Agronomía Costarricense 23(1): 77-87. 1999

CRECIMIENTO DE LA PARTE AEREA Y RADICULAR DE PLANTULAS DE *Enterolobium cyclocarpum* (GUANACASTE), CIUDAD COLON, COSTA RICA[1]

José Francisco Di Stéfano[2]/, Luis Alberto Fournier**

RESUMEN

Durante 2 años se estudió el crecimiento y el contenido de nutrimentos del vástago y raíz de plántulas de guanacaste en la zona del vida del Premontano Húmedo, en bolsas o directamente en la parcela, ambas con el mismo suelo (Inceptisol) y condiciones microclimáticas. Se extrajeron 5 plantas por tratamiento mensual o bimensualmente. Las tasas de crecimiento promedio máximas en altura y diámetro basal fueron de 5.7 y 0.09 cm/mes, respectivamente, con una acumulación de biomasa total de 4.7 g/planta de un año. Estos disminuyeron durante el periodo seco. Se observó una mayor supervivencia y mejor desarrollo en las plántulas que crecieron en bolsas comparadas con aquéllas sembradas en el suelo directamente. En éste último grupo se presentó una severa reducción del sistema radicular. Se detectó una correlación lineal positiva entre la precipitación caída 30 días antes del muestreo y el crecimiento del vástago, pero una negativa entre la humedad del suelo y el crecimiento radicular de las plántulas en las bolsas. Se observó un abundante número de nódulos durante la estación lluviosa especialmente en las plántulas de las bolsas, los cuales tendieron a desaparecer en el periodo seco. Además, se detectó que algunas plántulas con al menos 8 meses de edad, lograron producir un engrosamiento de sus raíces principales, parecidos a una zanahoria. Se determinó una menor concentración de N, P y K, comparado con aquellas encontradas en semillas recién

ABSTRACT

Stem and root growth of *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste), seedlings in Ciudad Colón, Costa Rica. For two years, growth and nutrient content of the stems and roots of guanacaste seedlings were investigated in a humid premontane life zone, directly in the field or in black plastic bags, both with the same soil (Inceptisol) and microclimatic conditions. Five seedlings were extracted/treatment, bi- or monthly. Maximum average growth rates in height and basal diameter were 5.7 and 0.09 cm/month, respectively, with a biomass accumulation of 4.7 g/plant a year old. These values decreased during the dry period. Better survival and growth performance were observed in the seedlings growing in bags when compared with those planted directly in the field. A decrease in the root system was detected in this last group. A positive linear correlation was determined between the amount of rain fallen 30 days before sampling, and the stem growth, but it was negative between the soil moisture and root growth of the seedlings in the bags. An abundant number of nodules was observed during the wet season especially on plants growing in bags. They disappeared when the dry season began. Also it was determined that some seedlings at least 8 months old, developed an enlargment of their roots similar in appearance to that of a carrot. The concentration of N, P and K tended to be lower when compared to those found in the recently germinated seeds. These de-

1/ Recibido para publicación el 7 de octubre de 1998.

2/ Autor para correspondencia.

* Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

germinadas. Además, estos nutrimentos tendieron a decrecer en el tiempo conforme aumentaba a biomasa de las plantas. Se discuten otros nutrimentos.

cresed over time as the biomass of the plants increased. Other nutrients are discussed in the article.

INTRODUCCION

El guanacaste es una especie de uso múltiple. Se distribuye desde México hasta el norte de Sur América en elevaciones bajas a medianas (en Costa Rica hasta unos 1000 msnm) con climas secos a húmedos. Se considera que crece bien en sitios con precipitaciones entre los 750 y 2000 mm, en suelos con buen drenaje, y temperaturas promedio entre los 23 y 28°C (Holdridge et al. 1997, Francis 1988, Jansen 1983). Puede llegar a alcanzar alturas mayores de 30 m y diámetros de 2.5 m.

Es un árbol de crecimiento rápido y puede establecerse en ambientes alterados. Fournier (1992), determinó que esta especie llegó a ser dominante en un bosque secundario de Ciudad Colón, en donde obtuvo un DAP (diámetro a la altura del pecho) promedio de 83 cm, y una altura y ancho de copa de aproximadamente 20 m, luego de 32 años. Jansen (1983), indica que árboles de 1 m de DAP pueden tener apenas 60 años. En una plantación con 33 árboles de 3 procedencias, establecida en Tabarcia de Mora, Bertsch (1985) estimó una altura promedio de 2.92 m y un DAP de 2.96 cm luego de 4 años de establecidas. Sin embargo, observó una alta variación en parte explicada por las procedencias.

Su madera es muy apreciada, liviana (peso específico entre 0.35 y 0.6), fácil de trabajar, resistente a la pudrición y al ataque de insectos (Molina et al. 1996, Carpio 1992). Además, es capaz de fijar nitrógeno atmosférico y ha sido usada en sistemas agroforestales como sombra para café y en pastizales (Montagnini 1992).

A pesar de su importancia, continúa como una especie poco estudiada desde un punto de vista autoecológico y silvicultural, lo que podría impidir un uso más amplio en programas agroforestales o de plantaciones comerciales (Nichols y González 1992).

Por ejemplo, poco se conoce sobre los efectos que tiene la calidad y cantidad del espacio radicular en el crecimiento del vástago y la raíz de las plántulas, y su posterior desempeño cuando éstas son transplantadas.

