

Análisis del comportamiento del germoplasma evaluado por la RIEPT en los ecosistemas de Sabana y Bosque Tropical

J M Toledo*

M C Amezcua**

E A Pizarro***

Introducción



La Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) tiene como objetivo principal evaluar nuevas alternativas de germoplasma forrajero previamente seleccionadas por su tolerancia a suelos ácidos e infértiles en múltiples localidades de los ecosistemas más importantes en la frontera agrícola de América tropical

Los ecosistemas mencionados fueron clasificados por Cochrane (1982) así:

a) Sabanas Bien Drenadas Isohipertérmicas (llanos colombianos y venezolanos junto con las partes bien drenadas de las sabanas de Roraima y Amapá en Brasil y la sabana de Rupunumí en Guyana) con una evapotranspiración total potencial durante el periodo de las lluvias (EPTL) entre 901 y 1060 mm una temperatura mensual en promedio durante el período de las lluvias (TPML) superior a 23.5 °C y una estación lluviosa de 6 a 8 meses

b) Sabanas Bien Drenadas Isotérmicas (principalmente los Cerrados de Brasil) con una EPTL entre 901 y 1060 mm una TPML menor de 23.5 °C y una estación lluviosa de 6 a 8 meses

c) Sabanas Mal Drenadas (Casanare en Colombia Apure en Venezuela y El Pantanal en Mato Grosso Brasil) con una EPTL entre 901 y 1060 mm y con drenaje pobre por razones topográficas y edáficas

d) Bosque Tropical Semi siempreverde Estacional (Amazonia boliviana sur de la Amazonia peruana y la mayor parte de la Amazonia brasilena) con una EPTL entre 1061 y 1300 mm una TPML mayor de 23.5 °C y de 8 a 9 meses de lluvias

e) Bosques Tropicales Húmedos (Amazonia colombiana Amazonia ecuatoriana y regiones al noroeste de la Amazonia brasilena y norte de la Amazonia peruana) con una EPTL mayor de 1300 mm una TPML mayor de 23.5 °C y más de 9 meses de lluvias

La subdivisión de la región en estos ecosistemas fue hecha por Cochrane y Jones (1981) agrupando clases de vegetación de los distintos sistemas de tierra y relacionándolos con parámetros climáticos indicadores de la energía utilizable por las plantas para su crecimiento y producción

Entre 1979 y 1982 la RIEPT estableció una serie de ensayos (ver pág 3) para evaluación agronomica en los diferentes ecosistemas mencionados utilizando una metodología uniforme (Toledo y Schultze Kraft 1982) que permite el análisis combinado en todas las localidades

Materiales y metodos

Para el análisis estadístico combinado por ecosistemas se utilizó la información proveniente de los Ensayos Regionales B (ERB) donde se estiman tasas de crecimiento y producción de cada ecotipo durante los periodos de máxima y mínima precipitación. Los análisis se realizaron en forma independiente para los dos ecosistemas considerados (Sabana Isohípertermica y Bosque Tropical) separando en cada caso gramíneas y leguminosas debido a su diferente potencial de productividad.

Los Cuadros 1 y 2 muestran las localidades y los ecotipos comunes a todas ellas incluidos en el análisis combinado tanto para el ecosistema de Sabana Isohípertermica como para los ecosistemas de bosques tropicales.

Cuadro 1 Localidades consideradas para el análisis combinado por ecosistema en los ensayos de la RIEPT 1979-1982

Sabana Tropical Bien Drenada Isohípertermica	Bosque Tropical Lluvioso y Estacional
En época de máxima precipitación	En época de máxima y mínima precipitación
COLOMBIA	BOLIVIA
Carimagua	Valle del Sacta
Guayabal Puerto Gaitan	Chipuriri
El Paraiso Puerto Gaitan	BRASIL
El Viento Puerto Gaitan	Barrolandia
PANAMA	COLOMBIA
Los Santos Chiriqui	Quilichao
	Caucasia
	Puerto Asis
En época de mínima precipitación	COSTA RICA
COLOMBIA	San Isidro
Guayabal Puerto Gaitan	ECUADOR
El Paraiso Puerto Gaitan	El Puyo
El Viento Puerto Gaitan	El Napo
	PERU
	Tarapoto COPERHOLTA
	Tarapoto Porvenir
	Tarapoto ESEP
	Pucallpa
	Yurimaguas
	TRINIDAD
	Centeno
	E U
	Hawa
	VENEZUELA
	Guachi

Cuadro 2 Ecotipos considerados para el análisis combinado por ecosis tema en los ensayos de la RIEPT 1979-1982.

Sabana Tropical Bien Drenada Isoh pertermica	Bosque Tropical Lluvioso y Estacional
Gramineas	Gramineas
<i>Andropogon gayanus</i> 621	<i>Andropogon gayanus</i> 621
<i>Brachiaria decumbens</i> 606	<i>Brachiaria decumbens</i> 606
	<i>Panicum maximum</i> 604
Leguminosas	Leguminosas
<i>Aeschynomene histrix</i> 9690	<i>Aeschynomene histrix</i> 9690
<i>Centrosema</i> sp 5112	<i>Centrosema pubescens</i> local
<i>Centrosema brasilianum</i> 5234	<i>Centrosema pubescens</i> 438
<i>Centrosema macrocarpum</i> 5065	<i>Calopogonium mucunoides</i> local
<i>Centrosema pubescens</i> 5050	<i>Desmodium gyroides</i> 3001
<i>Centrosema pubescens</i> 5053	<i>Desmodium heterophyllum</i> 349
<i>Centrosema pubescens</i> 5126	<i>Desmodium ovalifolium</i> 350
<i>Desmodium gyroides</i> 3001	<i>Pueraria phaseoloides</i> 9900
<i>Desmodium ovalifolium</i> 350	<i>Stylosanthes guianensis</i> 136
<i>Pueraria phaseoloides</i> 9900	<i>Stylosanthes guianensis</i> 184
<i>Stylosanthes capitata</i> 1019	<i>Stylosanthes capitata</i> 1097
<i>Stylosanthes capitata</i> 1315	<i>Stylosanthes capitata</i> 1405
<i>Stylosanthes capitata</i> 1318	<i>Zornia latifolia</i> 728
<i>Stylosanthes capitata</i> 1342	
<i>Stylosanthes capitata</i> 1405	
<i>Stylosanthes capitata</i> 1693	
<i>Stylosanthes capitata</i> 1728	
<i>Stylosanthes capitata</i> 1943	
<i>Stylosanthes capitata</i> 2013	
<i>Stylosanthes guianensis</i> 1280	
<i>Zornia latifolia</i> 728	
<i>Zornia latifolia</i> 9199	
<i>Zornia latifolia</i> 9286	

