

Adaptación de una gramínea (c_4) y dos leguminosas (c_3) forrajeras a un Andisol ácido degradado de Colombia*

A. Gómez-Carabali**, I. M. Rao***, R. F. Beck† y M. Ortiz††

Introducción

Conrad (1983) considera que las adaptaciones de las plantas son cualidades heredables o modificaciones en estructura o procesos que incrementan la probabilidad de sobrevivir a un efecto de estrés ambiental. Así, especies distintas se adaptan a diferentes condiciones climáticas y edáficas; una especie que crece bien en una serie de condiciones puede morir en otra (Burt y Rotar, 1983). Las especies forrajeras tropicales se adaptan a suelos ácidos mediante varios mecanismos que les permiten contrarrestar las condiciones adversas de estos suelos (Ayarza, 1991; Rao et al., 1993, 1997). En trabajos realizados por el ICA (1987) y Ferrufino et al. (1985) se encontró que *Brachiaria humidicola* CIAT 679, *B. decumbens* CIAT 606, *B. dictyoneura* CIAT 6133, *Andropogon gayanus* CIAT 621 y *B. brizantha* CIAT 6780 creciendo en un Oxisol con 95% de saturación de aluminio rindieron significativamente más materia seca (MS) que *Panicum maximum* CIAT 604, *B. ruziziensis* CIAT 664, *B. radicans* CIAT 6020 y *B. mutica* CIAT 6047. Pizarro (1986) considera que *Centrosema macrocarpum*, especialmente aquellos ecotipos adaptados a tierras bajas en el norte de

América del Sur, tienen gran potencial de producción en suelos ácidos. Por otro lado, Miles y Lapointe (1992) consideran que la adaptación de *C. macrocarpum* a suelos con baja fertilidad es más pobre que otras leguminosas forrajeras promisorias. La leguminosa tropical *Arachis pintoii* CIAT 17434 se adapta bien a Oxisoles y Ultisoles ácidos de baja fertilidad.

Bajo las condiciones de zonas de ladera del norte del departamento del Cauca, Colombia, es frecuente encontrar varios sistemas de producción agrícola diversificada —yuca, hortalizas y frutales. También existe el sistema de ganadería extensiva de doble propósito (leche y carne). Las especies forrajeras que crecen en estos suelos son de baja productividad y calidad, entre ellas la más común es la grama nativa (*Paspalum notatum*). En ensayos preliminares en esta región, las leguminosas *A. pintoii* y *C. macrocarpum*, junto con la gramínea *B. dictyoneura*, mostraron ser promisorias.

El objetivo de este experimento fue evaluar las respuestas de adaptación en términos de los cambios en las características morfológicas de la parte aérea y el rendimiento de MS bajo dos niveles de fertilización de la gramínea *B. dictyoneura* CIAT 6133 y las leguminosas *C. macrocarpum* CIAT 5713 y *A. pintoii* CIAT 17434 creciendo solas y en asociación.

Materiales y métodos

Localización y suelos. El sitio experimental está localizado en Mondomo, departamento del Cauca (Colombia), en un área abandonada durante 3 años después de un cultivo de yuca, a 1500 m.s.n.m., a 2° 54' de latitud norte y 76° 34' de longitud oeste. La temperatura promedio anual es de 18 °C y la precipitación es de 1.800 mm que se distribuye en forma bimodal con máximos entre abril y mayo y entre octubre y noviembre. Esta parte de la cordillera de los Andes se caracteriza por una topografía quebrada e

* Trabajo realizado con el apoyo financiero del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS) y del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

** Ing. Agrónomo, Ph.D., Corporación Colombiana de Investigación Agrícola (CORPOICA), Grupo Pecuario, Apartado Aéreo 1301, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

*** Nutricionista de plantas, Ph.D., Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Proyecto Forrajes, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

† Profesor Asociado, Ph.D., New Mexico State University, Dept. of Range Sciences, Box 30003. 3I, Las Cruces, NM 88003, E.U.

†† Estadístico, Profesor Emerito, Ph.D., New Mexico State University, Box 30003, Dept 3130, Las Cruces, NM 88003, E.U.

