuyeron. En otros estudios (Lahav y Kalmar, 1988; Hedge y Srinivas, 1989; Goenaga *et al.*, 1995) se observó alta correlación entre rendimiento y peso de racimo, pero en el presente estudio a menor longitud de racimo hubo menor rendimiento de fruta ($R^2 = 0.98$).

Número, diámetro, longitud y peso de dedos

En las Figuras 5 a, b, c y d, se muestra el efecto de la tensión de humedad del suelo sobre el número de dedos por mano, diámetro, longitud y peso de dedo central de

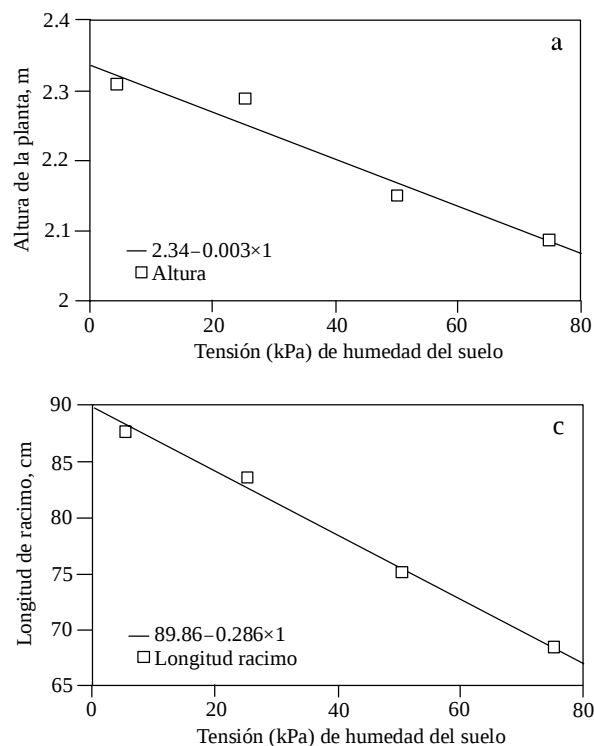


Figura 4. Efecto de la tensión de humedad del suelo en: a) altura de la planta; b) diámetro del pseudotallo; c) longitud de racimo; d) peso de racimo.

Figure 4. Effect of soil moisture tension in: a) plant height; b) pseudostem diameter; c) bunch length, d) bunch weight.

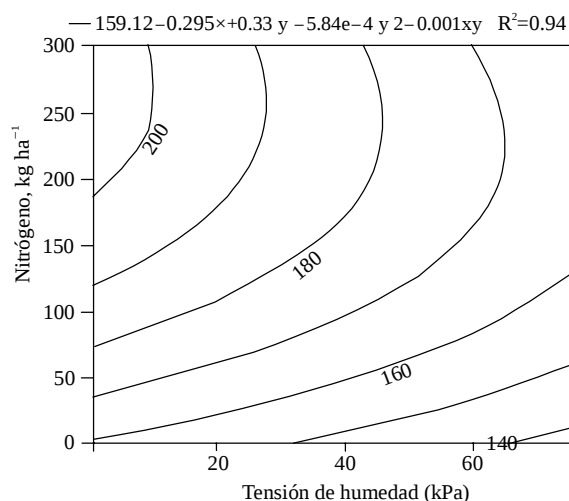


Figura 3. Rendimiento (isolíneas en Mg ha⁻¹) acumulado de cuatro floraciones de plátano.

Figure 3. Accumulated banana yield (iso-lines in Mg ha⁻¹) of four flowerings.

Function of response to N application and moisture tension

Accumulated yield of banana in response to N application and moisture tension is shown in Figure 3;