E l d p d p p t m m m

El análisis estadístico siguió la metodología siguiente

- a) Análisis de varianza para la comparación de localidades y ecotipos en terminos de su productividad y prueba de la interacción ecotipo x localidad según el siguiente modelo¹

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + R_j(L_i) + E_k + (L \times E)_{jk} + \text{Residuo} \quad [1]$$

donde

Y_{ijk} = producción de materia seca a las 12 semanas de rebrote (kg MS/ha) del ecotipo k en la repetición j de la localidad i

μ = efecto medio general

L_i = efecto de la localidad i

$R_j(L_i)$ = efecto de la repetición j dentro de la localidad i

E_k = efecto del ecotipo k

$(L \times E)_{jk}$ = efecto de la interacción localidad i x ecotipo k

¹ P l p b d h p ó t p q t l o c l d a d m t p o s o f t f j e s d l
á i p o g t s ó l á l d p a l j d p o y l o c a l d d e v l d (M I h 1982)

- b) Evaluación del rango de adaptabilidad de los ecotipos en las diferentes localidades. Para este análisis se siguió el método sugerido por Eberhart y Russell (1966) mediante el cual se seleccionan ecotipos o variedades de cultivos de acuerdo con su sensibilidad a diferencias en el ambiente. Este método fue modificado por Amézquita (1982) con el fin de eliminar la dependencia entre el rendimiento del ecotipo que se evalúa y los valores del Índice Ambiental (IA) mediante la exclusión del ecotipo específico bajo evaluación en el cálculo del IA.

Se asumió por definición que adaptabilidad es la respuesta relativa de un genotipo evaluado a través de un rango de localidades. Cada localidad representa un ambiente con condiciones diferentes de suelo y clima. Sin embargo, otros factores también influyen en grado variable como son los de carácter biótico (p.ej. plagas, enfermedades, malezas) y los de manejo (establecimiento, técnicas de corte, errores en el muestreo, entre otras).

Ante la dificultad en pruebas de este tipo de separar los efectos individuales de los factores antes mencionados, se supuso que el Índice Ambiental (IA) estimado según la producción de materia seca de la localidad integraría los diversos factores de producción que afectan individualmente el potencial genético de todos los ecotipos probados.

El valor de IA se estima del modo siguiente:

$$IA = \bar{X}P_1 - \bar{X}P_e \quad [2]$$

donde

IA = Índice Ambiental

$\bar{X}P_1$ = Producción de materia seca² 12 semanas después del rebrote como promedio de la localidad (kg MS/ha)

$\bar{X}P$ = Producción de materia seca² 12 semanas después del rebrote como promedio del ecosistema (kg MS/ha)

Este IA asume que el mejor sensor de la calidad del ambiente es la productividad general de los ecotipos probados, e indica cuán superior o inferior es una localidad con respecto al promedio de productividad del ecosistema. Dicho de otro modo, IA representa en forma relativa el potencial de productividad de cada localidad.

Con los valores del IA y con los promedios de producción de materia seca a las 12 semanas de rebrote para cada ecotipo en cada localidad, se hizo el análisis de regresión asumiendo linealidad para la relación entre la producción de materia seca de cada ecotipo (IA) y el modelo utilizado para estas regresiones fue:

$$Y = a + b IA \quad [3]$$

donde

Y = los valores de producción de MS a las 12 semanas del rebrote del ecotipo en evaluación

a = el intercepto que representa la media de la productividad del ecotipo para el ecosistema

b = la pendiente que representa el grado de adaptabilidad (cambio de productividad) del ecotipo a diferentes ambientes del ecosistema

IA = los valores del índice ambiental (ver ecuación [2])

La adaptabilidad de un ecotipo está descrita por b (la pendiente) y S_b (error estándar de la pendiente)

En la Figura 1 se muestran algunas posibilidades resultantes del análisis de regresión. El ecotipo A con un promedio de producción alto para el ecosistema (ver intercepto) responde fuertemente a mejoras en el ambiente. El ecotipo B con un promedio de producción similar al ecotipo A no responde sin embargo a cambios en la calidad del ambiente. El ecotipo C probablemente de poca adaptabilidad produce en promedio menos que A y B y no responde a mejoras en el ambiente.

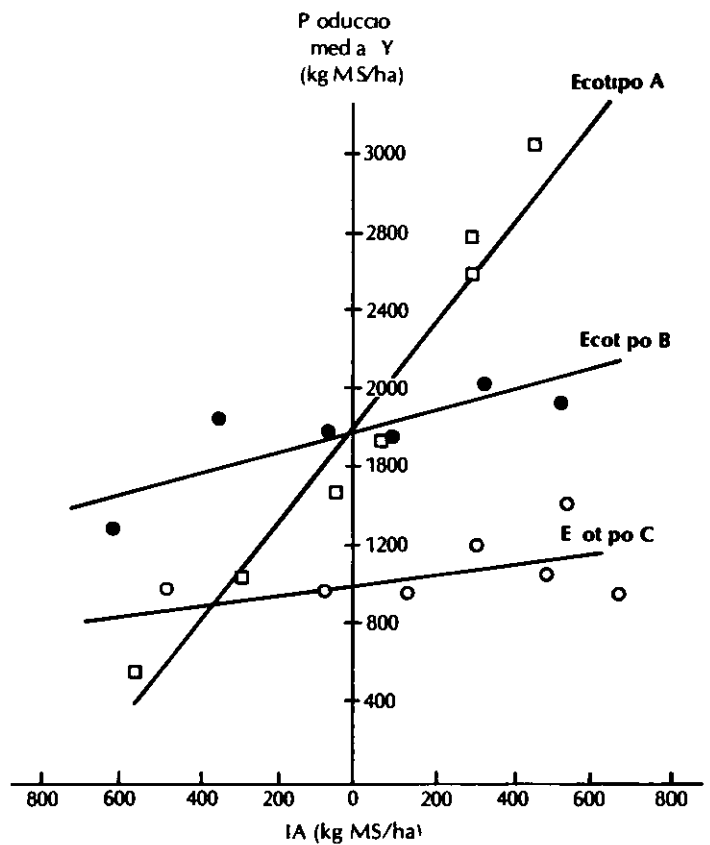


Figura 1. Esquema de las opciones posibles de regresión lineal entre la producción local y el Índice Ambiental (IA) para el modelo $Y = a + bIA$.

c) Con los resultados obtenidos de los análisis antes descritos se clasificaron los ecotipos según su productividad en el ecosistema a y según su adaptabilidad b . Esta clasificación permitió visualizar la relativa productividad y adaptabilidad de los ecotipos en el ecosistema con relación al promedio de productividad de todos los ecotipos considerados y respecto al nivel de referencia de adaptabilidad de un ecotipo representado por $b = 1$.