El desarrollo, tamaño y forma de las raíces son controlados no solo por el genotipo de la planta, sino por el ambiente y las prácticas de manejo aplicadas (Harris 1983). Estos últimos aspectos son de especial importancia en aquellas plantas cuyas semillas se siembran en macetas. Un sistema radicular bien desarrollado es esencial para una buena supervivencia y crecimiento vigoroso posterior de la planta cuando ésta es transplantada (Harris 1983), especialmente en ambientes de poca fertilidad o con problemas de agua.

En una revisión efectuada por Matthes-Sears y Larson (1999) con base en especies tanto agrícolas como forestales, se determinó que el crecimiento general de las plantas disminuye cuando las raíces se desarrollan en espacios reducidos, aún en condiciones no limitantes de nutrimentos, aeración y agua. Similares resultados se han obtenido con almácigos de café *(Coffea arabica)* en bolsas de polietileno (Carvajal 1984).

Hanson et al. (1987) determinaron que no solo el volumen sino la forma del recipiente (relación superficie con profundidad) pueden tener influencia sobre el crecimiento de las plántulas. Con *Quercus rubra* (la cual produce una raíz principal grande), encontraron que el número de pulsos de crecimiento y de hojas/planta aumentó en macetas con grandes diámetros y volúmenes. También se vio afectado el peso de las raíces secundarias. Por otra parte, la mayor longitud de la raíz principal correspondió con las macetas más largas.

Se ha determinado que puede existir un impacto importante sobre el desempeño de la planta una vez establecida en el campo, el cual depende del tipo de almácigo y la fecha de transplante. Para café, se obtuvo rendimientos superiores de hasta 12.5% más en plántulas en bolsa trasplantadas a los 6 meses, comparados con aquellos que fueron trasplantados en fechas posteriores o se establecieron en almácigos al suelo (Rodríguez y Obando 1997). Por otra parte, Sundaram (1972), en 2 de 3 sitios experimentales, determinó más bien que plantas de cacao (*Theobroma* cacao) de 1 a 2 años sembradas directamente en el campo, fueron cerca de 2 veces más grandes en términos de área del tallo a 25 cm del suelo, que las plantas de la misma edad sembradas en almácigo con bolsas de polietileno, y trasplantadas a los 5 meses.

Estudios con *Thuja occidentalis*, demostraron que si bien la supervivencia tendió a ser mejor en las macetas más grandes, el crecimiento de la raíz principal tendió a ser mayor en las aquellas de menor tamaño, mientras que la elongación de las raíces secundarias no se vio afectada (Matthes-Sears y Larson 1999). Los autores determinaron que la superviencia de la especie en ambientes laderosos rocosos, depende primeramente de sitios con un adecuado volumen de suelo para su enraizamiento, que por inteacciones competitivas con otros individuos.

Dado que las etapas iniciales del ciclo de vida de las plantas son las más críticas, los objetivos del presente estudio fueron evaluar las tasas de crecimiento del vástago y raíz, la formación de nódulos y el desarrollo inicial de plántulas de guanacaste en la la zona de vida del premontano húmedo tropical (*sensu* Holdridge), límite superior de la distribución natural de la especie, bajo 2 condiciones de espacio radicular disponible.

MATERIALES Y METODOS

La prueba se realizó entre 1994 y 1996 en la finca San Luis, en Ciudad Colón de Mora, a aproximadamente 25 km de San José, y 750 msnm. La precipitación y temperatura *in situ* (Figuras 1 y 2) indican que 1995 fue más lluvioso y frío que los otros 2 años, pero durante 1996 hubo una mayor cantidad de agua durante la estación seca.

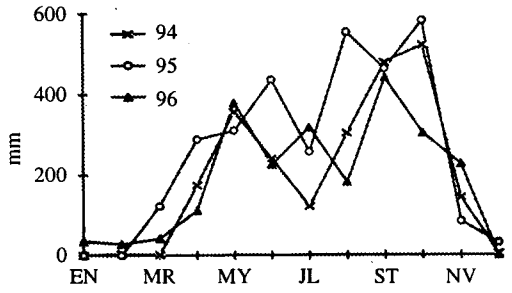

Fig. 1. Precipitación durante 3 años en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora, C. R. (Datos no publicados, Luis A. Fournier).

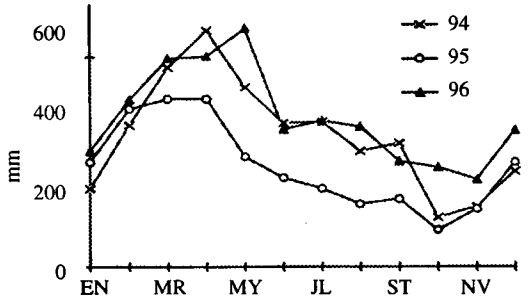

Fig. 2. Temperatura promedio durante 3 años en la finca San Luis, Ciudad Colón de Mora, C. R. (Datos no publicados, Luis A. Fournier).

En 2 años consecutivos, se colectaron 2 lotes de plántulas regeneradas naturalmente de al menos 3 árboles dispersos dentro del cafetal. Las del primer año eran recién germinadas con aproximadamente 3 cm de altura y sin nódulos. El largo y ancho mayor de los cotiledones fue de 22.2 (DE=2.7) y 8.5 (DE=1.2) mm y un peso seco (a 70°C hasta peso constante) promedio de 1.15 g (sin la cubierta seminal). En este año se colectaron un total 120 individuos.

