

DINÁMICA DE MATERIA ORGÁNICA, P y K EN SUELOS DE SISTEMAS AGROFORESTALES ‘CEDRO-PLÁTANO’ EN TABASCO, MÉXICO

DYNAMICS OF ORGANIC MATTER, P AND K IN SOILS OF THE AGROFORESTRY SYSTEMS ‘SPANISH CEDAR-BANANA’ IN TABASCO, MÉXICO

Francisco Maldonado Mares^{1,3}, Jesús Jasso Mata², David J. Palma-López¹, Sergio Salgado García^{1*} y Víctor A. González Hernández²

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Km 3.5 Periférico Carlos A. Molina s/n, 86500, H. Cárdenas, Tabasco, México. ²Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km 36.5 Carr. México-Textcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. ³División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km. 0.5 Carr. Bosques de Saloya s/n, Villahermosa, Tabasco, México.

* Autor para correspondencia (salgados@colpos.mx)

RESUMEN

Se estudió la dinámica de la materia orgánica (MO), fósforo (P) y potasio (K) de suelos en cinco sistemas agroforestales Cedro-Plátano en la región platanera de Teapa, Tabasco, México. Para ello se seleccionaron los sistemas cedro plátano dátil (SCPD), Cedro-Plátano enano gigante (SCPEG), Cedro (SC), Plátano dátil (SPD) y Potrero (SP). En cada sistema se establecieron tres parcelas de 108 m². En cada parcela se hicieron muestreos de suelos a dos profundidades de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm, con tres repeticiones, durante las épocas climáticas de nortes, secas y lluvias del 2001, en los que se determinaron los contenidos de MO, P, y K; el volumen total del cedro y la producción de materia seca del plátano. Los SCPD y SP están ubicados en un Fluvisol eutrítico de baja fertilidad; los SCPEG y SC se ubicaron en un Fluvisol calcárico de buena fertilidad, y el SPD en un Fluvisol calcárico de baja fertilidad. Los SC y SCPEG presentaron los mayores contenidos de MO, P y K, lo que se atribuye a la mejor fertilidad del suelo y al aporte de nutrientes por la mineralización de la hojarasca del cedro y del plátano, la cual puede ser de 12 t ha⁻¹ al año. En estos sistemas se logra el mayor volumen de biomasa de cedro y de producción de materia seca del plátano, por lo que el sistema agroforestal cedro-plátano es una alternativa de producción. En el SPD se requiere incrementar la dosis de P aplicada para evitar empobrecimiento del suelo. No se detectaron diferencias significativas para MO, P y K entre épocas climáticas. Los contenidos de MO, P y K fueron mayores en la profundidad de 0 a 30 cm y disminuyeron significativamente en la profundidad de 30 a 60 cm; en este segundo estrato los niveles nutrimentales se clasificaron como deficientes, pero pueden ser aprovechados por el sistema radical del cedro.

Palabras clave: *Cedrela odorata* L., *Musa* spp., fluvisol, épocas del año, profundidad del suelo.

SUMMARY

In this research we evaluated the dynamics of organic matter (OM), phosphorus (P) and potassium (K) in soils of five agroforestry systems of the spanish cedar-banana complex at the banana region at

Teapa, Tabasco, México. Spanish cedar-datil banana (SCDBS), spanish cedar-small giant banana (SCSGBS), spanish cedar (SCS), datil banana (DBS) and grass (GS) systems were the selected systems. Thriplicate soils samples were taken to measure OM, P and K content in soils at three seasons: ‘nortes’, dry and rainy, in 2001. Soil samples were taken from two depths: 0 to 30 cm and 30 to 60 cm in each plot. Total volume of the spanish cedar and dry matter production of banana were measured. SCDBS and GS had a low fertility fluvisol eutric soil. SCSGBS and SCS had a high fertility fluvisol calcareous soil, while DBS had a low fertility fluvisol calcareous. SCSGBS and SCS had the highest content of OM, P and K resulting from higher soil fertility and from nutrient input due to mineralization of fallen leaves from the spanish cedar and banana plants. Dead foliage can reach up to 12 t ha⁻¹ yr⁻¹. This system had the highest volume of spanish cedar and the highest yield of banana dry matter. Thus, the agroforestry system spanish cedar-banana is a productive option. DBS system requires to raise the addition of P to soil, since a deficiency was detected. Effects of climate on OM, P and K were not significant. OM, P and K contents were higher at 0-30 cm, and dropped significantly to low and deficient at 30-60 cm depth; nevertheless, these contents can be used by the roots of spanish cedar.