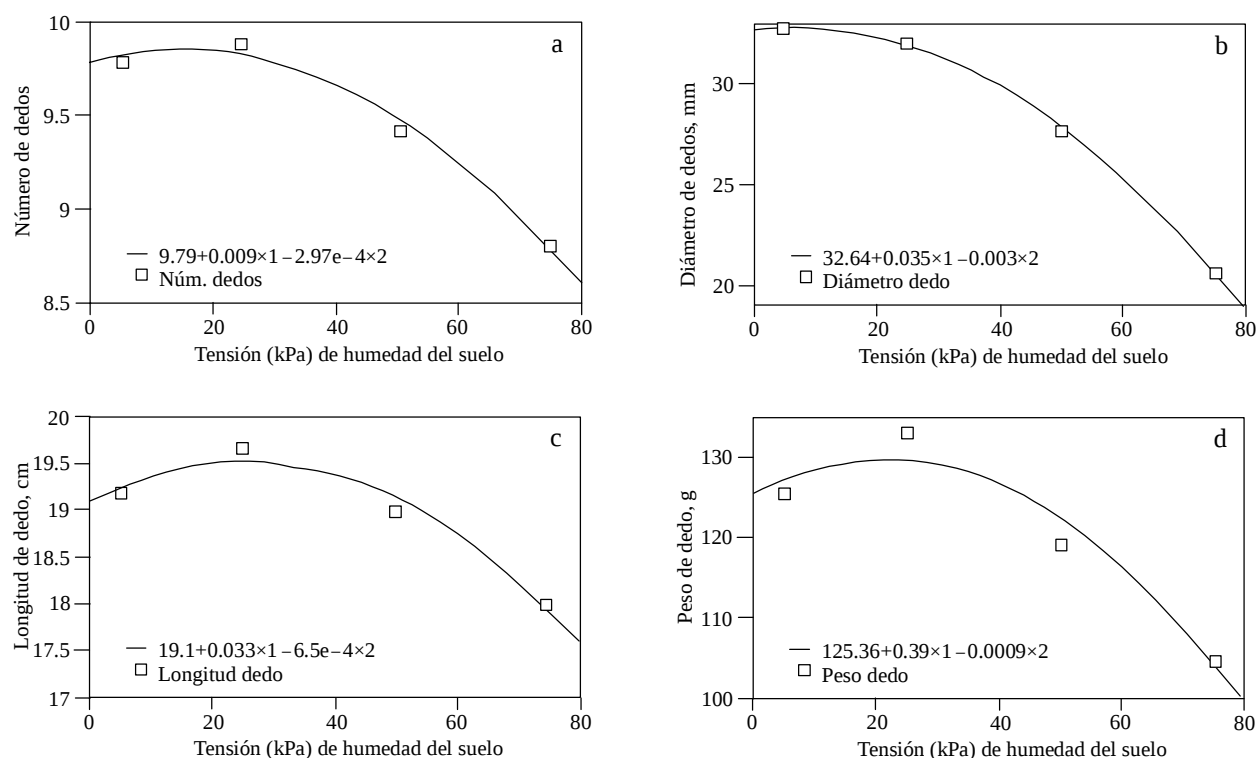


Figura 5. Efecto de la tensión de humedad del suelo en: a) número de dedos por mano; b) diámetro; c) longitud; d) peso de dedo central de la segunda mano del racimo.

Figure 5. Effect of soil moisture tension in: a) number of fingers per hand; b) diameter; c) length; d) weight of middle finger of the second hand of the bunch.

la segunda mano del racimo. Todas las curvas fueron similares, no observándose cambios abruptos en la calidad de fruta entre 10 y 30 kPa, pero conforme el déficit de humedad se acentuó el abatimiento en las variables de calidad de fruta fue lineal. El efecto de N no fue significativo ($p > 0.05$) en la calidad, y los resultados fueron congruentes con los observados en otros estudios (Hedge y Srinivas, 1989, 1991; Holder y Gumbs, 1983).

Los plátanos requieren un suministro de agua abundante y frecuente, por lo que el déficit de agua influye en forma negativa sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. En la etapa vegetativa periodo de establecimiento se determina el potencial de crecimiento y fructificación de la planta, siendo esencial un suministro adecuado de agua, N y K. Durante este período cualquier déficit de agua afecta al ritmo de desarrollo (altura de la planta y diámetro de pseudotallo), lo que a su vez influye en el número de manos, en el peso y longitud de los racimos (Figuras 4 a y b).

En el período de floración comienza la diferenciación de la flor y los déficit de agua en este período limitan el desarrollo de hojas y el número de frutos. En esta etapa no se observó efecto de humedad ni de N sobre el rendimiento y calidad; sin embargo, los déficit de agua en el periodo de formación de cosecha afectaron

only those statistically significant terms of the regression equation were considered, excluding the quadratic coefficient of soil moisture tension. To increase yield, at the same tension, it is necessary to increase the N dosage. Maximum yields of the fruit were obtained at field capacity tensions and 300 kg N ha^{-1} . In a future study tension exploration space should be modified to values close to field capacity since the crop extracts and immobilizes considerable amounts of water and responds to high dosages of N in the moist interval (Figure 2).