Cuadro 1. **Características químicas del suelo en el sitio experimental. Mondomo, Cauca (Colombia).**

Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	N total (ppm)	MO (%)	P (ppm) (Bray II)	S	Cationes intercambiables (meq/100 g)					Sat. Al (%)
						Ca	Mg	K	Al	CIC	
0-20	4.5	1568	5.4	2.7	29.4	0.67	0.48	0.11	2.45	3.69	66
20-40	4.6	672	2.5	2.3	55.9	0.33	0.11	0.05	1.88	2.37	66
40-60	4.8	336	2.2	1.5	70.8	0.35	0.06	0.03	1.68	2.12	79
60-80	4.8	448	2.1	3.4	81.2	0.25	0.04	0.02	1.51	1.82	83
80-100	4.7	448	2.1	3.9	69.0	0.23	0.05	0.02	1.62	1.92	84

irregular, donde la pendiente y la deforestación para el establecimiento de explotaciones agrícola y ganadera ha favorecido la erosión y degradación de los suelos. Los suelos en el área son Typic Dystrandetps y Oxic Dystropets, con alta saturación de aluminio (60% o más), bajo pH (4.5-5.0) y bajo contenido de fósforo disponible (Cuadro 1).

Tratamientos. Se usaron dos niveles de fertilización: alto y bajo (Cuadro 2). El nivel bajo es el recomendado por el CIAT (1981) para el establecimiento de pasturas en suelos ácidos, mientras que el nivel alto es recomendado para el establecimiento de pasturas con cultivos (Rao et al., 1993). La fertilización se hizo a voleo antes de la siembra de las especies solas: *B. dictyoneura* CIAT 6133, *A. pintoii* CIAT 17434, *C. macrocarpum* CIAT 5713; y asociadas: *B. dictyoneura* + *A. pintoii*, *B. dictyoneura* + *C. macrocarpum*; además se incluyó para comparación la vegetación nativa (*Paspalum* spp., *Andropogon bicornis*, *Hyparrhenia rufa*, *Homolepis aturensis*, *Sida acuta* y *Melochia lupulina*) que creció espontáneamente. La preparación del suelo para la siembra se hizo mediante dos pases de arado de bueyes a través de la pendiente y el surcado se hizo en forma manual.

Cuadro 2. **Fertilización aplicada en el experimento. Mondomo, Cauca (Colombia).**

Elemento	Fuente	Composición (%)	Nivel de aplicación (kg/ha)	
			Bajo	Alto
P (P ₂ O ₅)	SPT ^a	45	20	50
K	KCl	60	20	50
Ca	CaI	30	25	50
Mg	MgO	36	20	40
Zn	ZnSO ₄	36	0	2
Cu	CuSO ₄	24	0	2
B	Na ₂ B ₄ O ₇ (Borax)	38	0	0.5
Mo	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	40	0	0.2

a. Superfosfato triple.

La unidad experimental medía 4 x 4 m y se dividió en cinco subparcelas. En cada subparcela se midió la producción de MS a 16, 29, 38 y 55 semanas después de la siembra. La materia verde total se separó en hojas y tallos para calcular la relación hoja:tallo. El área foliar se expresó como índice de área foliar/área de suelo (IAF, m²/m²). El área de las hojas se determinó en una muestra de 200 g de peso verde, usando un medidor automático de área foliar (Hayashi - dencoh. Co. Ltd-Japón. Model aac400). Una vez que estas muestras fueron secadas en horno a 60 °C por 48 h se calculó la conversión de peso seco de las hojas a área foliar.

Las evaluaciones de campo se realizaron entre el 30 de septiembre de 1991 y el 30 de diciembre de 1992. El último período de muestreo tuvo una duración de 6 semanas de rebrote, después de un corte de uniformización realizado el 10 de noviembre de 1992. Esto se hizo para observar la respuesta de la planta después de un prolongado período de crecimiento sin defoliación.

En el período de muestreo a 16, 29, 38 y 55 semanas después de la siembra, se empleó un diseño de parcelas sub-subdivididas, en el cual la parcela principal fue la especie y las subparcelas fueron los niveles de fertilización y la edad a la cosecha. El período de 6 semanas de rebrote fue analizado en un diseño de bloques completamente al azar. Cuando la prueba de 'F' fue significativa, se utilizó la diferencia mínima para separar los tratamientos diferentes (SAS, 1989).