Para esta clasificación y —por separado— para cada periodo de evaluación con máxima y mínima precipitación se empleó el marco de ejes cartesianos (Figuras 2 y 3)

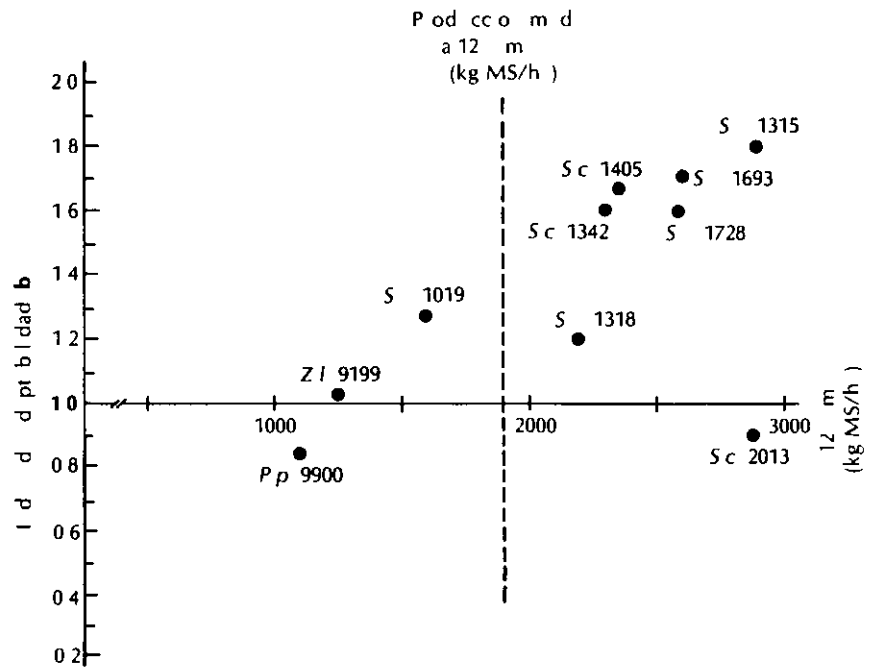


Fig 2 Clasificación de las leguminosas a los 12 meses de producción de materia seca y de la productividad de la producción de materia seca en el ecosistema de Sabana Tropical B e D en la localidad de mca (ecuación [3]) Sc = *Stylosanthes capitata* Pp = *Puephaseoloides* Zl = *Zornia latifolia*

d) Por último se hizo un análisis de varianza para comparar ecotipos de gramíneas y de leguminosas —comunes a los ecosistemas de Sabana Tropical Isohipertérmica y de bosques tropicales— en términos de su productividad e interacción con el ecosistema utilizando el siguiente modelo

$$Y_{ijrk} = \mu + A_i + L_j(A_i) + R_r(L_j, A_i) + E_k + (A_i \times E_k) + (L_j \times E_k [A_i]) + \text{Residuo} \quad [4]$$

donde

Y_{ijrk} = producción de materia seca (kg MS/ha) a las 12 semanas de rebrote del ecotipo k en la repetición r dentro de la localidad j del ecosistema i

μ = efecto medio general

A_i = efecto del ecosistema i

$L_j(A_i)$ = efecto de la localidad j dentro del ecosistema i

$R_r(L_j, A_i)$ = efecto de la repetición r de la localidad j dentro del ecosistema i

E_k = efecto del ecosistema k

$A_i \times E_k$ = efecto de la interacción ecosistema \times ecotipo

$L_j \times E_k [A_i]$ = efecto de la interacción localidad \times ecotipo dentro del ecosistema i