Index words: *Cedrela odorata* L., *Musa* spp., fluvisol, seasons, soil depth.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales son formas de manejo de tierras en las que se combinan los cultivos agrícolas o la ganadería con la arboricultura, ya sea simultáneamente o en rotación, con el propósito de obtener diversidad de productos, rendimiento sostenido del terreno y lograr mejor equilibrio ambiental (Montagnini, 1992). En Tabasco, México se han establecido sistemas agroforestales con cedro (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King), especies regionales que usa la industria forestal

nacional, con plantaciones comerciales de cacao (*Theobroma cacao* L.) y plátano (*Musa spp.*); el cacao cubre una superficie de 60 000 ha localizadas en los municipios de Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán, Jalpa de Méndez, Huimanguillo y Teapa; la de plátano es de 9 000 ha en los municipios de Teapa, Centro, Cunduacán, Tacotalpa, Huimanguillo, Cárdenas, Nacajuca y Jalapa (Chacón y Quintero, 1994).

El uso de estas especies maderables contribuye a la recarga de los mantos acuíferos, y disminuye los riesgos de erosión y empobrecimiento del suelo. En los sistemas agroforestales se maneja empíricamente el equilibrio de competencia entre las especies asociadas. Por ejemplo, se han registrado entre 10 y 20 árboles/ha de cedro en la plantación de cacao y plátano, distribuidos de tal forma que la intersección entre cultivos favorezca la productividad por unidad de área. Esto no siempre se cumple por falta de información técnica, lo que conlleva a cometer errores en el número y la distribución de plantas y, por ende afecta la productividad del cultivo principal (Chacón y Quintero, 1994).

Ante los problemas de comercialización, los altos costos de producción del plátano y la necesidad de asegurar mayores ingresos económicos por unidad de área, aunque sea a un plazo más largo, algunos productores han optado por aumentar la densidad del cedro hasta 500 o más árboles/ha en las plantaciones comerciales de plátano; ello ha ocasionado una excesiva competencia interespecífica por los nutrientes del suelo y por la energía solar, de manera que en un momento dado se deben eliminar las plantas de plátano para dejar espacio suficiente a los árboles forestales. En México la fertilidad de los suelos en los sistemas agroforestales ha sido poco estudiada.

Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivos: (a) Evaluar la dinámica de la materia orgánica (MO), P y K, en cinco sistemas de producción, y (b) Estimar el aporte de biomasa del cultivo de plátano y del cedro al suelo, en Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área experimental

El estudio se hizo de enero a octubre del 2001, lo que permitió cubrir las temporadas de nortes, secas y lluvias, en cinco sistemas de producción en Teapa, Tabasco. El clima regional es cálido húmedo con lluvias todo el año (Af), con temperatura promedio anual de 26.4 °C y precipitación promedio anual 3825 mm (Ramírez y Rodríguez, 2003).

Los sistemas de producción evaluados fueron los siguientes:

Sistema Cedro-Plátano Dátil (SCPD). Se localiza en la Ranchería Juan Aldama, en el km 5 de la carretera federal Teapa-Villahermosa, a 17 ° 36' 12" LN y 95 ° 59' 36" LO, a una altitud de 45 m. Es representativo del sistema de producción de plátano 'dátil' (*Musa* grupo AA *Musa acuminata* Colla) asociado con cedro con una edad de cinco años de edad. Es una pequeña unidad de producción de 3 ha, pobremente tecnificada que sólo se comercializa a nivel local y el productor habita dentro del sistema. Durante los primeros tres años del cedro, el productor aplicó urea en dosis de 300 g/árbol/año al cedro y de 50 g/cepa/año al plátano. El suelo de este sistema se clasifica como Fluvisol éutrico (Cuadro 1), con textura arcillosa; el sitio cuenta con drenaje superficial.

Sistema Cedro-Plátano Enano Gigante (SCPEG). Se ubica en la comunidad de Miguel Hidalgo 2a Sección en la Hacienda La Candelaria, en el km 4.5 de la carretera Teapa-San Antonio, a 17° 35' 14" LN y 92°56'50" LO, a una altitud de 40 m. Es un sitio representativo del sistema de producción de plátano 'enano gigante' (*Musa*, grupo AAA Subgrupo *Cavendish*), que es altamente tecnificado por tratarse de exportadores a nivel nacional e internacional; incluye 20 ha de varias especies forestales asociadas con plátano, entre las que sobresale el cedro establecido hace cinco años, con asesoría de técnicos de la Universidad Autónoma de Chapingo y empresas privadas. La fertilización del plátano la hace el productor en los meses de junio, septiembre, diciembre y marzo, con 450 g de urea, 217 g de superfosfato triple y 1100 g de cloruro de potasio. El suelo se clasificó como Fluvisol calcárico (Cuadro 1).

Sistema Cedro (SC). Se localiza en la Hacienda La Candelaria, en cuyo terreno primero se sembró plátano y al año y medio se plantó el cedro; a los tres años se eliminó el plátano y el cedro quedó como cultivo único. Posteriormente, en partes del sistema se agregaron otras especies forestales como teca (*Tectona grandis* L.f.) y especies ornamentales tolerantes a la sombra del cedro, como palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.), palma hawaiana (*Alpinia speciosa* (Wendl.) Schum.), heliconia (*Heliconia bihai* L.) y antorcha (*Nicolaia eliator* (Jack.) Standl.). En este sitio al cedro se le considera como monocultivo, ya que al iniciar el estudio las demás especies estaban recién establecidas. El suelo corresponde a un Fluvisol calcárico (FAO, 1989) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis físico-químico de los perfiles de suelo de los sistemas de producción en Teapa, Tabasco.