Plant height, pseudostem diameter, length and weight of bunch

Plant height and pseudostem diameter, averages of four flowerings, are shown in Figure 4 a and b. Soil moisture deficits had linear, negative effects on both variables, similar to decrease in fruit yield. These results coincide with those of Hedge and Srinivas (1991) and Hedge (1988), who correlated these variables positively to yield loss. The effect of N dosages applied to soil on height and pseudostem diameter was not statistically different.

With soil moisture deficit, bunch length (Figure 4c) and weight (Figure 4d) decreased. In other studies (Lahav

al tamaño y calidad de los frutos (Figuras 5 a, b, c y d). En el presente estudio los efectos más perjudiciales se observaron con déficit de humedad en los períodos vegetativo y de formación de fruto, lo cual se relaciona con el riego, la precipitación (Cuadro 1) y la capacidad de retención de humedad del suelo (Cuadro 2).

Análisis económico

El análisis financiero por el uso de la tecnología de tensión de humedad del suelo y N se muestra en el Cuadro 5. El cálculo de la relación B/C total e incremental mostró que resultó mejor utilizar los tratamientos 25 kPa-200 N, 10 kPa-300 N y 10 kPa-200 N que el tratamiento referencia 75 kPa-0 N (este tiene una relación B/C de cero, porque no tuvo incremento en rendimiento, ni se empleó más insumos). La recomendación del tratamiento a utilizar por el productor está en función del beneficio económico, incremento en rendimiento y factibilidad técnica, confiabilidad de la información y costo de la tecnología. El productor platanero podría implementar sin dificultad la tecnología de mejor uso de agua y N, ya que representa una opción de respuesta inmediata a esos insumos.

En la Figura 6 se muestra la relación B/C total para el cultivo de plátano en respuesta a cantidades variables de insumos de agua y N. El máximo beneficio económico se obtuvo con el tratamiento 25 kPa- 200 N, el cual fue superior al tratamiento 10 kPa-300 N que produjo el máximo rendimiento. El rendimiento máximo fisiológico fue mayor, pero una recomendación al productor debe considerar no sólo el rendimiento, sino además el costo de la tecnología. Otra ventaja en plátano es que el costo de la cosecha, en Colima, lo asume el comprador, por lo que cualquier incremento en el rendimiento de fruta derivado del costo de la tecnología no representa un cargo de inversión para el productor.

CONCLUSIONES

Para mantener la alta productividad del plátano cv. Gran Enano en Colima es necesaria la fertilización nitrogenada y satisfacer la demanda de agua, debido al ambiente semiárido. La interacción N×humedad tiene un efecto positivo en el rendimiento del cultivo principal y sus rebrotes (floraciones) y en el rendimiento acumulado. Es necesario aplicar 290 a 300 kg N ha⁻¹ combinado con tensiones de humedad del suelo de 10 kPa o menores durante el ciclo de cultivo, para alcanzar un rendimiento físico máximos. Sin embargo, el máximo beneficio económico (relación beneficio/costo) se obtuvo con 25 kPa-200 kg N. La humedad del suelo influye marcadamente en la calidad de fruta y un déficit de humedad afecta negativamente el número de dedos por

and Kalmar, 1988; Hedge and Srinivas, 1989; Goenaga *et al.*, 1995) a high correlation between bunch yield and weight was observed, but in our study, the shorter the bunch, the lower the fruit yield ($R^2=0.98$).

Finger number, diameter, length and weight

The effect of soil moisture tension on number of fingers per hand and diameter, length and weight of middle finger of second hand of the bunch, is shown in Figures 5 a, b, c and d. All of the curves were similar; no abrupt changes were observed in fruit quality between 10 and 30 kPa, but as moisture deficit became more acute, the decrease in the fruit quality variables was linear. The effect of N was not significant ($p>0.05$) on quality, and the results were congruent with those observed in other studies (Hedge and Srinivas, 1989, 1991; Holder and Gumbs, 1983).

Bananas require an abundant, frequent supply of water; thus, water deficit negatively affects growth and yield of the crop. During the vegetative establishment period, the growth and fruit potential of the plant is determined and an adequate supply of water, N and K is essential. During this period any water deficit affects the rhythm of development (plant height and pseudostem diameter), affecting in turn the number of hands and bunch weight and length (Figures 4a and b).