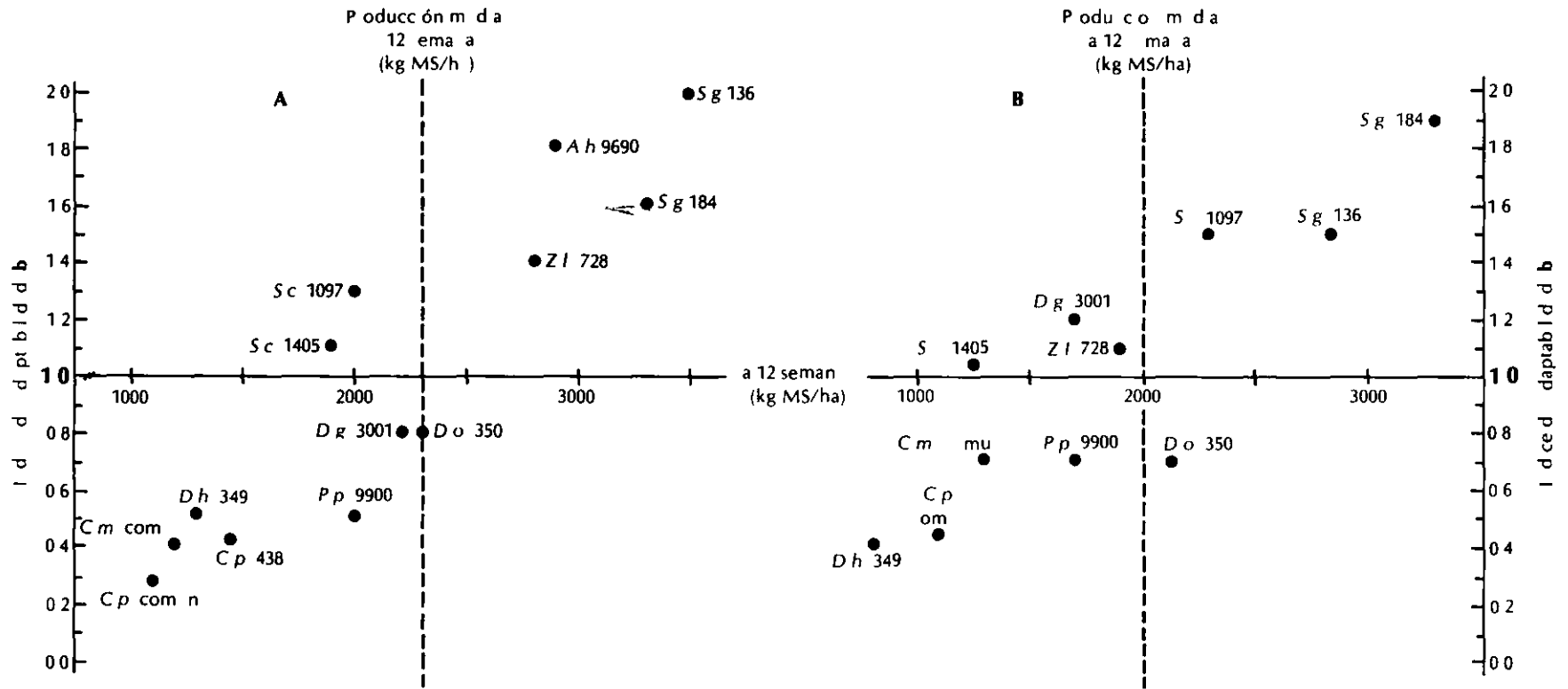


Fig 3 Cl f a c o f e l l e g m o s g u g a d o d d a p t a b i l i d a d b y s l d p o d t d i p o t e c l i c o t m a l b i r p l A = d u t e e l p o d o l m a m p e p t a c o B = d t e e l p o d o l m m a p p t o V u [3] A h = A h y o m e n h t C m = C e t o m a m u n o d C p = C e t o m p b e s e n D g = D e s m o d m g y o d e D h = D e m o d u m h e t o p h y l l m D o = D m o d i m o a l f o l u m P p = P a p h a o l o d e S = S t y l o t h e p t a S g = S t y l o s a n t h g u a s Z l = Z o l a t f o l

Resultados y discusión

Resultados de los análisis estadísticos efectuados se presentan inicialmente para el ecosistema de Sabana Tropical Bien Drenada Isohipertérmica y posteriormente para los ecosistemas de bosques tropicales. Finalmente cuando se trata de ecotipos comunes a ambos ecosistemas se analiza el comportamiento del germoplasma en cada uno de estos.

Sabana Bien Drenada Isohipertérmica

Los Cuadros 1 y 2 muestran respectivamente las localidades y los ecotipos que fueron considerados en el análisis de este ecosistema.

Los resultados del análisis de varianza para producción (kg MS/ha a 12 semanas del rebrote) en diferentes ecotipos de gramíneas y leguminosas evaluados en este ecosistema figuran en el Cuadro 3. En él se muestran para el periodo de máxima precipitación valores altamente significativos ($P \leq 0.01$) para los efectos de localidad, de ecotipo y de la interacción de estos dos factores tanto para gramíneas como para leguminosas. Este resultado confirma la existencia de diferencias en la calidad del ambiente entre localidades, de diferencias en productividad entre ecotipos y un comportamiento de éstos diferente en las localidades.

Cuadro 3. Análisis de varianza para producción (kg MS/ha) a 12 semanas del rebrote de gramíneas y leguminosas en el ecosistema de Sabana Tropical Bien Drenada Isohipertérmica

Fuentes de variación	Periodo de máxima precipitación		Periodo de mínima precipitación	
	GL	F	GL	F
GRAMINEAS				
Localidad	3	7.5	2	2.2 ^{NS}
Rep. (Localidad)	9		6	
Ecotipo	1	15.2	1	10.4
Localidad x Ecotipo	3	16.2	2	9.8
Error	9		6	
Total corregido	25		17	
Promedio	2793		276	
CV (%)	21		26	
LEGUMINOSAS				
Localidad	4	45.4	2	7.3
Rep. (Localidad)	11		6	
Ecotipo	15	16.4	22	20.1
Localidad x Ecotipo	56	3.8	44	3.8
Error	147		122	
Total corregido	233		196	
Promedio	1868		127	
CV (%)	35		69	
Ef. g f t	0.01 < P ≤ 0.05			
Ef. ct g f	P ≤ 0.01			
NS g f				

En el periodo de minima precipitación —si bien el análisis de varianza para leguminosas muestra valores altamente significativos ($P \leq 0.1$) para la localidad el ecotipo y para la interacción entre ambos— se obtuvieron en las gramíneas diferencias entre ecotipos y para la interacción localidad x ecotipo ($P \leq 0.05$) mas no entre localidades. Esto indica que la productividad de las gramíneas (*A. gayanus* y *B. decumbens*) fue igualmente baja durante el periodo de minima precipitación en las tres localidades consideradas (El Viento y Guayabal en Colombia y Chiriquí en Panamá) y que los factores de producción que modificaban las gramíneas en cada localidad tuvieron efectos iguales o compensatorios.

Debe notarse que durante el periodo de minima precipitación varios ecotipos (*C. pubescens* CIAT 5050, 5053 y 5126 lo mismo que *D. ovalifolium* CIAT 350) mostraron una producción nula en las localidades El Paraíso, Guayabal y El Viento debido probablemente a los suelos más arenosos de estos sitios. Este resultado explica el alto valor del CV (69%) para producción de materia seca de leguminosas durante el periodo seco, en contraste con el correspondiente al periodo de lluvias ($CV = 35\%$).

El Cuadro 4 muestra los valores de la pendiente b y del intercepto a , así como los valores del error estándar de la pendiente (S_b) y de los coeficientes de determinación de las regresiones (r^2). La información condensada en este cuadro contiene sólo el resultado del análisis de regresión para el periodo de máxima precipitación, pues las regresiones hechas durante el periodo seco no resultaron significativas debido probablemente al reducido número de localidades y a un mayor tamaño del error relativo a las productividades obtenidas.

En el Cuadro 4 se muestra también para el periodo de máxima precipitación una productividad superior de los ecotipos *S. capitata* CIAT 1019, 1315, 1318, 1342, 1405, 1693, 1728, 1943 y 2013. Esta especie superó a las otras duplicando casi la productividad de *Zornia latifolia* CIAT 728 y 9199 y de *P. phaseoloides* CIAT 9900 a *Zornia latifolia* debido tal vez al menor potencial genético de producción de este, pero en el caso de *P. phaseoloides* CIAT 9900 debido probablemente a una limitada expresión de su potencial genético de productividad, lo cual sugiere su poca adaptación general atribuible al predominio de suelos arenosos en las localidades evaluadas.

Los valores de b (índice de adaptabilidad) registrados en el Cuadro 4 indican el cambio en productividad de cada material en las diferentes calidades de ambiente. Es decir, b cuantifica el incremento en producción de cada material por un incremento de 1 kg/ha en la productividad del ambiente. Así, *Pueraria phaseoloides* con producción de 1089 kg MS/ha a las 12 semanas y con un valor de $b = 0.85$ muestra menor respuesta a mejoras en la calidad del ambiente dentro del rango de ambientes incluido en estas pruebas a causa probablemente de factores ambientales desfavorables (suelo, clima, agentes bióticos) que tienden a uniformar su comportamiento. Por otro lado, la mayoría de los ecotipos de *S. capitata* con producciones de alrededor de 2500 kg MS/ha y con valores de b cercanos a 1.5 indican una mayor respuesta a mejoras en el ambiente, indicando que no enfrentan limitantes para expresar su potencial de producción.