Horizonte	Profundidad (cm)	Propiedades							Clasificación textural
		pH	MO	P-Olsen	Ca	K	Mg	CIC	
		H ₂ O	(%)	(mg kg ⁻¹ suelo)	(cmol (+) kg ⁻¹ suelo)				
SCPD y SP									
Fluvisol éútrico (FAO, 1989)									
A 1	0 - 24	5.1	2.7	6.3	9.8	0.3	8.2	20.7	Arcilla
A 2	24 - 40	5.6	2.3	9.1	7.4	0.2	4.4	17.3	Migajón arcilloso
C 1	40 - 70	4.9	1.0	2.9	8.9	0.1	8.2	12.2	Arcilla
C 2	70 - 100	5.7	0.8	1.4	10.9	0.1	16.4	28.1	Arcilla
SCPEG y SC‡									
Fluvisol calcárico (FAO, 1989)									
A p	0 - 40	5.6	2.5	8.2	19.6	0.3	3.3	31.9	Franco arcillo arenoso
C 11	40 - 77.5	6.9	1.4	2.8	23.9	0.2	3.3	33.9	Arcillo arenoso
C 12	77.5 - 115	8.0	0.7	4.8	42.6	0.1	2.0	28.1	Arcillo arenoso
C 21	115 - 150	8.1	0.2	4.8	30.9	0.1	1.2	16.6	Franco arenoso
C 22	150 - 185	8.0	0.2	5.9	32.8	0.1	1.1	12.1	Franco arenoso
C 3 g	185 - 200	7.7	0.2	9.0	43.6	0.2	3.9	32.9	Franco arcilloso
SPD									
Fluvisol calcárico (FAO, 1989)									
A 1	0 - 23	7.6	2.47	3.14	43.41	0.39	2.47	18.74	Migajón arcilloso
A 2	23- 58	7.7	1.76	2.57	37.43	0.13	2.30	18.24	Migajón arcillo limoso
C	58-90	7.8	0.52	2.57	37.43	0.09	1.65	13.31	Franco
2 C	90-120	7.7	0.39	2.00	43.41	0.14	3.54	23.67	Arcillo limoso.

‡ SC = Sistema Cedro; SCPD = Sistema Cedro Plátano Dátil; SPD = Sistema Plátano Dátil; SCPEG = Sistema Cedro Plátano Enano Gigante (SCPEG); SP = Sistema Potrero.

Sistema Plátano Dátil (SPD). Se localiza en el Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el km 20 de la carretera federal Teapa-Villahermosa, a 17° 38' 51" LN y 92° 57' 51" LO, a una altitud de 42 m. Este campo cuenta con un banco de germoplasma de diferentes variedades de plátano y en sus parcelas demostrativas incluyen las variedades de plátano 'dátil' y 'enano gigante', que son manejadas con los paquetes tecnológicos recomendados para estos cultivos (Ramírez y Rodríguez, 2003). El suelo es un Fluvisol calcárico de buena fertilidad (Cuadro 1).

Sistema Potrero (SP). Se encuentra contiguo al SCPD en la Hacienda La Esperanza, con una superficie de 6 ha. El pasto establecido desde hace más de 50 años es grama amarga (*Paspalum conjugatum* Bergius), en el que no se aplican fertilizantes ni insecticidas; este sitio se seleccionó como testigo, porque los sistemas agroforestales en estudio se establecieron a partir de estos potreros. El suelo es un Fluvisol éútrico (Cuadro 1).

Épocas climáticas

La interacción entre temperatura, precipitación, nubosidad y evaporación que prevalece en Tabasco, permite definir tres épocas climáticas en el año (Larios y Hernández, 1992):

De secas. En los meses de marzo a mayo ocurre el periodo de menor precipitación, con temperatura alta que fa-

vorece la evaporación, cuyo máximo pico se registra en dichos meses. Se caracteriza por la presencia de vientos secos, conocidos regionalmente como *sures* y más de 66 % de los días son soleados (Figura 1).

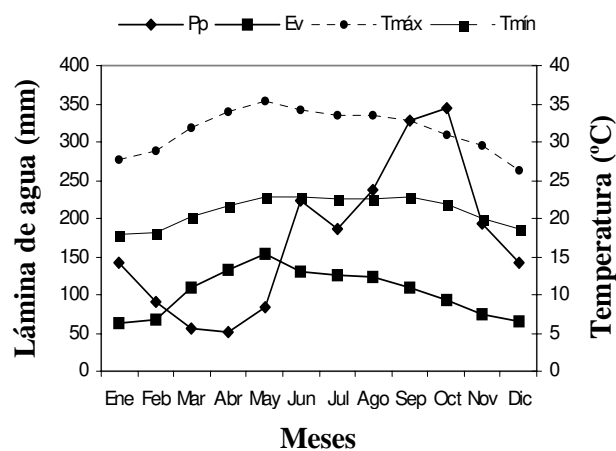


Figura 1. Comportamiento del clima en Teapa, Tabasco.