During flowering, flower differentiation commences, and the water deficits during this period limit leaf development and fruit number. In this stage, no effect of moisture or N was observed on yield and quality; the water deficit in the period of crop formation, however, affected fruit size and quality (Figures 5 a, b, c and d). In our study, the most harmful effects of moisture deficit were observed in the vegetative and fruit formation periods, which are related to irrigation, rainfall (Table 1) and the soil's capacity for water retention (Table 2).

Economic analysis

The financial analysis of the use of soil moisture tension and N technology is shown in Table 5. Calculation of the B/C ratio, total and incremental, showed that it was better to use treatments 25 kPa-200 N, 10 kPa-300 N and 10 kPa-200 N than the reference treatment of 75 kPa-0 N (this treatment had a B/C ratio of zero since there was no increase in yield and more inputs were not used). The recommendation of which treatment should be used by the grower is in function of economic benefit, increase in yield and technical feasibility, reliability of the information and cost of technology. The banana grower could implement better use of water and N technology with no difficulty, since it is an option of immediate response to these inputs.

Cuadro 5. Análisis financiero del uso de tensión de humedad y nitrógeno aplicados al suelo sobre la producción de plátano en Colima.
Table 5. Financial analysis of use of moisture tension and nitrogen applied to the soil in banana production in Colima.

Tensión kPa	Nitrógeno kg ha ⁻¹	Rendimiento Mg ha ⁻¹ †	Costo riego‡	Costo fertilización§	Análisis de suelo‡	Costo incremento y fert‡	Valor inc. rend††	Costo inc. uso riego y fert‡‡	Costo producción cultivo§§	Venta de cosecha‡‡‡	Relación B/C incremental‡‡‡	Relación B/C total†††
10	300	50.42	3107	1329	20	4456	12171.60	3251	20567	31764.60	3.74	1.54
25	200	49.45	2250	886	20	3156	11560.50	1951	18381	31153.50	5.93	1.69
10	200	48.23	3107	886	20	4013	10791.90	2808	20124	30384.90	3.84	1.51
10	100	45.63	3107	443	20	3570	9153.90	2365	19681	28746.90	3.87	1.46
25	300	45.28	2250	1329	20	3599	8933.40	2394	18824	28526.40	3.73	1.52
50	200	44.67	1715	886	20	2621	8549.10	1416	18732	28142.10	6.04	1.50
25	100	41.14	2250	443	20	2713	6325.20	1508	17938	25918.20	4.19	1.44
50	300	41.04	1715	1329	20	3064	6262.20	1859	19175	25855.20	3.37	1.35
10	0	39.74	3107	0	20	3127	5443.20	1922	19238	25036.20	2.83	1.30
50	100	38.43	1715	443	20	2178	4617.90	973	18289	24210.90	4.75	1.32
25	0	37.83	2250	0	20	2270	4239.90	1065	17495	23832.90	3.98	1.36
75	100	35.41	1185	443	20	1648	2715.30	443	17759	22308.30	6.13	1.26
75	300	35.19	1185	1329	20	2534	2576.70	1329	18645	22169.70	1.94	1.19
75	200	34.77	1185	886	20	2091	2312.10	886	18202	21905.10	2.61	1.20
50	0	33.95	1715	0	20	1735	1795.50	530	17846	21388.50	3.39	1.20
75	0	31.10	1185	0	20	1205	0.00	0	17316	19593.00	0.00	1.13

† Rendimiento promedio de cuatro floraciones.

‡ Incluye jornales para bordeos, canales, limpieza de canales y riego más cuota de agua.

§ Costo de producto por kg de N, jornales para aplicación (dos por año).

‡‡ Una muestra de suelo para análisis de fertilidad representa 5 ha.

‡‡‡ Costo de tecnología de riego con respecto a referencia (75 k Pa-0 N).

†† Valor incremental tecnología = (Incremento en rendimiento-Rendimiento referencia)*Precio por tonelada de fruta.

‡‡‡ El costo de uso de tecnología de riego y fertilización = Costo de uso de tensión y N menos el costo de la referencia (\$1205).

§§ Costo de producción del paquete tecnológico para mantenimiento y conservación del cultivo del plátano. DDR002 Delegación SAGARPA en Colima. 2001.

‡‡‡‡ Venta de cosecha \$630 por Mg.

‡‡‡‡ Relación B/C Incremental = Incremento en rendimiento × \$ 630.0 / costo incremental por uso de tecnología.

††† Relación B/C Total = Venta de cosecha / costo de producción del cultivo.