En mayo de 1994 (inicio de la época lluviosa) de este primer grupo se plantó la mitad en bolsas de polietileno negras (aproximadamente 11 cm de ancho x 24 cm de largo), mientras que

la otra mitad directamente en una parcela que antes había sido sembrada con café, a un distanciamiento de 25 x 25 cm. El sitio presentaba una sombra parcial leve por la presencia de algunos árboles alrededor.

Para ambos tratamientos (bolsa, campo, ubicados uno a la par del otro), las plántulas crecieron con el mismo suelo (coluvio-aluvial, Inceptisol) y condiciones microambientales. Estos se tuvieron que regar con agua corriente una vez por semana durante el periodo seco, para evitar que las plantas de las bolsas murieran por estrés hídrico.

Para finales de abril de 1995, se sembró el segundo lote de 130 individuos sin nódulos (70 en parcela) en el mismo sitio y condiciones del experimento anterior, excepto que las plántulas eran más grandes (16.5, DE=3.3 cm de altura) debido a una temprana germinación (cayeron fuertes lluvias un mes antes, Figura 1), y el suelo de la parcela, se aflojó a una profundidad de aprox. 20 cm.

Cada 30 a 60 días se midió la humedad del suelo (una muestra compuesta de 5 porciones/tratamiento) y se extrajeron al azar 5 plántulas/tratamiento para determinar la altura, diámetro a la base, longitud de la raíz principal, presencia de nódulos, la formación de la raíz "zanahoria" (engrosamiento de la raíz primaria), y la biomasa (peso seco constante a 70°C) luego de haber lavado la plántula con agua corriente para eliminar el máximo de polvo o suelo adherido. Con este último componente se hizo una muestra compuesta (año I + II /tratamiento/fecha), para efectuar un análisis de nutrimentos del vástago y la raíz según los procedimientos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Además, se tomó una muestra compuesta (n=5) del suelo utilizado y de plántulas recién nacidas del primer año (n=30) para un análisis de nutrimentos comparativo general.

A través de pruebas "t" se comparó el crecimiento de las plántulas de la parcela contra las de las bolsas, por fecha, y se efectuaron correlaciones simples de Pearson con probabilidades de Bonferroni. Para las comparaciones de nutrimentos en la biomasa (promedios no transformados a través del tiempo), se realizó la prueba "U" de Mann-Whitney. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa Systat 5.0 para Windows® (Wilkinson 1990).

Para verificar la formación de la raíz "zanahoria", en abril de 1996 se extrajeron 38 plántulas nacidas en 1995 bajo un árbol de guanacaste dentro del cafetal, a aproximádamente 50 m de la prueba anterior.

RESULTADOS Y DISCUSION

Supervivencia de las plántulas

La supervivencia (estimada con respecto a las plantadas al inicio, menos las utilizadas en el análisis) fue más alta en las bolsas comparada con las plantadas directamente en la parcela. Los mayores pulsos de mortalidad se presentaron durante los primeros meses, hacia el final de la época lluviosa e inicio de la seca, y en aquéllas sembradas en la parcela (Cuadro 1).

Se esperaba una mayor supervivencia en las plántulas sembradas directamente en la parcela, debido a que aparentemente no tenían ninguna restricción en cuanto al volumen de suelo que podían utilizar para su crecimiento radicular.

Nódulos

Los primeros nódulos se observaron a los 2 meses de sembradas las plántulas. Fueron más abundantes en el periodo lluvioso y en las plántulas en las bolsas (Cuadro 1). Se alcanzó un máximo promedio de 46 nódulos/planta en octubre de 1995. Este disminuyó durante la época seca y los pocos nódulos presentes estaban huecos o deformes. Al parecer estos se renuevan año a año donde la época lluviosa es la más favorable para su crecimiento y desarrollo. No se logró encontrar ninguna correlación significativa debido a la fuerte variabilidad.

En un estudio con estacas de *Gliricidia sepium* (madero negro) de 3 años en el mismo sitio y suelo, también se observó una mayor producción de nódulos en la época lluviosa entre mayo a junio, en el periodo de mayor brotación foliar de la especie (Di Stéfano et al. 1997). Este decreció en los meses siguientes hasta desaparecer en la estación seca.

Cuadro 1. Contenido de humedad del suelo (CH); supervivencia (SUP); cantidad relativa (CN), número promedio (PN, desviación estándar entre parentesis) y porcentaje de plántulas de guanacaste con nódulos (N); y porcentaje de plántulas con raíz "zanahoria" (RZ), Ciudad Colón, Costa Rica.

					Bolsas						
		1994-1995					1995-1996				
MES	MDP[1]	CH %	SUP %	CN	N %	RZ %	CH %	SUP %	PN	N %	RZ %
JN-JL	2	47	92	+	20	0	58	95	26(12)	100	0
AG	4	55	78	+	60	0					
OC	6	66	78	+++	100	0	67	80	46(28)	100	0
NV	7	82	62	++	80	0					
DI-EN	8	19	53	++	60	20	45	35	11(9)	100	20
FB	10	25	34	0	0	0	47	16	13(11)	100	40
AB	12	52	23	+	50	50	77	10	4(3)	80	40
MY	13	67	12	+	100	100					
					Parcela						
		1994-1995					1995-1996				
JN-JL	2	59	88	+	60	0	61	76	7(6)	100	0
AG	4	51	42	+	60	0					
OC	6	52	34	+	40	0	72	24	1(2)	40	0
NV	7	52	16	++	80	0					
DI-EN	8	37	5	+	20	0	40	10	2(4)	0	20

1. MDP=meses después de la plantación.

Raíz "zanahoria"

Las plántulas desarrollaron una raíz primaria. Luego de 8 meses de establecidas, se observó el inicio de un engrosamiento parecido a una zanahoria (Figura 3). Este fue más evidente en las plántulas de las bolsas (Cuadro 1). Posiblemente sea una estrategia temprana para soportar épocas secas o para recuperarse con mayor facilidad de partes aéreas dañadas (Rodgers et al. 1995, Gerhardt y Fredriksson 1995).