Lluvias. Esta temporada comprende los meses de junio a octubre, en la que la precipitación de junio se duplica, luego sufre una reducción en julio (se presenta la *canícula*), y alcanza su máximo volumen en el mes de septiembre para cerrar el periodo de temporal (Figura 1). En esta parte del año se concentra 46 % de la precipitación; los días con lluvia varían de 15 a 30 por mes, con 54% de días

nublados y la temperatura media mensual se mantiene por abajo de las máximas del año.

Nortes. Ocurre de octubre a febrero (Figura 1), y se caracteriza por una tendencia decreciente en sus variables pluviotérmicas; en esta época se registran las mínimas temperaturas ($< 18^{\circ}\text{C}$ en enero), y el volumen de precipitación se reduce en 13 % respecto al periodo anterior. Destaca en este periodo el mayor número de días nublados (70 %), cuya repercusión ambiental es incremento de la humedad relativa y disminución en la evapotranspiración.

Profundidad del suelo

La descripción de los perfiles de suelos se realizó de acuerdo con los procedimientos descrito por Cuanaló (1981). La clasificación de los suelos se efectuó con el método de la FAO (1989). Para posteriores comparaciones, se muestrearon dos profundidades, 0 a 30 y 30 a 60 cm, para estudiar la dinámica de la MO, P y K, ya que los cultivos de interés son perennes (Salgado *et al.*, 1999).

Muestreos

En cada sistema se establecieron al azar tres parcelas de forma rectangular, de 9 x 12 m. Los sistemas agroforestales incluyeron 16 cedros ubicados en marco real, siempre con un distanciamiento de 4 x 3 m. Tanto la forma como el número de árboles corresponden con las recomendaciones de Burley y Wood (1971). Para el cultivo de plátano se consideró un promedio de 30 plantas en fructificación. No se tomaron en cuenta las plantas de las orillas de la parcela, para evitar el efecto de bordo.

En cada sistema se tomaron cinco submuestras de suelo, en ambas profundidades, con una barrena tipo holandesa. El suelo extraído se colocó en una cubeta identificada para cada profundidad, en la cual se mezclaron las submuestras de cada suelo para hacer una muestra compuesta por profundidad (Salgado *et al.*, 1999). Se tomaron 2 kg de suelo por muestra, se vaciaron en bolsas de nilón etiquetadas y se transportaron al Laboratorio de Agua, Suelo y Plantas del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, en donde se secaron a temperatura ambiente bajo sombra y posteriormente se molieron y tamizaron en una malla del número 20, para su análisis posterior.

Variables estudiadas

La materia orgánica se determinó con la técnica de Walkley y Black; K con el método de acetato de amonio 1N pH 7.0; y P con el método de Olsen (Norma Oficial Mexicana, 2000). Además, se determinó la producción de volumen total de cedro, según Salazar y Jiménez (1988),

en cada época climática; y la producción de materia seca de los componentes del plátano, durante nueve meses. Para ello se realizaron muestreos destructivos en forma mensual, los componentes se separaron, se pesaron, y se colectaron muestras para determinar el porcentaje de humedad. Para colectar la hojarasca de cedro se establecieron tres cuadrantes fijos de 1 m^2 por sitio, de donde se obtuvo el peso seco en forma mensual durante 10 meses.

Análisis estadístico

Para determinar la relación entre factores y las propiedades del suelo, se definió un modelo de medidas repetidas:

$$Y = \mu + A + P + AxP(E) + E + Ax E + Px E + e$$

donde: Y = Concentración de MO, P y K; A = Agrosistemas; P = Profundidades; E = Épocas climáticas; y e = Error experimental.

El modelo fue analizado como un diseño en parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a los agrosistemas y se anidaron en las épocas climáticas; la parcela chica correspondió a las profundidades del suelo. La producción de volumen total de cedro se analizó como un arreglo factorial (cinco agrosistemas y tres épocas climáticas). En ambos análisis, se hizo la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Martínez, 1988). Tales análisis estadísticos se hicieron con el programa estadístico SAS versión 6.1 (SAS Institute, 1996), mediante el procedimiento PROC ANOVA y el comando MEANS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia orgánica

En esta variable se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre sistemas y profundidades del suelo, con un coeficiente de variación de 23.6 % (Cuadro 2). Los contenidos de MO más altos ($> 2.6\%$) se presentaron en los sistemas SC y SCPEG, por lo cual se pueden considerar ricos en MO, según la clasificación de Tavera (1985); tales contenidos se consideran adecuados para el cultivo de plátano en esta región (Rodríguez y Gil, 1994). Lo anterior se debe a que estos sistemas aportan gran cantidad de residuos orgánicos (restos vegetales del plátano y hojarasca de cedro), los cuales se van mineralizando muy lentamente y tienden a acumularse, pero aún están por abajo de 3.4 % de MO que se requiere para lograr 2 % del carbono orgánico necesario para estabilizar el suelo y lograr una producción sustentable. Estas discrepancias entre valores indican que se debe trabajar más arduamente para precisar un límite crítico de MO (Loveland y Webb, 2003). En

estos sistemas el cedro alcanza el mayor volumen total (Cuadro 3).