Resultados y discusión

Producción de MS. La MS ha sido considerada como uno de los más importantes atributos de adaptación de plantas para la selección de especies promisorias en ambientes específicos (Rao et al., 1993; Toledo y Schultze-Kraft, 1982; William et al., 1976). En este estudio se presentaron diferencias significativas (P < 0.05) entre especies, niveles de fertilización y edad al corte. La interacción significativa especie x edad

demostró que las especies variaron diferentemente a través del experimento. *Brachiaria dictyoneura* fue la especie más productiva seguida por las especies en asociación. Por otro lado, *A. pintoii*, *C. macrocarpum* en monocultivo y la vegetación nativa fueron los menos productivos, respectivamente. En general, la producción de MS a través del tiempo experimental estuvo relacionada con el nivel de fertilidad en el suelo (Figura 1). Por ejemplo, en la primera cosecha (16 semanas después de la siembra), el promedio de rendimiento de MS de todas las especies fue de 0.53 t/ha cuando se aplicó el nivel bajo de fertilización y de 1.14 t/ha con el nivel alto. *Brachiaria dictyoneura* y la vegetación nativa presentaron la mayor producción de MS con el nivel alto de fertilización —2.22 y

2.08 t/ha, respectivamente. Con el aumento de la edad al corte, la producción de MS se incrementó en ambos niveles de fertilización hasta las 38 semanas, edad en la cual se presentó el rendimiento más alto para todas las especies. *Brachiaria dictyoneura* presentó el mayor rendimiento de MS (13.47 t/ha) a través del año cuando recibió el nivel alto de fertilización. Lo anterior se debió, probablemente, a que las plantas c_4 tienen una mayor tasa de crecimiento que las c_3 (Monteith, 1978). La ruta fotosintética y la estructura erectofila del manto foliar les dan a las gramíneas c_4 mayores tasas de crecimiento, comparadas con la estructura planofila de leguminosas c_3 (Fisher y Cruz, 1994; Jones, 1985). Esto explica la mejor adaptación de la gramínea en el sitio del ensayo, en comparación con la leguminosa. No obstante,