Con respecto a las plántulas que crecieron naturalmente dentro de un cafetal, un 29% poseía la característica. Éstas presentaron 36.6 cm (DE=11.7) de altura, 0.44 cm (DE=0.08) de diámetro basal, 15.0 cm (DE=5.4) de longitud de la raíz principal, 1.37 g (DE=0.96) de biomasa total seca, y una relación biomasa aérea-radicular de 2.7 (DE=1.08). El grosor de la parte más ancha de la raíz "zanahoria" promedio fue de 0.64 cm (DE=0.07). No se detectaron nódulos probablemente debido a la fertilización nitrogenada que se aplica al cafetal (ver Van Kesel y Roskoski 1981) y a que se colectaron al final de la época seca.

Altura y diámetro basal del vástago, y longitud de la raíz

La máxima altura promedio fue menor a 40 cm luego de un año de crecimiento (Cuadro 2). Bertsch (1985) determinó, en un vivero de Tres Ríos, una altura entre 9 y 18 cm con unas 3 a 4 hojas, en plántulas de 6 meses.

Las diferencias en altura no fueron significativas ($P>0.15$) entre tratamientos en ninguno de los 2 años analizados. Sin embargo, se observó un mayor vigor en las plántulas de las bolsas.

En los meses secos (a pesar del riego parcial) se presentó una disminución de la altura (un poco más tardía en 1996 por la caída de varios aguaceros en los primeros meses del año, Figura 1), debido a que la porción apical tendió a secarse

Fig. 3. Presencia de la raíz "zanahoria" en plántulas de guanacaste de 8 meses de edad. Ciudad Colón, C. R.

(las que sobrevivieron, luego desarrollaron brotes laterales). Se detectó una correlación entre la precipitación caída 30 días antes del muestreo, y la tasa de crecimiento en altura de las plántulas de las bolsas (r=0.53, P=0.06).

El diámetro basal máximo promedio fue de 6 mm en mayo de 1995 (Cuadro 2). Tendió a ser menor en las plantas de la parcela, pero no fue consistente a través del tiempo. Las diferencias fueron significativas solo en noviembre de 1994 (P=0.02) y octubre 1995 (P=0.04). Se encontró una correlación entre la tasa de crecimiento diametral y la precipitación caída 30 días antes del muestreo (r=0.46, P=0.11)

La raíz principal fue más larga en las plantas de las bolsas que en las del campo. Esta fue significativamente diferente en octubre (P=0.001), noviembre 1994 (P=0.09), enero, junio-julio y octubre de 1995 (P=0.02, Cuadro 2). El desarrollo general de las raíces secundarias fue también mucho más amplio en las bolsas (lo que facilitó el desarrollo de una mayor cantidad de nódulos). Se presume que las plantas del campo pudieron ser atacadas por jobotos (*Phyllophaga* sp., lo cual ha sido problemático para otras especies forestales, Hilje et al. 1991), dado que el suelo no estaba compactado, poseía la misma concentración de nutrimentos, y presentaba un mejor drenaje.

Para las plántulas en las bolsas, la longitud de la raíz continuó aumentando durante la primera parte de la estación seca, pero bajó ligeramente durante abril y mayo (Cuadro 2). Se encontró una correlación negativa entre la humedad del suelo y la tasa de crecimiento longitudinal de las raíces de las plántulas de las bolsas (r=-0.51, P=0.11). Francis (1988) señala que la especie no es tolerante a suelos mal drenados y se ha demostrado que la falta de oxígeno en el suelo puede afectar el desarrollo de las mismas (ver Hanson et al. 1987, Matthes-Sears y Larson 1999). Se observó un enrollamiento de la raíz en las bolsas para los últimos muestreos.

Biomasa

Se acumuló un máximo de biomasa total promedio de 4.7 g en diciembre 94-enero 95, con variabilidades altas (Cuadro 2). Esta disminuyó en la estación seca dado que las plántulas botaron sus hojas, se secó y perdió parte del tallo principal, y mermó el crecimiento radicular.

Se encontró una mayor cantidad de biomasa en las plántulas de la bolsa las cuales fueron significativas comparadas con las de la parcela, en noviembre 1994 tanto para la aérea (P=0.02) como la radicular (P=0.001), y en octubre 1995 solo para la radicular (P=0.003). Además, se detectó una correlación significativa entre la tasa de acumulación de biomasa aérea y el contenido de humedad del suelo (r=0.65, P=0.03), pero negativa entre este mismo factor y la tasa de acumulación de la biomasa radicular (r=-0.51, P=0.10), similar a lo hallado con la longitud.