Cuadro 4 Índice de adaptabilidad b de los ecotipos en el periodo de máxima precipitación para el ecosistema Sabana Tropical Bien Drenada Isoh pertermica Ensayos de la RIEPT 1979-1982

Ecotipo	a (kg MS/ha) ^b	b	S _b	r (%)
Leguminosas				
<i>Aeschynomene histrix</i> 9690	1315	—	—	0 04 ^{NS}
<i>Centrosema pubescens</i> 5126	169	—	—	74 4 ^{NS}
<i>Desmodium gyroides</i> 3001	1483	—	—	23 5 ^{NS}
<i>Pueraria phaseoloides</i> 9900	1089	0 85	0 17	89 2
<i>Stylosanthes capitata</i> 1019	1618	1 28	0 23	91 1
<i>Stylosanthes capitata</i> 1315	2872	1 81	0 39	87 8
<i>Stylosanthes capitata</i> 1318	2228	1 21	0 18	95 5
<i>Stylosanthes capitata</i> 1342	2323	1 61	0 16	96 8
<i>Stylosanthes capitata</i> 1405	2358	1 64	0 31	90 1
<i>Stylosanthes capitata</i> 1693	2597	1 73	0 23	95 0
<i>Stylosanthes capitata</i> 1728	2622	1 61	0 19	95 6
<i>Stylosanthes capitata</i> 1943	2096	—	—	48 6 ^{NS}
<i>Stylosanthes capitata</i> 2013	2877	0 93	0 31	82 0
<i>Zornia latifolia</i> 0728	1112	—	—	61 1 ^{NS}
<i>Zornia latifolia</i> 9199	1260	1 05	0 34	83 0
<i>Zornia</i> sp 9286	1225	—	—	59 4 ^{NS}
Gramíneas				
<i>Andropogon gayanus</i> 621	3021	—	—	37 0 ^{NS}
<i>Brachiaria decumbens</i> 606	2282	—	—	37 0 ^{NS}

l l | 90% d f p b t l
 L g m os (l y l g g f t) (0 6 1 4)
 V [3]
 b A 12 m l l b
 R g g f t | 95% d f (0 01 < P <= 0 05)
 R g g f t | 90% d f (P <= 0 01)
 NS g f t

El Cuadro 5 muestra los promedios de producción (kg/ha de MS) por localidad y los valores de DMS (Diferencia Mínima Significativa) entre esas localidades en las épocas de máxima y mínima precipitación tanto para gramíneas como para leguminosas. Estas medias son una expresión combinada de las condiciones de suelo y clima así como de los factores biológicos y de manejo que determinan diferentes calidades del ambiente. Se observa además que las leguminosas dan mayor producción en Carimagua (Colombia) mientras que las gramíneas producen más en Chiriquí (Panamá). En general las otras localidades de los Llanos colombianos presentan condiciones que contribuyen a la baja productividad del germoplasma siendo la peor de ellas El Viento (ver los Cuadros 1 págs 33 47 63 y 91).

La clasificación de las leguminosas por su grado de adaptación b y por su potencial de productividad a se ilustra en la Figura 2 (pag 434). De conformidad con lo antes mencionado los ecotipos de *S. capitata* se localizan en el sector superior derecho de la figura indicando alta productividad y alta respuesta a mejoras en el ambiente mientras que *P. phaseoloides* CIAT 9900 aparece en el sector inferior izquierdo una señal de baja productividad y poca respuesta a mejoras en el ambiente.

Cuadro 5 Producción media por localidad en el ecosistema de Sabana Tropical Bien Drenada Isohipertérmica

Localidad	Producción (kg MS/ha) a 12 semanas			
	máxima precipitación		mínima precipitación	
	Gramíneas	Leguminosas	Gramíneas	Leguminosas
COLOMBIA				
Carimagua	2784	3216	—	—
Paraiso Puerto Gaitan	2471	1954	315	134
Guayabal Puerto Gaitan	—	1793	377	85
El Viento Puerto Lopez	864	648	377	165
PANAMA				
Los Santos Chiriqui	4489	1646	—	—
Promedio	2793	1868	276	127
DMS _{Loc} 5%	1863	427	289	51

Estos resultados son consistentes con los presentados por los participantes a la II Reunión de la RIEPT dentro del ecosistema de Sabana Tropical Bien Drenada Isohipertérmica y sugieren que el método de análisis empleado es satisfactorio

Bosque Tropical Lluvioso y Bosque Tropical Semi siempre Verde Estacional

Los sitios y ecotipos de gramíneas y leguminosas incluidos en los análisis hechos para ese ecosistema figuran en los Cuadros 1 y 2 (pág 430 y 431)

El Cuadro 6 tiene los resultados del análisis de varianza para producción tanto de gramíneas como de leguminosas para los periodos de máxima y mínima precipitación. Para las evaluaciones de máxima precipitación las gramíneas (*A gayanus* CIAT 621 *B decumbens* CIAT 606 y *P maximum* CIAT 604) muestran diferencias ($P \leq 0.05$) en productividad. Igualmente se detectaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre localidades. La interacción sin embargo no resultó significativa lo que indica un comportamiento relativo consistente de las gramíneas a través de las diferentes localidades. Las leguminosas en cambio durante este periodo exhibieron diferencias ($P \leq 0.01$) entre localidades entre ecotipos ($P \leq 0.01$) y un comportamiento relativo diferente ($P \leq 0.01$) de una a otra localidad demostrando así una mayor especificidad que las gramíneas en su comportamiento en el ecosistema.

El análisis de varianza para el periodo de menor precipitación muestra tanto en gramíneas como en leguminosas diferencias ($P \leq 0.01$) entre localidades. Así mismo señala diferencias entre ecotipos e interacción localidad x ecotipo ($P \leq 0.05$). Estos resultados sugieren que durante este periodo inclusive las gramíneas manifestaron comportamientos relativos diferentes en las localidades e indican que existen en el rango de localidades evaluadas y dentro del periodo seco condiciones que afectan en forma diferente a las leguminosas y a las tres gramíneas evaluadas.