Nota: El costo no es cero, pero lo paga el comprador, esto se menciona en el último párrafo de Análisis económico.

mano, el diámetro, longitud y peso de dedo de plátano. El rendimiento acumulado de fruta (cuatro floraciones) se expresó por la siguiente ecuación:

$$Y = 159.12 - 0.295X + 0.33N - 0.005N^2 - 0.001XN$$

donde Y = rendimiento de fruta de plátano en Mg ha⁻¹, X = tensión de humedad del suelo en kPa, y N = kg de N ha⁻¹; con esta función se puede calcular el rendimiento de plátano en Mg ha⁻¹ en respuesta al empleo de insumos controlables de la producción, N y tensión de humedad del suelo.

LITERATURA CITADA

- Abd-El-Kader, A. M., F. M. B. El-Makhtoun, and A. A. Abd-Aal. 1994. Effect of nitrogen and potassium fertilization on growth and yield of grand main banana cultivars. *Zagazi J. Agric. Res. (Egypt)* 21: 1489-1495.
- Agrios, G. N. 1997. *Plant Pathology*. Academic Press. Fourth edition. Academic Press. San Diego, Ca. 635 p.
- CoHortSoftware 1995. *CoStat Manual* 5.00. Minneapolis, MN. 371 p.
- Cooli, R. R., E. K. Chaco, and G. S. Randhawa. 1976. Effect of spacing and nutritional levels on growth and fruit yield of Robusta banana. *Ind. J. Agric. Sci.* 46: 382-385.
- Davis, G. J. 1995. Managing plant nutrients for optimum water use efficiency and water conservation. *Adv. Agron.* 53: 85-120.
- Delvaux, B. 1995. Soils. In: *Banana and Plantains*. Gowen, S. (ed). Chapman and Hall, London, UK. pp: 230-257.
- Delvaux, B., J. E. Dufey, L. Vielvoye, and A. J. Herbillon. 1989. Potassium exchange behavior in a weathering sequence volcanic ash soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 53: 1679-1684.
- Doorenbos, J., y A. H. Kassam. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 210 p.
- FAO. 1991. *Soil Resources*. An explanatory note on the FAO World Soil Resources. Map 25, 000 scale. World Soil Resources. Rep. 66. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 58 p.
- Fontaine, S., B. Delvaux, A. J. Dufey, and A. J. Herbillon. 1989. Potassium exchange behavior in Caribbean volcanic ash soils under banana cultivation. *Plant and Soil* 120: 283-290.
- Goenaga, R., and H. Irizarry. 1995. Yield performance of banana irrigated with fractions of class A evaporation in a semiarid environment. *Agron. J.* 87: 172-176.
- Goenaga, R., H. Irizarry, B. Coleman, and E. Ortiz. 1995. Drip irrigation recommendations for plantain and banana grown on the semiarid southern coast of Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 79: 13-27.
- Hedge, D. M. 1988. Growth and yield analysis of Robusta banana in relation to soils water potential and nitrogen fertilization. *Scientia Horticulturae (Netherlands)* 37: 145-155.
- Hedge, D. M., and K. Srinivas. 1989. Effect of soil matric potential and nitrogen on growth, yield, nutrient uptake and water use of banana. *Agric. Water Mgmt.* 16: 109-117.
- Hedge, D. M., and K. Srinivas. 1991. Growth, yield, nutrient and water use under drip and basin irrigation with N and K fertilization. *Trop. Agric. (Trinidad)* 68: 331-334.
- Holder, G. D., and F. A. Gumbs. 1983. Effect of nitrogen and irrigation on the growth and yields of banana. *Trop. Agric. (Trinidad)* 60: 170-183.
- Lahav, E. 1995. Banana nutrition. In: *Banana and Plantains*. Gowen, S. (ed). Chapman and Hall, London, UK. pp: 258-316.

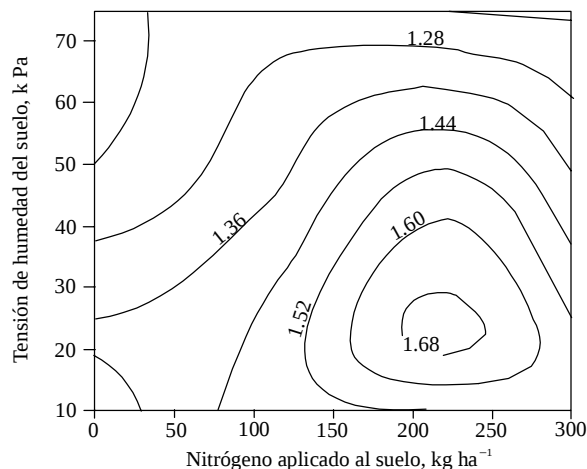


Figura 6. Respuesta a la aplicación de tensión de humedad del suelo y nitrógeno en el cultivo de plátano. Los contornos representan relación beneficio/costo total por el uso de insumos tecnológicos.