La relación biomasa aérea y radicular decreció en el tiempo (Cuadro 2). El valor bajó cerca de 3 unidades, especialmente para las plántulas en las bolsas, debido a la pérdida de hojas y la parte apical del tallo durante la época seca, y a la presencia de la raíz "zanahoria". Esta tendencia ha sido informada para otras especies, como en *Swietenia macrophylla* (caoba) en Guanacaste (Gerhardt y Fredriksson 1995), señalándose la importancia de este índice para determinar la capacidad de la especie para resistir condiciones de estrés hídrico.

Cuadro 2. Crecimiento de plántulas de guanacaste en altura (HT), diámetro basal (DB), raíz (LR), biomasa aérea (BA) y radicular (BR) en bolsas y directamente en la parcela, Ciudad Colón, Costa Rica.

	HT cm		DB mm		LR cm		BA g		BR g	
Mes/año	94-95	95-96	94-95	95-96	94-95	95-96	94-95	95-96	94-95	95-96
Bolsa										
JN-JL	16.5	21.4	2.6	3.5	12.6	18.5	0.35	0.56	0.12	0.18
	(5.2)	(4.9)	(0.4)	(0.6)	(8.7)	(2.2)	(0.23)	(0.15)	(0.09)	(0.06)
AG	22.0		3.7		18.4		0.78		0.26	
	(5.6)		(0.5)		(12.3)		(0.44)		(0.18)	
OC	24.8	30.6	4.3	4.0	24.1	18.6	1.08	0.62	0.37	0.24
	(5.3)	(9.2)	(0.9)	(0.6)	(4.4)	(6.2)	(0.92)	(0.32)	(0.36)	(0.08)
NV	35.9		5.5		21.4		2.63		1.28	
	(10.3)		(0.1)		(6.3)		(1.40)		(0.40)	
DI-EN	27.0	35.4	4.7	4.2	27.7	25.5	1.90	0.93	2.80	0.35
	(6.0)	(2.1)	(1.8)	(0.3)	(7.2)	(2.2)	(2.30)	(0.03)	(4.80)	(0.20)
FB	27.1	38.9	4.6	5.1	26.2	26.4	1.09	1.37	0.78	0.85
	(9.1)	(10.0)	(1.2)	(1.4)	(8.4)	(5.9)	(0.70)	(0.14)	(0.59)	(0.71)
AB	29.8	32.2	5.2	4.7	21.9	23.8	1.65	1.21	1.44	0.77
	(10.4)	(9.3)	(0.9)	(1.3)	(3.5)	(7.8)	(0.92)	(0.58)	(1.35)	(0.67)
MY	35.0		6.0		21.0		2.42		1.42	
	(6.4)		(1.3)		(5.6)		(0.60)		(0.69)	
Parcela										
JN-JL	21.6	24.2	3.0	3.4	7.2	8.0	0.67	0.43	0.13	0.10
	(5.0)	(4.1)	(0.3)	(0.1)	(1.8)	(2.7)	(0.38)	(0.16)	(0.06)	(0.05)
AG	22.9		3.3		14.7		0.47		0.15	
	(6.4)		(0.5)		(4.4)		(0.30)		(0.05)	
OC	27.7	29.2	4.0	3.2	5.4	8.1	0.55	0.42	0.16	0.09
	(7.9)	(4.1)	(0.4)	(0.3)	(1.0)	(4.4)	(0.47)	(0.09)	(0.12)	(0.03)
NV	28.8		4.1		13.7		0.57		0.23	
	(9.8)		(0.2)		(6.5)		(0.20)		(0.03)	
DI-EN	28.3	30.4	4.3	4.2	7.5	22.3	0.70	0.87	0.25	0.42
	(1.1)	(6.3)	(1.0)	(1.0)	(4.3)	(15.3)	(0.07)	(0.65)	(0.07)	(0.32)

Nutrimentos

Las propiedades químicas del suelo presentaron condiciones medias a óptimas desde el punto de vista agronómico (Cuadro 3, Bertsch 1986), excepto el Fe que presentó valores muy altos. El pH fue de 5.6.

La concentración de N en las plántulas, tendió a decrecer en el tiempo, la cual fue más marcada en aquellas de las bolsas (Cuadro 3). Si se compara con la concentración de las semillas recién nacidas, la diferencia era al menos 4 unidades menor. La máxima cantidad acumulada en la biomasa fue de 57 mg N/planta en noviembre en las bolsas, a los 7 meses después de plantadas (MDP), un 68% en el vástago. Las semillas recién nacidas contenían 89 mg, lo que sugiere que ocurrió una fuerte pérdida de este elemento a lo largo de su crecimiento inicial. El máximo contenido en las plántulas del campo fue de 22.2 mg en diciembre (8 MDP), el 39% del encontrado en las bolsas.

Con respecto al P, también decreció en el tiempo (Cuadro 3), bajando a aproximadamente 0.13% a partir de diciembre. La diferencia es más

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en plántulas de guanacaste en bolsas y directamente en la parcela, de semillas recién nacidas y el suelo, Ciudad Colón, Costa Rica.