Cuadro 6 Analisis de varianza para produccion (kg MS/ha a 12 semanas del rebrote) de gramineas y leguminosas en los ecosistemas de bosque tropical

Fuente de variación	Periodo de máxima precipitación		Periodo de mínima precipitación	
	GL	F	GL	F
GRAMINEAS				
Localidad	13	4.3	17	23.0
Rep (Localidad)	37		47	
Ecotipo	2	3.2	2	3.8
Localidad x Ecotipo	20	1.6 ^{NS}	26	2.3
Error	57		67	
Total corregido	129		159	
Promedio	6356		4820	
CV (%)	63		37	
LEGUMINOSAS				
Localidad	15	32.2	17	18.1
Rep (Localidad)	42		47	
Ecotipo	12	18.6	12	14.9
Localidad x Ecotipo	152	3.7	166	3.6
Error	406		436	
Total corregido	627		678	
Promedio	2294		2004	
CV (%)	53		72	

Ef t g f t 0.01 < P ≤ 0.05
 Ef t g f cat P ≤ 0.01
 NS g f t

El Cuadro 7 presenta los promedios de producción por localidad separando los períodos de máxima y mínima precipitación para gramíneas y leguminosas. En el periodo de máxima precipitación Quilichao en Colombia, Nueva Guinea en Nicaragua, Sacta en Bolivia, El Puyo en Ecuador y Guachi en Venezuela fueron las localidades donde las gramíneas arrojaron mayor producción. Sin embargo, Guachi en Venezuela, El Napo y El Puyo en Ecuador, Valle del Sacta en Bolivia y Centeno en Trinidad fueron los sitios más favorables para la producción de las leguminosas. En contraste, las localidades de Tarapoto (Perú), de Chipirire (Bolivia), de San Isidro (Costa Rica) y Hawai (E.U.) fueron las que menos favorecieron la producción de leguminosas en este periodo.

En el período seco, Centeno (Trinidad), Nueva Guinea (Nicaragua), El Napo (Ecuador) y El Puyo (Ecuador) fueron los lugares más favorables para la producción de gramíneas, en tanto que Centeno (Trinidad), El Napo (Ecuador) y El Puyo (Ecuador) fueron los mejores para producción de leguminosas. Pucallpa (Perú), Puerto Asís (Colombia) y Tarapoto (Perú) favorecieron más la producción de leguminosas durante el periodo seco.

En estos ecosistemas, donde las condiciones climáticas son menos extremas entre los períodos de máxima y mínima precipitación que en el ecosistema de Sabana Isohipertérmica, las plantas forrajeras pueden mantener su crecimiento a lo largo de todo el año. La reducción en productividad

entre la época lluviosa y la de mínima precipitación es de 24% habiendo casos individuales donde la producción durante el periodo de mínima precipitación fue superior a la del periodo de máxima precipitación. Este hecho se debe probablemente a una menor radiación en el periodo lluvioso y a una mayor incidencia de plagas y enfermedades y es un fenómeno que contrasta fuertemente con lo que sucede en las sabanas (Cuadro 4 pág. 438)

En el Cuadro 8 se registran para los dos periodos de evaluación de máxima y mínima precipitación los valores de producción α de los ecotipos en promedio. Como es de esperarse se observa una productividad más alta de las gramíneas entre las que sobresale el *A. gayanus* CIAT 621

Cuadro 7 Producción media por localidad en los ecosistemas de bosque tropical

Localidad	Producción (kg MS/ha) a 12 semanas			
	máxima precipitación		mínima precipitación	
	Gramíneas	Leguminosas	Gramíneas	Leguminosas
BRASIL				
Barrolandia	5873	1612	2529	1061
BOLIVIA				
Chipirire	3493	1090	4185	1098
Valle de Sacta	9158	3448	1803	1539
COLOMBIA				
Caucasia	5679	1869	2211	1251
Quilichao	10084	2309	6036	2331
Puerto Asis	—	—	1193	836
COSTA RICA				
San Isidro	—	590	2733	1495
ECUADOR				
El Napo	5618	4221	8879	4810
El Puyo	8712	3646	7868	4365
NICARAGUA				
Nueva Guinea	10450	1443	10316	1130
El Recreo	—	1586	—	—
PERU				
Tarapoto COPERHOLTA	2631	1354	1350	821
Tarapoto ESEP	5437	1226	3610	1911
Tarapoto Porvenir	938	682	702	526
Pucallpa	—	—	791	823
Yurimaguas	—	—	2809	1393
TRINIDAD				
Centeno	6976	3943	11742	3086
E U				
Hawai	1497	566	5717	2198
VENEZUELA				
Guachi	9796	5203	6094	1809
	6356	2294	4820	2004
Promedio				
DMS Loc 5%	4461	760	2014	814

Cuadro 8 Índice de adaptabilidad b de los ecotipos de leguminosas y gramíneas en los ecosistemas de bosque tropical Ensayos de la RIEPT 1979-1982.

Ecotipo	Periodo de máxima precipitación				Periodo de mínima precipitación			
	a (kg MS/ha) ^b	b	S _b	r ² (%)	a (kg MS/ha) ^b	b	S _b	r ² (%)
Leguminosas								
<i>A histrix</i> 9690	2911	1 83	0 24	83	3412	—	—	2 ^{NS}
<i>C mucunoides</i> comun	1233	0 41	0 12	51	1341	0 71	0 13	75
<i>C pubescens</i> comun	1080	0 28	0 09	49	1084	0 44	0 14	46
<i>C pubescens</i> 438	1450	0 40	0 11	48	1165	—	—	9 ^{NS}
<i>D gyroides</i> 3001	2237	0 78	0 20	57	1710	1 21	0 23	69
<i>D heterophyllum</i> 349	1303	0 55	0 16	46	834	0 42	0 13	40
<i>D ovalifolium</i> 350	2296	0 78	0 16	63	2093	0 68	0 23	34
<i>P phaseoloides</i> 9900	1992	0 53	0 14	50	1713	0 70	0 13	63
<i>S capitata</i> 1097	2033	1 29	0 14	89	2297	1 51	0 19	85
<i>S capitata</i> 1405	1889	1 16	0 14	84	1259	1 06	0 23	59
<i>S guianensis</i> 136	3497	2 07	0 37	72	2769	1 46	0 33	57
<i>S guianensis</i> 184	3344	1 62	0 09	97	3296	1 89	0 48	54
<i>Z latifolia</i> 728	2778	1 39	0 21	77	1903	1 15	0 32	47
Gramíneas								
<i>A gayanus</i> 621	7413	0 70	0 29	32	4582	0 74	0 13	66
<i>B decumbens</i> 606	5321	0 44	0 18	33	4764	1 11	0 11	87
<i>P maximum</i> 604	5452	1 02	0 42	49	3785	0 82	0 17	72

l l 195% d f p b 1
 L g m o s a m á p p t (0 69 1 31)
 L g m o s a m p p t (0 63 1 37)
 G m m á p p t (0 54 1 46)
 G m m p e c p t = (0 78 1 22)
 V [3]
 b A 12 m d l b
 R g ó g f t 195% d f (0 01 < P ≤ 0 05)
 R g g f t 190% d f (P ≤ 0 01)
 NS — g f t

De las leguminosas las más productivas en promedio son *S guianensis* CIAT 136 y *A histrix* CIAT 9690 con producciones de alrededor de 3000 kg MS/ha a las 12 semanas del rebrote. En un segundo plano —con aproximadamente 2200 kg MS/ha a las 12 semanas— se ubican *D gyroides* CIAT 3001 *D ovalifolium* CIAT 350 *P phaseoloides* CIAT 9900 *S capitata* CIAT 1097 y *Z latifolia* CIAT 728.