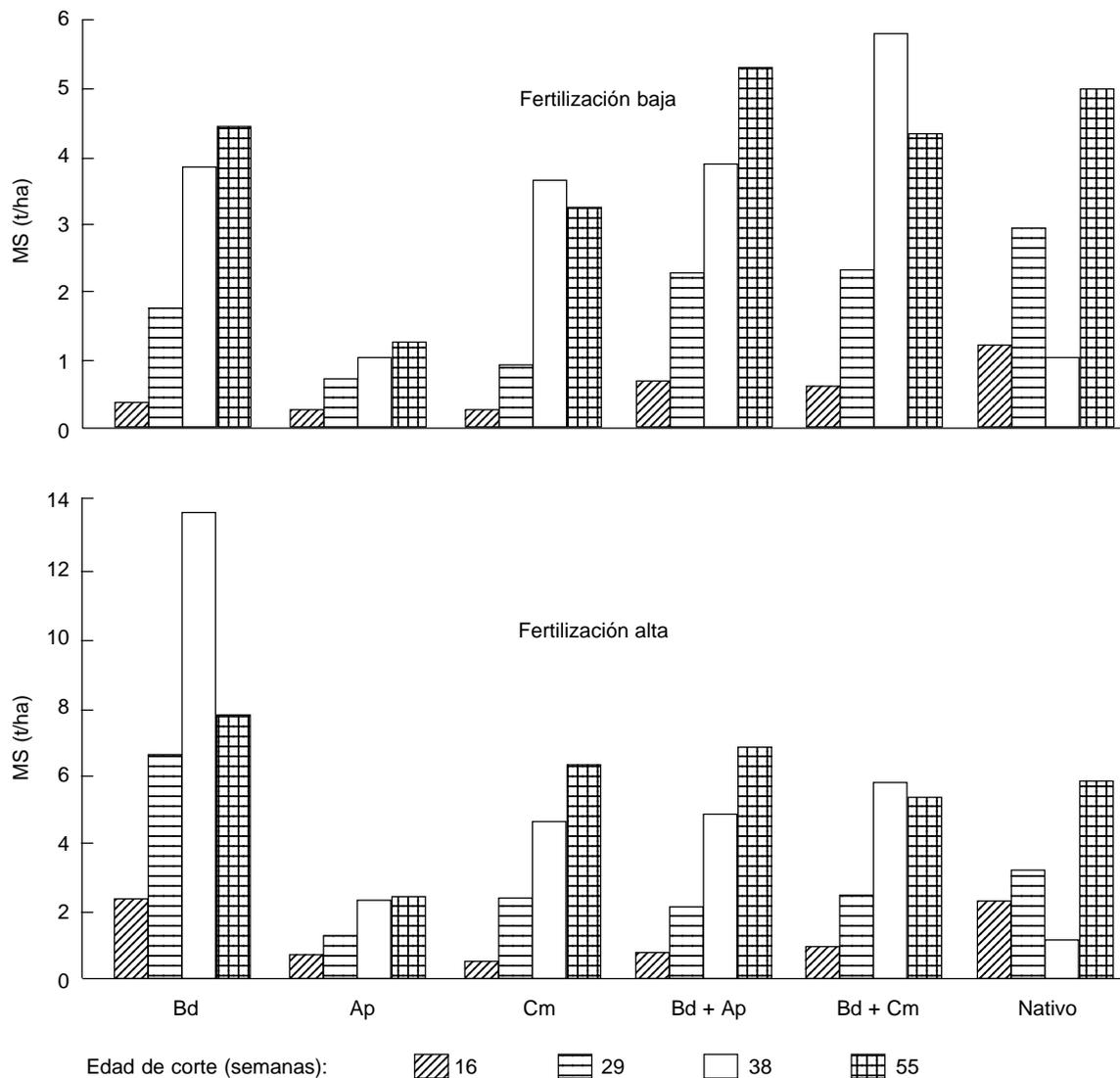


Figura 1. Producción de forraje de la gramínea (c_4) *Brachiaria dictyoneura* (Bd) CIAT 6133, y las leguminosas (c_3) *Arachis pintoii* (Ap) CIAT 17434 y *Centrosema macrocarpum* (Cm) CIAT 5713 solas y asociadas en niveles bajo y alto de fertilización. Mondomo, Cauca (Colombia). Nótese las diferencias en la escala Y.

Chapin et al. (1986) consideran que las bajas tasas de crecimiento son una característica de plantas adaptadas a hábitats infértiles y, a menudo, persisten aún cuando los nutrientes se adicionen artificialmente. Esto podría explicar, en parte, la buena adaptación al sitio experimental de *Arachis pintoii*, una leguminosa postrada que tiene una baja tasa de crecimiento. La vegetación nativa presentó el rendimiento más bajo de MS y al final del experimento la producción, en general, se redujo drásticamente. Esto probablemente se debió al proceso catabólico de respiración que causa una liberación de CO₂ con la consecuente reducción de peso (Gardner et al., 1985).

A las 55 semanas de edad, la gramínea presentó la mayor producción de MS (7.6 t/ha) en la fertilización alta, siendo este rendimiento similar al encontrado con *B. dictyoneura* en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia (ICA, 1987). *Arachis pintoii* en monocultivo fue la especie menos productiva; por el contrario, cuando se asoció con la gramínea presentó un excelente rendimiento de MS, tanto en nivel alto de fertilización (6.6 t/ha) como en el bajo (5.5 t/ha). Trenbath (1974) considera que los altos rendimientos en las pasturas asociadas se deben a la mayor eficiencia de utilización de luz por el manto foliar; en consecuencia, los resultados en este caso pueden ser atribuidos parcialmente al arreglo de las hojas de la gramínea erecta (*B. dictyoneura*) y de la leguminosa postrada (*A. pintoii*).

Area foliar. El IAF, además de la MS, es una de las mediciones más comunes en el análisis de crecimiento (Gardner et al., 1985; Rao et al., 1995). Aunque no se detectaron diferencias significativas relacionadas con el nivel de fertilización, sí se encontró que en las observaciones más tempranas (16 y 29 semanas), el IAF en el nivel de fertilización alto tendió a ser mayor que en el bajo.

Brachiaria dictyoneura presentó los valores más altos de IAF, en comparación con los demás materiales (Cuadro 3). *Centrosema macrocarpum* presentó mayor IAF que *A. pintoii*. Entre las asociaciones, *B. dictyoneura* + *C. macrocarpum* presentó mayor IAF que cuando la gramínea se asoció con *A. pintoii*.