Mes	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn
			%				mg/kg		
Bolsa vástago									
JN-JL	2.66	0.24	0.55	0.43	1.57	481	10	25	48
AG	2.32	0.20	0.69	0.64	1.26	298	9	24	42
OC	1.84	0.17	0.58	0.46	1.46	480	10	51	54
NV	1.47	0.18	0.59	0.42	1.21	312	9	26	52
DI-EN	1.68	0.14	0.49	0.48	1.16	368	9	23	62
FB	1.64	0.16	0.45	0.35	1.14	396	12	270	120
AB	1.55	0.12	0.56	0.49	0.79	250	9	21	27
MY	1.62	0.12	0.53	0.40	0.96	302	8	17	23
Prom.	1.85	0.17	0.56	0.46	1.19	360.9	9.5	57.1	53.5
Bolsa raíz									
JN-JL	3.03	0.19	0.55	0.30	1.32	1000	12	22	33
AG	2.75	0.17	0.54	0.37	1.32	580	10	22	18
OC	1.89	0.16	0.60	0.35	1.28	658	34	33	30
NV	1.42	0.15	0.47	0.30	0.96	425	19	16	22
DI-EN	1.26	0.16	0.4	0.29	0.99	515	10	16	26
FB	1.87	0.12	0.58	0.33	0.93	158	15	23	29
AB	1.68	0.13	0.43	0.30	0.72	923	10	17	26
MY	1.55	0.13	0.56	0.33	0.90	905	10	19	28
Prom.	1.93	0.15	0.52	0.32	1.05	645.5	15	21	26.5
Parcela vástago									
JN-JL	1.91	0.23	0.44	0.32	1.40	540	9	27	44
AG	2.11	0.17	0.58	0.35	1.64	465	9	18	56
OC	1.67	0.05	0.63	0.29	1.60	266	10	20	37
NV	1.56	0.14	0.61	0.30	1.48	352	9	19	35
DI-EN	1.78	0.15	0.74	0.49	1.60	448	9	23	54
Prom.	1.81	0.15	0.6	0.35	1.54	414.2	9.2	21.4	45.2
Parcela raíz									
JN-JL	1.83	0.25	0.64	0.27	1.64	1720	30	34	36
AG	1.39	0.14	0.74	0.34	1.33	2100	24	22	50
OC	2.28	0.12	0.76	0.30	1.56	1300	10	21	39
NV	2.00	0.14	1.00	0.39	1.19	2050	10	33	48
DI-EN	2.15	0.18	0.75	0.45	1.62	970	10	24	48
Prom.	1.93	0.17	0.78	0.35	1.47	1628	16.8	26.8	44.2
Semillas recién nacidas									
AB	7.76	0.71	0.19	0.4	2.87	196	24	44	27
Suelo									
	%	mg/L		cmol(+)/L			mg/L		
AB	0.55	11.6	9.4	2.1	0.44	235	15.3	2.6	33

alta cuando se compara con las semillas recién nacidas (de 0.5 a 0.6 unidades menos). La máxima cantidad se acumuló en las plántulas de la bolsa en noviembre (6.7 mg/planta, un 70% almacenado en el vástago), 3.5 veces superior al máximo encontrado (diciembre-enero) en las del campo, pero aproximadamente 1.5 mg menos que el almacenado en las semillas recién nacidas.

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en plántulas de guanacaste en bolsas y directamente en la parcela, de semillas recién nacidas y el suelo, Ciudad Colón, Costa Rica.

Mes	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn
	%					mg/kg			
Bolsa vástago									
JN-JL	2.66	0.24	0.55	0.43	1.57	481	10	25	48
AG	2.32	0.20	0.69	0.64	1.26	298	9	24	42
OC	1.84	0.17	0.58	0.46	1.46	480	10	51	54
NV	1.47	0.18	0.59	0.42	1.21	312	9	26	52
DI-EN	1.68	0.14	0.49	0.48	1.16	368	9	23	62
FB	1.64	0.16	0.45	0.35	1.14	396	12	270	120
AB	1.55	0.12	0.56	0.49	0.79	250	9	21	27
MY	1.62	0.12	0.53	0.40	0.96	302	8	17	23
Prom.	1.85	0.17	0.56	0.46	1.19	360.9	9.5	57.1	53.5
Bolsa raíz									
JN-JL	3.03	0.19	0.55	0.30	1.32	1000	12	22	33
AG	2.75	0.17	0.54	0.37	1.32	580	10	22	18
OC	1.89	0.16	0.60	0.35	1.28	658	34	33	30
NV	1.42	0.15	0.47	0.30	0.96	425	19	16	22
DI-EN	1.26	0.16	0.4	0.29	0.99	515	10	16	26
FB	1.87	0.12	0.58	0.33	0.93	158	15	23	29
AB	1.68	0.13	0.43	0.30	0.72	923	10	17	26
MY	1.55	0.13	0.56	0.33	0.90	905	10	19	28
Prom.	1.93	0.15	0.52	0.32	1.05	645.5	15	21	26.5
Parcela vástago									
JN-JL	1.91	0.23	0.44	0.32	1.40	540	9	27	44
AG	2.11	0.17	0.58	0.35	1.64	465	9	18	56
OC	1.67	0.05	0.63	0.29	1.60	266	10	20	37
NV	1.56	0.14	0.61	0.30	1.48	352	9	19	35
DI-EN	1.78	0.15	0.74	0.49	1.60	448	9	23	54
Prom.	1.81	0.15	0.6	0.35	1.54	414.2	9.2	21.4	45.2
Parcela raíz									
JN-JL	1.83	0.25	0.64	0.27	1.64	1720	30	34	36
AG	1.39	0.14	0.74	0.34	1.33	2100	24	22	50
OC	2.28	0.12	0.76	0.30	1.56	1300	10	21	39
NV	2.00	0.14	1.00	0.39	1.19	2050	10	33	48
DI-EN	2.15	0.18	0.75	0.45	1.62	970	10	24	48
Prom.	1.93	0.17	0.78	0.35	1.47	1628	16.8	26.8	44.2
Semillas recién nacidas									
AB	7.76	0.71	0.19	0.4	2.87	196	24	44	27
Suelo									
	%	mg/L	cmol(+)/L			mg/L			
AB	0.55	11.6	9.4	2.1	0.44	235	15.3	2.6	33