Comparando los valores de productividad en promedio por ecotipo para los periodos de máxima y mínima precipitación se observa un alto grado de consistencia en su comportamiento ($r = 0.88$). Los más productivos durante el período lluvioso son también los más productivos en el periodo seco y lo mismo sucede con los menos productivos. Este resultado indica que las condiciones climáticas durante el periodo de mínima precipitación no son tan extremas como para alterar su orden de producción.

Se observan también (Cuadro 8) los índices de adaptabilidad b tanto para el periodo de máxima como para el de mínima precipitación todos ellos a excepción de *A. histrix* CIAT 9690 y de *C. pubescens* CIAT 438 en el periodo seco resultaron significativos. Estos valores de b igual que en la sabana y solo en la época lluviosa tienden a ser más altos cuanto mayor es el promedio de productividad alcanzado por el ecotipo. Así observamos que *S. guianensis* CIAT 136 y 184 cuyo nivel de producción es el más alto son los ecotipos que presentan valores de b más altos en ambos periodos por el contrario los materiales con productividad menor (*D. heterophyllum* CIAT 3449 *C. pubescens* común) presentan valores de b relativamente bajos.

Este hecho sugiere una vez más que en este tipo de germoplasma adaptabilidad y productividad están por lo regular positivamente relacionados. Cuando un material está adaptado es capaz de expresar mejor su potencial de productividad y esto lo hace a su vez más sensible a cambios en la calidad del ambiente.

La Figura 3 (pág. 435) clasifica las leguminosas en los ecosistemas de bosque empleando el mismo método de cuadrantes. En consonancia con lo anteriormente mencionado los ecotipos *S. guianensis* CIAT 136 y 184 son los que en las épocas de máxima y mínima precipitación presentan una productividad mayor y una respuesta alta a cambios en el ambiente. *Z. latifolia* CIAT 728 y *S. capitata* CIAT 1097 son leguminosas con un comportamiento intermedio. Esta última mantiene su productividad en las dos estaciones y aumenta su respuesta al ambiente en el periodo seco. *Z. latifolia* CIAT 728 presenta una productividad mayor durante el periodo lluvioso y una productividad menor en la época de mínima precipitación reduciendo durante este periodo su respuesta al ambiente.

P. phaseoloides CIAT 9900 *D. ovalifolium* CIAT 350 *C. pubescens* CIAT 438 y *C. pubescens* común son materiales que consistentemente durante máxima y mínima precipitación se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo con productividades menores que el promedio y una respuesta baja a cambios en el ambiente. Debe aquí separarse el caso de *D. ovalifolium* CIAT 350 que mantuvo constantemente su producción alrededor del promedio durante las dos épocas mostrando una baja respuesta a los cambios en el ambiente.

La Figura 3 ilustra con más datos que la Figura 2 el alto grado de correlación entre a —productividad media del ecotipo en el ecosistema— y b —índice de adaptabilidad. Los coeficientes de correlación fueron $r = 0.91$ para la época de máxima precipitación y $r = 0.86$ para la época de mínima precipitación.

Estos resultados sugieren la hipótesis de que los materiales más adaptados expresan mejor su potencial de productividad y cuando carecen de factores restrictivos son más sensibles a los cambios del ambiente. En cambio los ecotipos menos adaptados afrontan limitantes del suelo, del clima o bióticos que tienden a impedir la expresión total de su potencial de productividad haciéndolos menos sensibles a cambios menores en la calidad del ambiente.

Análisis combinado para el germoplasma común a los ecosistemas de sabana tropical y de bosque tropical

Con la intención de obtener información sobre el comportamiento del germoplasma probado por la RIEPT no sólo dentro de cada ecosistema mayor sino también en los ecosistemas considerados (Sabana Tropical Isohipertérmica y bosques tropicales) se utilizaron las producciones de materia seca (kg/ha a 12 semanas del rebrote) de dos ecotipos de gramíneas —*A. gayanus* CIAT 621 y *B. decumbens* CIAT 606— y seis de leguminosas —*A. histrix* CIAT 9690 *D. gyroides* CIAT 3001 *P. phaseoloides* CIAT 9900 *S. capitata* 1405 *D. ovalifolium* CIAT 350 y *Z. latifolia* CIAT 728— es decir aquéllos comunes a las pruebas hechas en ambos ecosistemas

En las gramíneas este análisis indicó (Cuadro 9) que los promedios de productividad de los dos ecosistemas difieren ($P \leq 0.05$) tanto durante el periodo de máxima como en el de mínima precipitación siendo las medias de producción en este último periodo de 5120 y 275 kg MS/ha a 12 semanas del rebrote para bosques tropicales y sabana tropical respectivamente y en el periodo de máxima precipitación esas medias fueron de 6742 y 2040 kg MS/ha a 12 semanas. Estos resultados son sin duda una explicación parcial de los mayores niveles de productividad que se obtienen en los ecosistemas de producción de los bosques tropicales aun con mínimos niveles de tecnología y manejo. Entre los factores de producción que explican esta mayor productividad del bosque tropical deben mencionarse

- a) una tendencia hacia la mejor fertilidad en los suelos de los bosques
- b) una época de mínima precipitación menos drástica y
- c) una menor presión de factores bióticos

En las leguminosas sin embargo el análisis estadístico no detecta diferencias en productividad entre los ecosistemas durante los periodos de máxima precipitación a pesar de que las medias de producción fueron de 2463 y 1469 kg MS/ha a 12 semanas para bosques y sabana tropical respectivamente debido tal vez a la muy alta diferencia ($P \leq 0.01$) entre localidades dentro de cada ecosistema. Por el contrario en la época de mínima precipitación si se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre la productividad en promedio de los dos ecosistemas que fue de 2061 y 91 kg MS/ha a 12 semanas para bosques y sabana tropical respectivamente

El hecho de que las diferencias entre localidades sean en todos los casos iguales o mayores que las existentes entre los ecosistemas y que estas diferencias estén a veces enmascarando el efecto del ecosistema para el análisis estadístico sugiere la siguiente conclusión la separación entre ecosistemas basados exclusivamente en parámetros climáticos (Cochrane 1982) —si bien es de utilidad para la localización fundamento de las pruebas de germoplasma en la RIEPT— arroja datos que muestran cierto grado de

sobreposición en el efecto de los ecosistemas sobre el germoplasma. Este resultado podía esperarse sin embargo llama la atención sobre la importancia de considerar en la separación de unidades de ecosistema otros factores como el suelo, el drenaje, la topografía y los elementos bióticos que definan con mayor precisión el comportamiento del germoplasma.