Cuadro 2. Contenido de materia orgánica (%) en cinco sistemas de producción y en dos profundidades del suelo en Teapa, Tabasco.

Factores	Sistemas					Medias de Profundidad
	SC‡	SCPD	SPD	SCPEG	SP	
Profundidad: 0-30 cm	3.2	2.9	2.5	3.0	2.7	2.9 a†
30-60 cm	2.6	1.3	1.9	1.8	1.9	2.0 b
Medias de sistemas	2.9 a	2.1 b	2.2 b	2.4 ab	2.3 b	2.4
CV (%)	23.6					
Prob. de F para:						
Agrosistemas (S):	0.01 **					
Profundidad (P):	0.01 **					
Interacción AxP:	0.26 ns					
Epoca climática (E):	0.85 ns					
DMS (S):	0.67					
DMS (P):	0.24					

†Medias con la misma literal dentro de la misma columna son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

** Efecto significativo $P \leq 0.01$, * Efecto significativo $P \leq 0.05$, ns: No significativo.

‡ SC = Sistema Cedro; SCPD = Sistema Cedro Plátano Dátil; SPD = Sistema Plátano Dátil; SCPEG = Sistema Cedro Plátano Enano Gigante (SCPEG); SP = Sistema Potrero.

Cuadro 3. Producción de volumen total de cedro ($m^3 ha^{-1}$) en tres sistemas de producción en tres épocas climáticas en Teapa, Tabasco.

Factores	Sistemas agroforestales			Medias de épocas
	SCPD‡	SCPEG	SC	
Norte	1.25	2.09	6.48	3.27 a†
Seca	1.34	3.50	6.54	3.80 a
Lluvia	1.90	3.67	7.70	4.40 a
Medias de sistemas	1.50 b	3.1 b	6.90 a	3.80
CV (%)	18.1			
Prob. de F para				
Sistemas (S)	0.01 **			
Época (E)	0.70 ns			
Interacción AxÉ	0.77 ns			
DMS(S)	3.0			
DMS(E)	0.90			

†Medias con la misma literal dentro de la misma columna son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

** Efecto significativo $P \leq 0.01$, ns: No significativo.

‡ SCPD = Sistema Cedro Plátano Dátil; SCPEG = Sistema Cedro Plátano Enano Gigante; SC = Sistema Cedro.

Los sistemas SCPD, SPD y SP presentaron los contenidos de MO más bajos, lo cual se atribuye a la menor fertilidad de los suelos (Cuadro 1) y a la menor aportación de residuos vegetales en estos sistemas. En el sistema plátano 'dátil' se aplica el paquete tecnológico recomendado por el INIFAP, pero se carece de la aportación de hojarasca del cedro. A pesar del bajo contenido de MO del SCPD, éste se considera aceptable ya que se desarrolla con bajos insumos y permite una producción aceptable de plátano dátil (Nair, 1989) (Cuadro 4); además, puede aportar hasta $12 t ha^{-1} año^{-1}$ de hojarasca de cedro (Figura 2), con un valor promedio de $1.0 t ha^{-1} mes^{-1}$, y tal vez se requiera de un mayor número de años para que su efecto benéfico sobre el suelo sea detectable.

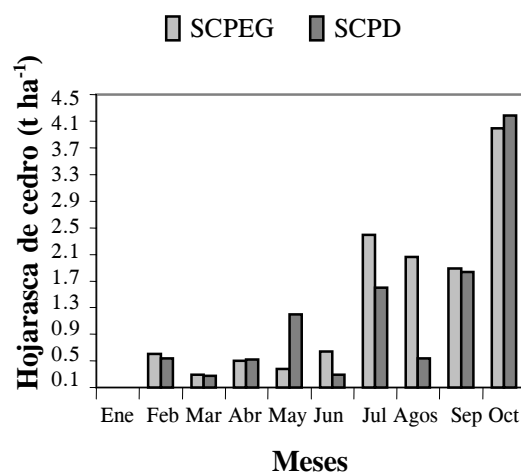


Figura 2. Aportación mensual de hojarasca de cedro ($t ha^{-1}$) en los sistemas 'Cedro Plátano Dátil' (SCPD) y 'Cedro-Plátano Enano Gigante' (SCPEG), en Teapa, Tabasco.