La edad al corte fue uno de los factores que influyó en forma significativa en el IAF de las especies evaluadas. *Brachiaria dictyoneura* presentó un IAF de 6.61 a las 38 semanas después de la siembra, mientras que *A. pintoii* a la misma edad presentó un IAF de 1.04. La correlación (Cuadro 4) entre IAF y MS fue alta para todas las especies en ambos niveles de fertilización. Lo anterior concuerda con los hallazgos de Jones (1985), Hunt (1978) y Donald y Black (1958).

Relación hoja:tallo. Esta determinación es importante para estudiar las características individuales de las especies y conocer el manejo apropiado de ellas (Edwards y Bogdan, 1951). No se encontraron diferencias significativas (P > 0.05) entre las especies evaluadas ni entre los niveles de fertilización o edad al corte, debido probablemente a la alta variabilidad entre

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre índice de área foliar y producción de materia seca de *Brachiaria dictyoneura*, *Centrosema macrocarpum* y *Arachis pintoii* solas y en asociación. Mondomo, Cauca (Colombia).

Especie y asociación	Coefficiente de correlación (r)
<i>B. dictyoneura</i> CIAT 6133	0.96
<i>A. pintoii</i> CIAT 17434	0.74
<i>C. macrocarpum</i> CIAT 5713	0.97
<i>B. dictyoneura</i> + <i>A. pintoii</i>	0.93
<i>B. dictyoneura</i> + <i>C. macrocarpum</i>	0.96

Cuadro 3. Índice de área foliar (m²/m²) de *Brachiaria dictyoneura*, *Centrosema macrocarpum* y *Arachis pintoii* solas y en asociación, en tres edades de corte y dos niveles de fertilización. Mondomo, Cauca (Colombia).

Especie y asociación	Edad (semanas): 16		29		38			
	Fertilización:		Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
<i>B. dictyoneura</i> (Bd)	0.22	0.98	0.68	3.12	1.29	6.61		
<i>Arachis pintoii</i> (Ap)	0.20	0.59	0.26	0.49	0.74	1.04		
<i>C. macrocarpum</i> (Cm)	0.20	0.31	0.36	0.94	2.12	2.37		
Bd + Ap	0.32	0.46	0.70	0.71	1.84	2.86		
Bd + Cm	0.28	0.74	1.00	1.15	3.01	3.13		
Promedio	0.43 b*		0.94 b		2.5 a			

* Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (P < 0.05), según la prueba de diferencia mínima significativa.

especies y repeticiones con la edad de la planta (C.V. 60%). No obstante, a las 16 semanas de edad en el nivel alto de fertilización, *B. dictyoneura* tendió a presentar la mayor relación hoja:tallo (Figura 2). A esta edad, dicha relación fue mayor que 1 en todas las especies y a partir de ella decreció a través del tiempo, debido probablemente a la senescencia y caída de hojas, excepto en *B. dictyoneura*.

Rebrote a 6 semanas. El rebrote de las especies forrajeras depende de varias variables en la planta y en el ambiente, entre ellas, el ecotipo, la especie, la edad, el manejo previo, la temperatura, la radiación, el suministro de agua, la fertilidad en el suelo, el área foliar residual, el nivel o reserva de carbohidratos y la presencia de puntos de crecimiento (Barnes, 1972, citado por Jones y Carabalí, 1981).

La producción de MS del rebrote de la parte aérea mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre especies y niveles de fertilidad, 6 semanas después del corte (Cuadro 5). Las especies en asociación fueron más productivas que cuando crecieron en monocultivo. Estos resultados son consistentes con los hallados por Brown y Byrd (1990) y Ludlow et al. (1974), quienes encontraron que asociaciones de gramínea-leguminosa en ambientes tropicales y subtropicales son más productivas que los monocultivos respectivos. Lo anterior sugiere una transferencia de N de la leguminosa a la gramínea, como resultado de la mineralización de la materia orgánica debido a la descomposición de las raíces y el follaje senescente, lo cual estimuló el rendimiento de la gramínea (CIAT, 1990; Rao et al., 1993) y la respuesta al suministro de P (Russel y Rogler, 1972).