alta cuando se compara con las semillas recién nacidas (de 0.5 a 0.6 unidades menos). La máxima cantidad se acumuló en las plántulas de la bolsa en noviembre (6.7 mg/planta, un 70% almacenado en el vástago), 3.5 veces superior al máximo encontrado (diciembre-enero) en las del campo, pero aproximadamente 1.5 mg menos que el almacenado en las semillas recién nacidas.

En cuanto al Ca, los valores más altos ocurrieron en las raíces del campo comparado con las de las bolsas (P=0.009), y con los vástagos del campo (P=0.02, Cuadro 3). Estos fueron al menos 1.4 veces mayores cuando se compara con las semillas recién nacidas. La máxima cantidad se observó en noviembre en las plantas de las bolsas (21.5 mg/planta, 72% en el vástago). Este fue 2.4 veces superior al máximo encontrado en las plantas del campo en diciembre-enero. Las semillas recién nacidas tenían un promedio de 2.2 mg.

En cuanto al Mg (Cuadro 3), el valor promedio más alto ocurrió en el vástago de las plantas en las bolsas, las cuales fueron significativas cuando se compararon con las raíces de la bolsa (P=0.001), y el vástago de las plantas de campo (P=0.08). La concentración en las semillas recién nacidas fue muy similar. La cantidad máxima acumulada fue de 14.9 mg/planta en las bolsas durante noviembre (un 74% en el vástago) y 2.7 veces mayor que el máximo obtenido en el campo en diciembre-enero.

El K también mostró una tendencia decreciente en el tiempo pero solo para las plántulas de las bolsas (pasó de aprox. 1.6 a 0.9%), mientras que en las de la parcela se mantuvo relativamente constante (Cuadro 3). Estas fueron cerca de la mitad o menos a la encontrada en las semillas recién nacidas. Las concentraciones más altas tendieron a ocurrir en el vástago y las raíces de las plantas del campo. Este fue significativo cuando se comparó con las del vástago y las raíces ($P \leq 0.05$) de la bolsa.

La cantidad máxima de K ocurrió, como en los casos anteriores, en las bolsas durante noviembre (44.1 mg/planta), 72% almacenado en el vástago. Los valores del campo fueron de solo 18.9 mg en diciembre-enero, mientras que en las semillas recién nacidas fue de 33 mg.

Se observó una muy alta concentración de Fe en las raíces del campo las cuales fueron significativamente diferentes con las de las bolsas (P=0.02, Cuadro 3). Además, hubo diferencias significativas ($P<0.02$) entre la concentración de las raíces y el vástago tanto en las plantas del campo como las de las bolsas, pero ésta pudo haber sido afectada por contaminación con suelo. Con respecto a las semillas recién nacidas, éstas poseían una concentración al menos 1.5 veces menor.

Para el caso del Cu, decreció en el tiempo en las raíces de las plántulas sembradas en el campo (Cuadro 3), la cual fue inicialmente muy parecida a la concentración encontrada en las semillas recién nacidas. Por otra parte, la concentración del vástago se mantuvo relativamente constante, y significativamente más baja con respecto a aquellas de las raíces (P=0.01).

Con respecto al Zn, las concentraciones fueron menores a la encontrada en las semillas. No mostró ninguna tendencia clara en el tiempo ni entre tratamientos (Cuadro 3). La mayoría osciló entre 15 y 35 unidades.

Finalmente, la concentración del Mn fue baja en las raíces de las plantas que crecieron en las bolsas (Cuadro 3), cuando se compara con la concentración del vástago o con las raíces de las plantas en el campo ($P<0.02$). Además, se observó un aumento en las plantas de la bolsa hasta febrero. Al comparar los valores de las plantas con aquellas de las semillas, las primeras tendieron a ser el doble.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados anteriores se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. La mortalidad fue alta al inicio del experimento y hacia el final de la época lluviosa y principios de la seca, en especial para las plantas sembradas directamente en el campo. Estas presentaron una importante reducción del sistema radicular posiblemente por ataques de herbívoros y por algún efecto tóxico de Fe.

2. A pesar de ubicarse en las mismas condiciones microclimáticas y crecer con en mismo tipo de suelo, las plántulas de la bolsa fueron las más vigorosas. Las máximas tasas de crecimiento promedio fueron de 5.7 y 0.09 cm/mes para la altura y el diámetro en la base, respectivamente, en noviembre-diciembre de 1994. La acumulación máxima de biomasa total fue de 4.7 g/planta. La longitud y la biomasa de la raíz parece que se afectaron por excesos de agua acumulada en la bolsa, no así el vástago.

3. Los efectos de la escasez de agua tendieron a manifestarse primero en el vástago que en las raíces en ambas condiciones de crecimiento. La relación BA/BR bajó en el tiempo, posiblemente como estrategia para soportar periodos largos de sequía y para recuperarse de ataques en el vástago. Al respecto, varias plántulas empezaron a desarrollar un engrosamiento de reserva en la raíz en forma temprana durante su crecimiento.