Cuadro 4. Biomasa seca de plátano ($kg ha^{-1}$) en tres sistemas agroforestales en Teapa, Tabasco ($n = 9$).

Parte de la planta	Peso (kg)	Densidad (número de plantas/ha)	Materia seca ($kg ha^{-1}$)
SCPD‡			
Hojas	0.22	1200	723.3
Pseudotallo	0.14	"	2647.6
Fruto	0.24	"	1114.5
Cormo	0.30	"	4017.6
Total de biomasa			8503.2
SCPEG			
Hojas	0.22	1200	3695.0
Pseudotallo	0.14	"	3525.0
Fruto	0.30	"	5359.6
Cormo	0.24	"	8022.2
Total de biomasa			20601.8
SPD			
Hojas	0.22	1800	3144.2
Pseudotallo	0.14	"	7117.2
Fruto	0.30	"	6807.6
Cormo	0.24	"	3952.8
Total de biomasa			21021.8

‡ SCPD = Sistema Cedro Plátano Dátil; SCPEG = Sistema Cedro Plátano Enano Gigante; SPD = Sistema Plátano dátil.

En la profundidad de 0 a 30 cm el suelo presentó el mayor contenido de MO, el cual se reduce aproximadamente en 0.9 % en la de 30 a 60 cm, y se confirma así el comportamiento conocido de la MO en el perfil del suelo (Palma y Cisneros, 2000). Según Simmonds (1973), los suelos tropicales sometidos a cultivo pierden rápidamente la materia orgánica. Pero en el cultivo del plátano se genera una gran cantidad de residuos vegetales que permanecen después de la cosecha y contribuyen a mantener los niveles de MO, a conservar la humedad y a reducir los riesgos por erosión.

En los SCPD y SCPEG se adiciona la MO proveniente de la hojarasca de cedro, que en total se cuantificó en $12 t ha^{-1}$. El contenido de MO del SP coincide con lo reportado

por Mejía (1978; Com. Personal)¹, en un estudio comparativo de pastizales y selva en la Región de la Chontalpa, Tabasco; para un pastizal y a una profundidad de 0 a 20 cm, el autor encontró valores de 2.4 a 4.8 % de MO, respectivamente, los que disminuyen a 0.8 y 1.9 % a profundidades de 20 a 40 cm y 40 a 60 cm.

El descenso de MO en la época de nortes coincide con las épocas más frías del año, por lo que la producción de biomasa del pasto es menor. Por tanto, el sistema agroforestal cedro-plátano contribuye a conservar la MO del suelo y permite favorecer el crecimiento de cedro y plátano. El contenido de MO en los sistemas se mantiene a través de las estaciones del año y sus cambios climáticos.

Fósforo asimilable (P)

En el contenido de P también hubo diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre agrosistemas y profundidades de muestreo, con un CV de 52.9 % que se considera alto (Cuadro 5). El mayor contenido de P se presentó en los sistemas SC y SCPEG con 14.8 y 14.6 mg kg⁻¹ suelo, en relación a los demás sistemas agroforestales evaluados. Estos contenidos de P se consideran ricos (10-15 mg kg⁻¹) de acuerdo con los valores sugeridos por la CSTPA (1980). Lo anterior se debe a la mejor fertilidad de este suelo (Cuadro 1) y a la continua aplicación de P (McDowell *et al.*, 2001); ello favorece junto con el manejo agronómico, un mayor crecimiento en volumen del cedro (Cuadro 3).

Los sistemas SCPD, SPD y SP presentaron los contenidos más bajos de P en el suelo. Al respecto, es importante aclarar que en los SCPD y SP no se aplican fertilizantes fosfatados, lo que se refleja en los resultados obtenidos (Cuadro 5). El propietario del potrero afirmó que no ha aplicado fertilizantes desde hace cincuenta años.

En el SPD los valores en todos los casos se consideran bajos, comportamiento que llama la atención porque en él se aplica el paquete tecnológico de fertilización recomendado por el INIFAP para el cultivo del plátano. Tal vez, estos resultados obedezcan a un manejo más intensivo del cultivo de plátano y a una mayor extracción de este elemento por la alta productividad alcanzada (Cuadro 4). Desde el punto de vista de sustentabilidad se considera que el suelo está perdiendo fertilidad y que algunas relaciones nutrimentales pudieran ser afectadas también (Chacín *et al.*, 1999). Sería conveniente evaluar dosis de P más altas,

que permitan compensar la alta extracción de este elemento por parte del plátano.

Cuadro 5. Contenido de fósforo (P) en cinco sistemas de producción y en dos profundidades del suelo en Teapa, Tabasco.