El IAF varió significativamente ($P < 0.05$) entre especies y niveles de fertilización (Cuadro 5). En

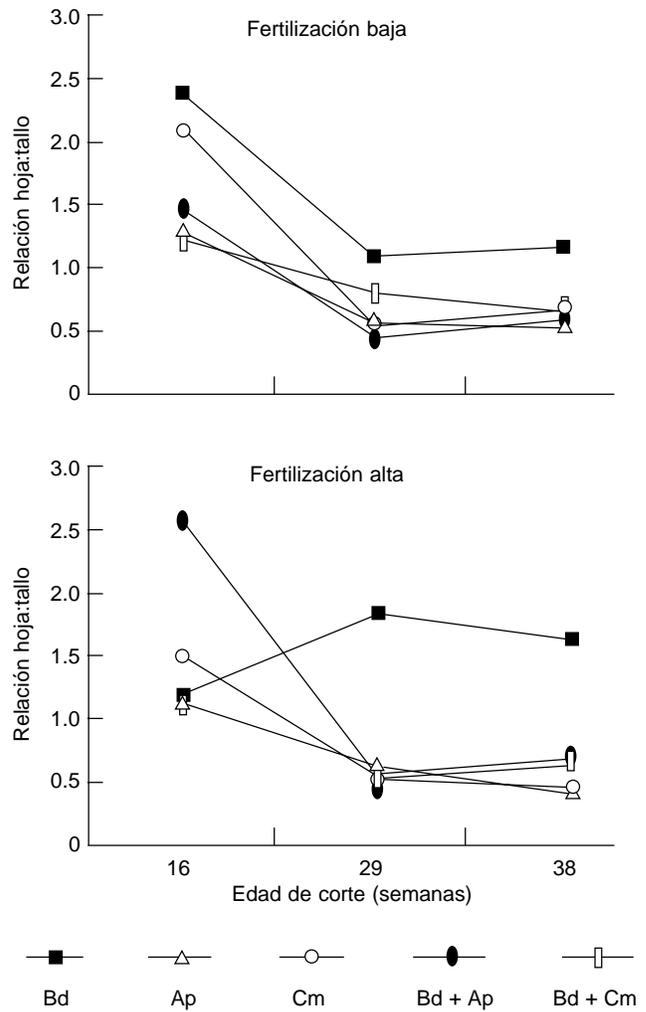


Figura 2. Relación hoja:tallo de la gramínea (*c*), *Brachiaria dictyoneura* (*Bd*) CIAT 6133, y las leguminosas (*c*₃) *Arachis pintoi* (*Ap*) CIAT 17434 y *Centrosema macrocarpum* (*Cm*) CIAT 5713 solas y asociadas en niveles bajo y alto de fertilización. Mondomo, Cauca (Colombia).

Cuadro 5. Variación en los atributos de la parte aérea a las 6 semanas de rebrote de *Brachiaria dictyoneura*, *Centrosema macrocarpum* y *Arachis pintoi* solas y en asociación con aplicación de dos niveles de fertilización. Mondomo, Cauca (Colombia).

Especie y asociación	MS (t/ha)			IAF (m ² /m ²)			Relación hoja:tallo		
	Fb ^a	Fa ^b	Promedio	Fb ^a	Fa ^b	Promedio	Fb ^a	Fa ^b	Promedio
<i>B. dictyoneura</i> CIAT 6133 (<i>Bd</i>)	2.08	3.08	2.58 ab	1.25	1.71	1.48 bc	1.74	1.02	1.38 a
<i>A. pintoi</i> CIAT 17434 (<i>Ap</i>)	1.37	2.70	2.04 b	1.25	2.76	2.00 ab	0.57	0.81	0.69 b
<i>C. macrocarpum</i> CIAT 5713 (<i>Cm</i>)	0.79	1.17	0.98 c	0.91	1.33	1.12 c	0.89	1.15	1.02 ab
<i>Bd</i> + <i>Ap</i>	2.66	3.78	3.23 a	1.72	2.52	2.12 a	0.53	0.77	0.65 b
<i>Bd</i> + <i>Cm</i>	2.85	2.83	2.84 ab	1.87	1.70	1.78 ab	0.81	0.75	0.78 b
Pastura nativa	1.23	0.82	1.03 c	—	—	—	—	—	—
Promedio	1.83 b	2.40 a*	—	1.40 b	2.00 a	—	0.90 a	0.89 a	—

a. Fb = Nivel bajo de fertilización.

b. Fa = Nivel alto de fertilización.

* Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($P < 0.05$), según la prueba de diferencia mínima significativa.

general, el IAF fue mayor en el nivel alto de fertilización. *Arachis pintoii* en monocultivo presentó el mayor IAF (2.76 m²/m²), seguido por la asociación de esta leguminosa con la gramínea (2.52 m²/m²). Fisher y Cruz (1994) encontraron en *Arachis pintoii* un IAF que interceptó aproximadamente el 90% de la radiación incidente, lo que confirma su capacidad competitiva durante los períodos de rebrote temprano. Esto, y la densa cobertura que provee al suelo, definen esta leguminosa como una planta para uso en pastoreo o cobertura, antes que ser usada para corte (Fisher y Cruz, 1994). Se presentó también una alta relación entre el IAF y la materia seca del rebrote a 6 semanas en todos los materiales evaluados.

La relación hoja:tallo a 6 semanas de rebrote mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre especies y niveles de fertilización (Cuadro 5). De nuevo, *B. dictyoneura* presentó la relación más alta, seguido por *C. macrocarpum*.

Conclusiones

De los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir lo siguiente: (1) el nuevo germoplasma mejorado es una alternativa posible para establecer pasturas en suelos pobres de laderas degradadas en zonas tropicales; (2) existen gramíneas y leguminosas mejoradas que se adaptan a estas áreas, manteniendo su rendimiento de materia seca por unidad de área foliar; (3) *Brachiaria dictyoneura* presentó el mayor IAF en estados maduros y *A. pintoii* en un estado temprano de rebrote a 6 semanas; (4) la relación hoja:tallo fue mayor en *B. dictyoneura* que en *C. macrocarpum* y *A. pintoii*; y (5) las especies forrajeras mejoradas respondieron a la aplicación de fertilizantes.

Agradecimientos

Al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS) por el apoyo financiero brindado para la ejecución del presente trabajo de investigación.

Summary

One c₄ grass (*Brachiaria dictyoneura*) and two c₃ forage legume species (*Arachis pintoii* and *Centrosema macrocarpum*) were evaluated in monoculture or in mixture cropping with two fertilization levels, at La Esperanza farm, located in the coffee-growing region of Mondomo, Department of Cauca, Colombia. Adaptation responses of plant materials during establishment were measured in terms of morphological characteristics; dry matter yield (DMY); leaf area index (LAI), and leaf:stem ratio (LSR). Harvest was carried out at 16, 29, 38, and

55 weeks after planting. An additional harvest was also conducted after 6 weeks of regrowth by mowing all plots at the end of the 55-week collection date. Dry matter yield was closely related to fertilization level, the highest yield being obtained with the highest fertilization rate. The C₄ grass *B. dictyoneura* alone recorded the highest DMY, followed by the two mixtures, *B. dictyoneura* + *C. macrocarpum* and *B. dictyoneura* + *A. pintoii*, which were more productive than the legumes in monoculture and the native vegetation. Growth analysis indicated that *B. dictyoneura* had the highest LAI at later harvests and with the high fertilization rate (6.61 at 38 weeks of age) and *A. pintoii* had the highest LAI at early regrowth and with the high fertilization rate (2.76 at 6 weeks regrowth). The LSR was not only higher in the grass than in the legumes, but also with the high fertilization level.

Referencias

- Ayarza, M. A. 1991. Efecto de las propiedades químicas de los suelos ácidos en el establecimiento de especies forrajeras. En: Lascano, C. E. y Spain, J. M. (eds.). Establecimiento y renovación de pasturas: Conceptos, experiencias y enfoque de la investigación. Sexta Reunión del Comité Asesor de la RIEPT, Veracruz, México, noviembre de 1988. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 161-185.
- Brown, R. H. y Byrd, G. T. 1990. Yield and botanical composition of alfalfa-bermuda grass mixture. *Agron. J.* 82:1074-1079.
- Burt, R. L. y Rotar, P. P. 1983. Interpretative summary. En: Burt, R. L.; Rotar, P. P.; Walker, J. I.; y Silvey, M. W. (eds.). The role of *Centrosema*, *Desmodium*, and *Stylosanthes* in improving tropical pastures. West. Trop. Agric. Series no. 6. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 19-25.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Programa de Pastos Tropicales: Informe 1980. Cali Colombia. p. 57-116.
- _____. Informe Anual. 1990. Programa de Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 89. p. 3.1-13-25.
- Chapin, F. S.; Vitousek, P. M.; y Van-Cleve, K. 1986. The nature of nutrient limitation in plant communities. *Am. Nat.* 127:48-58.
- Conrad, M. 1983. Adaptability: The significance of variability from molecular to ecosystem. Plenum Press, Nueva York. 383 p.
- Donald, C. M. y Black, J. N. 1958. The significance of leaf area in pasture growth. *Herb. Abstr.* 28:1-6.
- Edwards, D. C. y Bogdan, A. V. 1951. Important grass and plants of Kenya. Nairobi. (Manuscrito.)