4. Los nódulos iniciaron su desarrollo antes de 2 meses de establecidas, fueron más abundantes en el periodo lluvioso y en las plántulas sembradas en las bolsas. En la época de verano, estos desaparecieron. La menor cantidad de las raíces de las plantas que crecieron en el campo, pudo haber afectado la aparición de nódulos.

5. Excepto para el Ca y Fe, los demás nutrimentos mostraron una menor o igual concentración cuando se compararon las plántulas con las semillas recién nacidas.

6. Para el caso del N, P, y K, las concentraciones decrecieron paulatinamente en el tiempo conforme fue aumentando la biomasa.

7. La mayor cantidad de nutrimentos tendió a almacenarse en el vástago (aunque hay mayores posibilidades de pérdida de raíces durante el muestreo) y en las plantas de las bolsas. Comparado con las cantidades almacenadas en las semillas recién nacidas, hubo un déficit marcado en el N, P y K, aunque éste último se recuperó al final del periodo de estudio.

AGRADECIMIENTO

Parcialmente financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

LITERATURA CITADA

BERTSCH, S. 1985. Germinación y crecimiento del guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.)Griseb.). Tesis de Lic. en Biología, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 68 p.

BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos en Costa Rica. Oficina de Publicaciones, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 78 p.

CARPIO, I.M. 1992. Maderas de Costa Rica. 150 especies forestales. Editorial Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 338 p.

CARVAJAL, J.F. 1984. Cafeto. Cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, Suiza. 254 p.

DI STEFANO, J.F.; FOURNIER, L.A.; MEJIA, T. 1997. Formación de nódulos en estacas recién establecidas de *Gliricidia sepium* (Fabaceae) en 3 suelos de Ciudad Colón, Costa Rica. Biol. Trop. 45:919-922.

FOURNIER, L.A.; HERRERA, M.E. 1985. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. "guanacaste", un árbol de importancia agroforestal. *In:* Segunda reunión del grupo de trabajo IUFRO agroforestería. Ed. por R. Russo. Del 24 al 28 de junio 1985. Resumen de ponencias No.8. Turrialba, Costa Rica.

FOURNIER, L.A. 1992. Establecimiento de pequeñas reservas mediante la regeneración natural y su importancia en el desarrollo. *In:* Plenarias del II Simposio ecología, turismo y municipio. Instituto Costarricense de Turismo, San José, Costa Rica. p. 12-11.

FRANCIS, J.K. 1988. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. SO-ITF-SM-15, Servicio Forestal del Depto. Agricultura de Estados Unidos, Instituto de Forestería Tropical, Río Piedras, Puerto Rico. 4 p.

GERHARDT, K.; FREDRIKSSON, D. 1995. Biomass allocation by broad-leaf mahogany seedlings, *Swietenia macrophylla* (King), in abandoned pasture and secundary dry forest in Guanacaste, Costa Rica. Biotropica 27:174-182.

HANSON, P.J.; DIXON, R.K.; DICKSON, R.E. 1987. Effect of container size and shape on the growth of northern red oak seedlings. HortScience 22: 1293-1295.

HARRIS, R.W. 1983. Arboriculture. Prentice-Hall, Inc. Nueva Jersey. 688 p.

HILJE, L.; ARAYA, C.; SCORZA, R. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Manual técnico No.4. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 262 p.

HOLDRIDGE, L.R.; POVEDA, L.J.; JIMENEZ, Q. 1997. Arboles de Costa Rica. Vol. 1. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica. 544 p.

JANSEN, D.H. (Edt.). 1983. Costa Rican Natural History. The University of Chicago Press, Chicago. 816 p.

MATTHES-SEARS, U; LARSON, D.W. 1999. Limitations to seedling growth and survival by the quantity and quality of rooting space: Implications for the establishment of *Thuja occidentalis* on cliff faces. Int. J. Plant Sci. 160: 122-128.

MOLINA, M.A.; BRENES, G.; MORALES, D. 1996. Descripción y viverización de 14 especies forestales nativas del bosque tropical seco. Editorial Esfera, Alajuela, Costa Rica. 91 p.

MONTAGNINI, F. 1992. Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. Organización de Estudios Tropicales, San José, Costa Rica. 621 p.

NICHOLS, D.; GONZALEZ, E. (Ed.). 1992. Especies nativas y exóticas para la reforestación en la zona sur de Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales-Universidad Estatal a Distancia, San José. 73 p.

RODGERS, H.L.; BRAKKE, M.P.; EWEL, J.J. 1995. Shoot damage effects on starch reserves of *Cedrela odorata*. Biotropica 27:71-77.

RODRÍGUEZ, O.M.; OBANDO, J.J. 1997. Evaluación de las edades para el transplante de almácigo de café (*Coffea arabica*) cultivar Caturra. pp. 141-146. *In*: Simposio Latinoamericano de Caficultura. Memorias XVIII. ICAFE-IICA/PROMECAFE, San José, C.R.

SUNDARAM, S. 1972. A comparison of direct seedling with transplanting of cocoa. Turrialba 22:354-357.

VAN KESSEL, CH.; ROSKOSKI J.P. 1981. Nodulation and nitrogen fixation by *Inga jinicuil*, a woody legume in coffee plantations. II. Effects of soil nutrients. Plant & Soil 59:207-215.

WILKINSON, L. 1990. SYSTAT: The System for Statistics. SYSTAT, Inc. Evanston, IL.