Factores	Sistemas				
	SC‡	SCPD	SPD	SCPEG	SP
	(mg kg ⁻¹)				
Profundidad:					
0-30 cm	18.3	8.7	2.6	19.0	10.1
30- 60 cm	11.1	4.1	2.9	10.2	5.6
Medias de sistemas	14.8 a	6.4 ab	2.5 c	14.6 ab	7.8b
CV (%)	52.9				
Prob. de F para:					
Sistemas (S)	0.01 **				
Profundidad (P)	0.01 **				
Interacción SxP	0.83 ns				
Época climática (E)					
DMS (S)	0.54 ns				
DMS (P)	6.0				
	1.9				

†Medias con la misma literal dentro de la misma columna son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

** Efecto significativo $P \leq 0.01$, ns: No significativo.

‡ SC = Sistema Cedro; SCPD = Sistema Cedro Plátano Dátil; SPD = Sistema Plátano Dátil; SCPEG = Sistema Cedro Plátano Enano Gigante (SCPEG); SP = Sistema Potrero.

Con relación al efecto de profundidad, el contenido de P de 0 a 30 cm de profundidad fue mayor y se redujo significativamente en 5.13 mg kg⁻¹ suelo en la profundidad de 30 a 60 cm (Cuadro 5); esto confirma el comportamiento del P en el perfil del suelo, que tiende a disminuir con la profundidad (Palma y Cisneros, 2000). Lo anterior es benéfico para la planta porque en el primer horizonte se localiza la mayoría de las raíces absorbentes, responsables de asimilar el P, y se minimiza el riesgo de lixiviación hacia los mantos acuíferos debido a la poca movilidad del P en el suelo (Solórzano *et al.*, 2001).

Potasio intercambiable (K)

En el contenido de K también hubo diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre sistemas de producción y entre profundidades del suelo; el CV fue de 54.1 % que se considera elevado (Cuadro 6). El contenido de K más alto se presentó en los SC y SCPEG con 0.45 y 0.40 cmol (+) kg⁻¹, y estos contenidos se clasifican como medios, según Etchevers *et al.* (1971). El K es un elemento muy demandado por el cultivo de plátano debido a su participación en la síntesis de carbohidratos (Lahav, 1974); 84 % del K total es absorbido durante la formación y llenado del fruto (Chacín *et al.*, 1999). El incremento del K en los SCPEG y SC está relacionado con la mayor integración de materia orgánica, ya que estos sistemas aportan gran cantidad de residuos vegetales que se van integrando al suelo. No obstante, la disponibilidad de este elemento depende de la textura del suelo, ya que en suelos arcillosos los valores son más altos que en los suelos arenosos (Aguado *et al.*, 2002; Ribón *et al.*, 2003). El mayor contenido de K en el

¹ Mejía N A (1978) Estudio comparativo de un suelo bajo selva, cultivo y pasto. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. Cárdenas. Tabasco. México. 105 p.

primer estrato posiblemente esté relacionado con la mayor integración de materia orgánica, puesto que en la época de lluvias ya no se observa materia orgánica en el piso y se puede suponer que el K está reintegrándose al sistema.

Cuadro 6. Contenido de potasio (K) en cinco sistemas de producción y dos profundidades del suelo en Teapa, Tabasco.

Factores	Sistemas					Medias de profundidad
	SC‡	SCPD	SPD	SCPEG	SP	
	(cmol(+) kg ⁻¹ de suelo)					
Profundidad:						
0-30 cm	0.61	0.35	0.31	0.47	0.42	0.44 a [†]
30-60 cm	0.30	0.19	0.24	0.31	0.21	0.25 b
Medias de sistemas	0.46a	0.27 b	0.27b	0.39 ab	0.32ab	
CV (%)	54.1					
Prob. de F para:						
Sistemas (S)	0.01 **					
Profundidad (P)	0.01 **					
Interacción SxP	0.36 ns					
Época climática (E)						
DMS (S)	0.49 ns					
DMS (P)	0.16					
DMS (E)	0.07					

†Medias con la misma literal dentro de la misma columna son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

** Efecto significativo $P \leq 0.01$, ns: No significativo.

‡ SC = Sistema Cedro; SCPD = Sistema Cedro Plátano Dátil; SPD = Sistema Plátano Dátil; SCPEG = Sistema Cedro Plátano Enano Gigante (SCPEG); SP = Sistema Potrero.

CONCLUSIONES

Los sistemas cedro-plátano enano gigante y cedro presentaron los porcentajes más altos de MO, P y K en comparación con los cedro-plátano dátil y potrero, en la profundidad de 0 a 30 cm, en todas las épocas climáticas de muestreadas.

La aportación de hojarasca de cedro asociada a plátano 'dátil' y plátano 'enano gigante' es alta y fue mayor en el sistema-cedro plátano 'enano gigante' con 12 t ha⁻¹, lo que representa una importante deposición de residuos vegetales y preserva el reciclaje de los nutrimentos tanto para el plátano como para el cedro.

El sistema cedro presentó el mayor volumen total de cedro con 397.7 m³ ha⁻¹, seguido del cedro plátano 'enano gigante' con 189.3 m³ ha⁻¹ y por último el cedro-plátano dátil con 98.1 m³ ha⁻¹, con diferencias que fueron significativas.