La interacción ecotipo x ecosistema no fue significativa en todos los casos excepto con las leguminosas en el periodo lluvioso. Esta interacción significativa nos indica un comportamiento relativamente diferente entre las leguminosas cuando son expuestas a los diferentes ecosistemas. Analizando los datos individuales de producción se observó que *S. capitata* CIAT 1405 es el responsable de la significancia en esta interacción al producir menos que las otras leguminosas en los bosques tropicales y más que las otras en la sabana tropical, resultado que concuerda con el alto grado de adaptación de esta leguminosa a las condiciones de sabana y su poca adaptación a las condiciones de bosque. La diferencia ($P \leq 0.5$) en el periodo lluvioso entre dos ecotipos de gramíneas *A. gayanus* y *B. decumbens* de 7023 y 5037 kg MS/ha a 12 semanas respectivamente confirma el potencial del *A. gayanus* en condiciones favorables de precipitación.

Cuadro 9. Análisis de varianza para producción (kg MS/ha a 12 semanas del rebrote) de germoplasma común probado en los ecosistemas de bosques tropicales y de Sabana Tropical Isohípertermica.

Fuente de acción	Periodo de máxima precipitación		Periodo de mínima precipitación	
	GL	F	GL	F
GRAMINEAS				
Ecosistema	1	5.7	1	4.9
Localidad (Ecosistema)	16	4.1	19	18.5
Rep. (Ecosistema x Localidad)	45		52	
Ecotipo	1	4.3	1	3.5 ^{NS}
Ecosistema x Ecotipo	1	0.7 ^{NS}	18	0.4 ^{NS}
Localidad x Ecotipo (Ecosistema)	15		18	
Residuo	43		46	
Total corregido	122		138	
Promedio	6054		4493	
CV (%)	68		30	
LEGUMINOSAS				
Ecosistema	1	1.2 ^{NS}	1	3.9
Localidad (Ecosistema)	18	18.6	19	8.8
Rep. (Ecosistema x Localidad)	50		53	
Ecotipo	5	3.5	5	5.6
Ecosistema x Ecotipo	5	5.7	5	1.2 ^{NS}
Localidad x Ecotipo (Ecosistema)	81		81	
Residuo	212		212	
Total corregido	372		376	
Promedio	2276		1800	
CV (%)	50		98	

Ef g f vo $0.01 \leq P < 0.05$
 Ef g f $P \leq 0.01$

Conclusiones y recomendaciones

Este análisis es solo un primer intento de procesamiento estadístico de la información generada en los ensayos de la RIEPT. Existen otras posibilidades de análisis ya sea cambiando el procedimiento o reagrupando los datos.

La información obtenida sobre rendimientos de materia seca ha sido muy completa. Sin embargo, la información recibida sobre la caracterización del suelo y el clima durante el periodo de evaluación ha sido deficiente. Esta limitación ha reducido fuertemente las opciones de análisis e interpretación.

La alta consistencia entre los resultados del análisis combinado efectuado y los resultados presentados por localidad durante la II Reunión de la RIEPT muestran que la metodología de manipuleo y análisis de la información es adecuada a pesar de sus limitaciones cuando se trata de obtener con ella una explicación de las relaciones causa efecto.

Los resultados logrados hasta la fecha indican que existe una alta correlación entre adaptabilidad y productividad y sugieren que ecotipos con alta capacidad de respuesta a cambios en la calidad del ambiente manifiestan en general alta productividad. Dicho en otra forma, ecotipos no enfrentados a limitantes del suelo, del clima o de carácter biótico pueden expresar mejor su potencial genético de producción que aquellos sometidos a restricciones que tiendan a uniformar muy por debajo su potencial genético de producción.

Los resultados de la primera ronda de ERB en Sabanas Tropicales Bien Drenadas Isohipertérmicas definen a *Stylosanthes capitata* como la especie de leguminosa con mejor adaptación a ese ecosistema, siendo sus ecotipos más productivos los siguientes: CIAT 1315, CIAT 1318, CIAT 1342, CIAT 1405, CIAT 1693 y CIAT 1728. Entre las gramíneas *A. gayanus* CIAT 621 y *B. decumbens* CIAT 606 fueron productivas y se mostraron bien adaptadas. Estos materiales deberán adelantarse a los ensayos bajo pastoreo ERC y ERD.

En los ecosistemas de bosque tropical, los ERB identificaron como leguminosas de alta productividad y adaptabilidad a *S. guianensis* CIAT 136 y 184, al igual que *Z. latifolia* CIAT 728, *S. capitata* 1097 y *D. ovalifolium* CIAT 350. Estos materiales deberán movilizarse a las pruebas bajo pastoreo ERC y ERD.

El análisis de varianza con materiales comunes a los diferentes ecosistemas ensayados (sabanas isohipertermicas y bosques tropicales) muestra una productividad mayor tanto en las gramíneas como en las leguminosas en los ecosistemas de bosques tropicales.

Las altas diferencias en productividad entre localidades —de igual o mayor magnitud que entre ecosistemas— señalan la necesidad de hacer la separación de ecosistemas utilizando además de los parámetros climáticos otros que ayuden a explicar con más precisión el comportamiento del germoplasma.

Referencias

- Amé q t MC 1982 R pl o p m t y ál d l fo m ó E Tol d JM (ed)
M lp l l g om R d l t c ld E l ó d P t T p c l CIAT
C l C l mb p 117 125
- C ch TT 1982 C t c ó g l g ap ld oll d p t lo á c do d
Am t p l E Tol do JM (d) M lp l l ó g ó m R d l t ld
E l d P t Top l CIAT C l C l mb p 23 44
- C h TT y J PG 1981 S f t dt l w t o p t t l pot a p to
t p l Am C l C l mb (mp o)
- Eb h t SA y R ll WA 1966 St bl typ m te f mp g t Crop S 1135 140
- M l t h MS 1982 A ly f mb d p m t S e t f t le A 3167 Ag my D pt
U ty of M y i d p 153 155
- Tol d JM y S h l t K ft R 1982 M t d l g p l l ó gr ó m d p to top l
E JM T led o (d) M lp l e l ó g o ó m R d l te o ld E l ó d
P st Top le CIAT C l Colomb p 91 110