- Ferrufino, A.; Saavedra, F.; y Vallejos, A. 1985. Establecimiento y producción de germoplasma forrajero del género *Brachiaria* en Chipiriri, Bolivia. En: Pizarro, E. A. (ed.). Tercera Reunión de la RIEPT. Resultados 1982-1985. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. v. 2, p. 1139-1141.
- Fisher, M. y Cruz, P. 1994. Some ecophysiological aspects of *Arachis pintoii*. En: Kerridge, P. C. y Hardy, B. (eds.). Biology and agronomy of forage *Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 54-70.
- Gardner, F. P.; Pearce, R. B.; y Mitchel, R. L. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State Univ. Press, Ames, IO, E.U.
- Hunt, R. 1978. Studies in biology. Plant growth analysis. Edward Arnold (Publisher) Ltd. no. 96. 67 p.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1987. Pasto Llanero. Boletín técnico no. 151. 12 p.
- Jones, C. A. 1985. C₄ grasses and cereals growth, development and stress response. J. Wiley & Sons, Inc. p. 140-170.
- _____ y Carabalí, A. 1981. Some characteristics of the regrowth of 12 tropical grasses. Trop. Agric. (Trinidad) 58(1):37-44.
- Ludlow, M. M.; Wilson, G. L.; y Heleshorst, M. R. 1974. Studies on the productivity of tropical pasture plants. Effect of shading on growth photosynthesis and respiration in two grasses and two legumes. Aust. J. Agric. Res. 25:425-433.
- Miles, J. W. y Lapointe, S. L. 1992. Regional germplasm evaluation: A portfolio of germplasm options for the mayor ecosystems of Tropical America. En: Pastures for the tropical lowlands: CIAT's contribution. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 9-28.
- Monteith, J. L. 1978. Reassessment of maximum growth rates for C₃ and C₄ crops. Exp. Agric. 14:1-5.
- Pizarro, E. A. (ed.) 1986. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales: Resultados 1982-1985: 3a. Reunión de la RIEPT, octubre 21-24, 1985. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. v. 2, 128 p.
- Rao, I. M.; Zeigler, R. S.; Vera, R. R.; y Sarkarung, S. 1993. Selection and breeding for acid soil tolerance in crops. Upland rice and tropical forages as case studies. BioSci. 43:454-465.
- _____; Ayarza, M. A.; y García, R. 1995. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. 1. Differences in plant growth, nutrient acquisition and nutrient utilization among C₄ grasses and C₃ legumes. J. Plant Nut. 18:2135-2155.
- _____; Borrero, V.; Ricaurte, J.; García, R.; y Ayarza, M. A. 1997. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. 3. Differences in phosphorus acquisition and utilization as influenced by varying phosphorus supply and soil type. J. Plant Nut. 20:155-180.
- SAS (Statistical Analysis System). 1989. SAS/STAT User's guide, version 6, 4th. edition, vol. 2. Cary, Carolina del Norte. 846 p.
- Russel, J. L. y Rogler, G. A. 1972. Forage production and botanical composition of mixed prairie as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization. Agron. J. 64:224-248.
- Toledo, J. M. y Schultze-Kraft, R. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: Toledo, J. M. (ed). Manual para la evaluación agronómica. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 91-110.
- Trenbath, B. R. 1974. Biomass productivity of mixtures. Adv. Agron. 26:177-210.
- Williams, R. J.; Burt, R. L.; y Strickland, R. W. 1976. Plant introduction. En: Shaw, N. H. y Bryan, W. (eds.). Tropical pasture research: Principles and methods. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Brisbane, Australia. p. 77-110.