El sistema cedro-plátano 'enano gigante' presentó la mejor productividad diversificada, ya que integra la biomasa producida por el plátano 'enano gigante' (105.24 t ha⁻¹ año⁻¹) más la producción de volumen total de cedro 189.34 m³ ha⁻¹, diferencia que depende del manejo y de la adecuada aplicación del paquete tecnológico.

El árbol del cedro presenta características ideales en su asociación con el cultivo de plátano, ya que su característica caducifolia y su forma de copa permiten un ingreso de energía solar en las épocas de nortes y secas que favorece al cultivo del plátano en su eficiencia fotosintética.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Tabasco A.C., al Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco, por el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguado-Lara G, J D Etchevers-Barra, C Hidalgo-Moreno, A Gálvis Espinola, A Aguirre-Gómez (2002) Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia* 36 (1):11-22.
- Burley J P, P Wood (1971) Handbook for Prevenance Reserching in the Tropics. Commonwealth Forest Institute. Department Forestry, Oxford University, U. K. Tropical Forest. 10:233.
- Chacín J, M Moreno, L Fernández, A del Villar (1999) Efecto de la fertilización potásica, cálcica y magnésica sobre el contenido de nutrientes del fruto del banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish, clon Gran Enano). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 16 (1):102-113.
- Chacón E J C, C E T Quintero (1994) Sistema agroforestal banano-guanábana cedro, alternativa para el desarrollo sostenible del trópico húmedo mexicano. In: Memoria de la Séptima Reunión Científica Forestal y Agropecuaria de Tabasco. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Golfo Centro. Villahermosa, Tabasco. pp:29 – 34.
- CSTPA (1980) Handbook on Reference Methods for Soil Testing. Revised Edition. Council of Soil Testing and Plant Analysis, Athens, Georgia USA. 459 p.
- Cuanalo de la C H E (1981) Manual de Descripción de Perfiles en el Campo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 40 p.
- Etchevers B J D, W G Espinoza, E Riquelme (1971) Manual de Fertilidad y Fertilizantes. 2da. Ed. Corregida. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillan, Chile. 62 p.
- FAO (1989) Carte Mondiales des Sol, Légende Révisé. Rapport sur les Ressource en Soils du Monde. FAO- UNESCO. No. 60. Rome, Italie. 125 p.
- Lahav E (1974) The influence of potassium on the content of macroelements in the banana sucker. *Agrochimica* 28 (1-2):194-203.
- Larios R J, J Hernández (1992) Fisiografía, Ambientes y Uso Agrícola de la Tierra en Tabasco, México. UACH, Chapingo, México. 130 p.
- Loveland P, J Webb (2003) Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Res.* 70(1):1-18.
- Martínez G A (1988) Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de Teoría. Ed. Trillas. México, D. F. 756 p.
- McDowell R, S Sharpley, P Brookes, P Poulton (2001) Relationship between soil test phosphorus and phosphorus release to solution. *Soil Sci.* 166 (2): 137-149.
- Montagnini F (1992) Sistemas Agroforestales: Principios y Aplicaciones en los Trópicos. Organización para Estudios Tropicales (OTS) / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica. 622 p.

- Nair P K R (1989)** Agroforestry defined. *In: Agroforestry Systems in the Tropics*. P K Nair, R Dordrecht (eds). The Netherlands Academic. pp:13-18.
- Norma Oficial Mexicana (2000)** Que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. NOM-021-RECNAT-2000. 2a Ed.. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 89 p.
- Palma L D J, J D Cisneros (2000)** Plan de Uso Sustentable de los Suelos de Tabasco. Vol 1. Segunda Ed. ISPROTAB- FUPROTAB - Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Villahermosa, Tabasco México. 118 p.
- Ramírez S G, J C C Rodríguez (2003)** Tecnología para la Producción de Plátano en Tabasco. Fundación Produce Tabasco A.C. INI-FAP Produce. Villahermosa, Tabasco. 34 p.
- Ribón C M A, S G Salgado, D J L Palma, L C E Lagunes (2003)** Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. *Interciencia* 28 (6):154-159.
- Rodríguez C J C, A A Gil (1994)** Caracterización del suelo y tejido foliar en plantaciones de plátano de la región de la Sierra de Tabasco y norte de Chiapas. *In: Memoria de la Séptima Reunión Científica Forestal y Agropecuaria de Tabasco*. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos – Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Villahermosa, Tabasco. pp:21-26.
- Salazar R, V Jiménez (1988)** Comportamiento del *Eucalyptus deglupta* en Costa Rica. Turrialba, Costa, Rica. CATIE. Silvoenergía No. 27. 4 p.
- Salgado G S, D J L Palma, J D Cisneros (1999)** Manual de Procedimientos para Muestreo de Suelos, Plantas y Aguas e Interpretación en Cultivos Tropicales. ISPROTAB-Colegio de Postgraduados- Campus Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 76 p.