Figure 6. Response to the application of soil moisture tension and nitrogen in banana cultivation. The contours represent total benefit/cost ratio of use of technological inputs.

Total B/C ratio for the banana crop in response to variable quantities of water and N is shown in Figure 6. The maximum economic benefit was obtained with treatment 25 kPa-200 N, which was superior to treatment 10 kPa-300 N, which produced the maximum yield. Maximum physiological yield was higher, but a recommendation to the grower should consider not only yield, but also the cost of technology. Another advantage of banana-growing is the cost of harvesting; in Colima, the buyer assumes this cost, so that any increase in fruit yield derived from the cost of technology does not represent an investment for the grower.

CONCLUSIONS

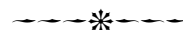
To maintain high productivity of banana cv Gran Enano in Colima, nitrogen fertilization is necessary, as is meeting the demand for water since the climate is semiarid. The interaction N×moisture has a positive effect on yield of the main crop and their sprouts (flowerings), and for accumulated yield. It is necessary to apply 290 to 300 kg N ha⁻¹ combined with soil moisture tensions of 10 kPa or less during the crop cycle to achieve maximum physical yields. However, the highest benefit/cost ratio was obtained with 25 kPa-200 kg N ha⁻¹. Soil moisture markedly affects fruit quality and a deficit in moisture negatively affects the number of fingers per hand and diameter, length and weight of fingers. Accumulated fruit yield (four flowerings) was expressed by the following equation:

- Lahav, E., and D. Kalmar. 1988. Response of banana to drip irrigation, water amounts and fertilization regimes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19: 25-46.
- López, A. 1998. Fertilización convencional del cultivo del banano en Costa Rica y su relación con la producción sostenible. *In: Memorias del Taller Internacional sobre producción de banano orgánico y ambientalmente amigable*. Rosales, F. E., S. C. Tipton y J. C. Serna (eds). C I I D y EARTH. Guasimo, Costa Rica. pp: 63-81.
- Pérez Z., O. 1993. Estudio preliminar de la precipitación pluvial mensual en el estado de Colima. Folleto Técnico Núm. 1. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Colima, México. 50 p.
- Pérez Z., O. 2002. Evaluación de mejoradores del suelo en limón mexicano. *Terra* 3: 337-346.
- Pérez Z., O., y Ma. R. Cigales R. 2001. Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en melón cantaloupe. *Agrociencia* 35: 479-488.
- Robinson, J. C. 1995. Systems of cultivation and management. *In: Banana and Plantains*. Gowen, S. (ed). Chapman and Hall, London, UK. pp: 15-65.
- Saad, M. M. 1997. Effect of nitrogen fertilization on growth yield and fruit quality of Williams banana in sandy soil under drip irrigation system. *Ann. Agric. Sci., Mostro (Egypt)* 35: 2357-2363.

$$Y=159.12-0.295X+0.33 N-0.005 N^2-0.001 XN$$

where Y=banana fruit yield in Mg ha^{-1} , X=soil moisture tension in kPa, and N= kg N ha^{-1} . With this function, banana yield in Mg ha^{-1} can be calculated as a response to the use of controllable production inputs, N and soil moisture tension.

—End of the English version—



- Scholes, M. C., M. J. Swift, O. Heal, P. A. Sanchez, J. S. I. Ingran, and R. Dalal. 1994. Soil fertility research in response to the demand for sustainability. *In: The Biological Management Tropical Soil Fertility*. Woome P. L., and M. J. Swift (eds). John Wiley and Sons Ltd, Chichester, UK. pp: 1-14.
- Singh, U. R., A. Khan, and G. Singh. 1977. Effect of NPK on growth, yield and quality of banana cv. Basrai dwarf. *Punjab Hort. J. (India)* 17: 64-69.
- Srinivas, K. 1997. Growth, yield and quality of banana in relation to N fertigation. *Trop. Agric. (Trinidad)* 74: 260-264.