

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA

PROGRAMA DE POSGRADO

DETERMINACIÓN DE MECANISMOS DE INTERFERENCIA POR
ALELOPATIA Y REQUERIMIENTOS EXTERNOS E INTERNOS DE FOSFORO
EN PASTO RATANA (*Ischaemum indicum* (Houtt) Merrill)

Tesis sometida a consideración del Comité Técnico Académico
del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y
Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

Magister Scientiae

POR

ESTEBAN AROSEMENA JAEN

CATIE

Turrialba, Costa Rica

1990

DEDICATORIA

Al investigador y extensionista

Al productor pecuario

Al asalariado del campo

Al estudiante de ciencias agropecuarias

A la memoria de mi madre

A mi padre y hermanos

A mi esposa e hijo

A mis amigos y familiares

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento:

Al Dr Danilo Pezo, Profesor Consejero, por su orientación en el presente trabajo.

A los Drs. Ramiro de la Cruz, Donald Kass y Pedro Argel, miembros del Comité Asesor, por su colaboración y aporte.

Al Mag. Sc. Muhammad Ibrahim por su apoyo en el trabajo de campo.

A los Drs. Roberto Díaz-Romeu, Carlos Ramírez, Rosemary Bradley, Pedro Ferreira, María Julia Mazzarino y Gilda Piaggio por su ayuda.

Al Personal de los Laboratorios de Suelos, Microbiología y Nutrición Animal del CATIE, en especial Gerardo Rodríguez y Mario Jiménez por su colaboración.

Al Personal del Centro de Cómputo, en especial a Gustavo López.

Al Personal de la Biblioteca Orton, en especial a Lisseth Brenes Binns y Rigoberto Aguilar.

Al Personal de la Unidad de Producción de Medios.

A los Estudiantes, Profesores y Personal de Campo y Administrativo del Area de Producción Animal, especialmente Gilbert Alagón y Rosemary Garro.

Al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

Al Gobierno de Holanda, por su apoyo económico.

Al Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID) por el apoyo económico parcial para el desarrollo del presente trabajo.

BIOGRAFIA.

El autor nació el 16 de junio de 1951 en la ciudad de Penonomé, República de Panamá.

Realizó sus estudios primarios en la Escuela República de México, de bachillerato en el Colegio Javier y Universitario en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Panamá donde obtuvo el título de Licenciado en Ingeniería Agronómica con especialización en Fitotécnia.

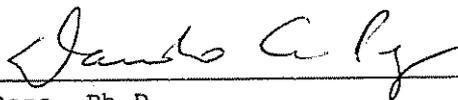
Ha realizado estudio en Pastos y Forrajes en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); de Economía en la Universidad Complutense de Madrid (España) y de Rizobiología en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Porto Alegre (Brasil).

En Septiembre de 1988, ingresó al Programa de Posgrado del CATIE, obteniendo en noviembre de 1990 el grado de Magister Scientiae, con énfasis en Nutrición de Rumiantes.

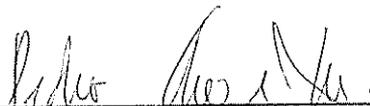
Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

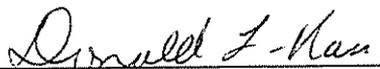
COMITE ASESOR:



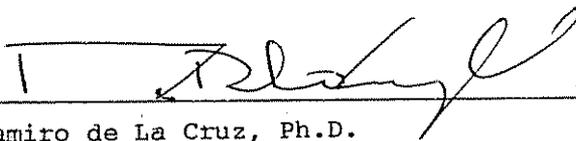
Daniilo Pezo, Ph.D.
Profesor Consejero



Pedro Argel, Ph.D.
Miembro del Comité



Donald Kass, Ph.D.
Miembro del Comité

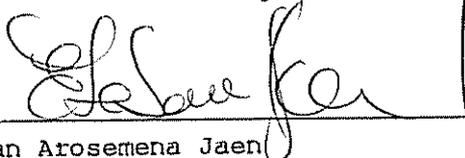


Ramiro de La Cruz, Ph.D.
Miembro del Comité



Ramón Lastra Rodríguez, Ph.D.
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado

Dr. José Luis Parisi
Subdirector General Adjunto de Enseñanza



Esteban Arosemena Jaen
Candidato

INDICE GENERAL

	página
RESUMEN.....	XV
SUMMARY.....	xvii
1 INTRODUCCION.....	1
2 HIPOTESIS.....	3
3 REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1 Generalidades de la especie <i>I. indicum</i>	4
3.1.1 Origen, introducción y distribución..	4
3.1.2 Crecimiento y habitat.....	5
3.1.3 Competividad y dominancia.....	6
3.1.4 Potencial forrajero, manejo y utili- zación.....	8
3.2 Mecanismos de interferencia.....	8
3.2.1 Interferencia por competencia.....	9
3.2.2 Interferencia por alelología.....	10
3.2.2.1 Importancia agroecológica..	10
3.2.2.2 Origen, naturaleza y forma de actuar de la sustancias ale- lopáticas.....	12
3.2.2.3 Metodologías para la evalua- ción de efectos alelopáti- cos.....	14
3.2.2.4 Factores que afectan la can- tidad de compuesto alelopá- tico producido por la plan- ta.....	16
3.3 Requerimiento externo e interno de fósforo.	17
3.3.1 Importancia del fósforo y su problemá- tica en los suelos tropicales.....	17
3.3.2 Requerimiento externo de fósforo....	18
3.3.3 Requerimiento interno de fósforo....	20

4	MATERIALES Y METODOS.....	21
4.1	Localización y Metodología general.....	21
4.2	Efecto de los residuos de hojas, tallos y material muerto.....	21
4.2.1	Procedimiento general.....	21
4.2.2	Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental.....	23
4.3	Determinación del efecto alelopático a través del suelo.....	25
4.3.1	Procedimiento general.....	25
4.3.2	Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental.....	28
4.4	Determinación del efecto de las emanaciones volátiles.....	28
4.4.1	Procedimiento general.....	28
4.4.2	Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental.....	30
4.5	Evaluación del efecto de competencia y alelopatía.....	31
4.5.1	Procedimiento general.....	31
4.5.2	Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental.....	33
4.6	Requerimiento externo e interno de fósforo del <i>I. indicum</i> y <i>B. brizantha</i> CIAT 6780...	34
4.6.1	Procedimiento general.....	34
4.6.2	Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental.....	36
5	RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
5.1	Efecto alelopático de los residuos de la parte aérea del <i>I. indicum</i>	38
5.1.1	Efecto sobre el porcentaje de emergencia.....	38
5.1.2	Efecto sobre el crecimiento radicular y parte aérea.....	44

5.2	Efecto alelopático a través del suelo obtenido de potreros de <i>I. indicum</i>	49
5.2.1	Características de fertilidad de los suelos.....	49
5.2.2	Efecto sobre el porcentaje de emergencia.....	49
5.2.3	Efecto sobre el crecimiento radicular y parte aérea.....	52
5.3	Efecto de las emanaciones volátiles del pasto ratana sobre el <i>B. brizantha</i> y <i>A.</i> <i>pintoi</i>	57
5.4	Evaluación del efecto de la interferencia por competencia y por alelopatía de la planta viva de <i>B. indicum</i>	60
5.4.1	Efecto sobre crecimiento.....	60
5.4.2	Efecto sobre la concentración foliar de macro y micro elementos.....	66
5.5	Requerimiento externo e interno de fósforo	70
5.5.1	Caracterización fisico-química del suelo.....	70
5.5.2	Isoterma de adsorción de fósforo....	70
5.5.3	Rendimiento de materia seca del <i>B.</i> <i>brizantha</i> y <i>I. indicum</i> .	71
5.5.4	Análisis foliar	79
5.5.5	Requerimiento externo de fósforo....	83
5.5.6	Requerimiento interno de fósforo....	87
5.6	Discusión general.....	89
6	CONCLUSIONES.....	92
7	RECOMENDACIONES.....	94
8	BIBLIOGRAFIA.....	96
9	ANEXO.....	105

Cuadro 13	Interferencia del <i>I. indicum</i> sobre el contenido de elementos en <i>O. sativa</i> , <i>B. brizantha</i> y <i>A. pintoii</i> , a las 10 semanas de sembrado. Expresado en porcentaje.....	67
Cuadro 14	Parámetros de las curvas de respuestas al fósforo ($Y = A + B (1 - \exp(-c \cdot p))$).....	79
Cuadro 15	Promedios del contenido de nutrientes en el tejido por especie en el ensayo de requerimientos externos e internos de fósforo	80
Cuadro 16	Requerimientos externos e internos de fósforo estimado con el 95 % del rendimiento máximo.....	85

LISTAS DE FIGURAS

		página
Figura 1	Efecto de los residuos de <i>I. indicum</i> depositado en la superficie sobre la emergencia relativa con respecto al control....	40
Figura 2	Efecto de los residuos de <i>I. indicum</i> incorporado al suelo sobre la emergencia relativa con respecto al control.....	41
Figura 3	Efecto de los residuos de <i>I. indicum</i> depositado en la superficie sobre los rendimientos relativos.....	46
Figura 4	Efecto de los residuos de <i>I. indicum</i> incorporado al suelo sobre los rendimientos relativos.....	47
Figura 5	Efecto alelopático del <i>I. indicum</i> a través del suelo sobre la emergencia relativa con respecto al control.....	51
Figura 6	Efecto alelopático del <i>I. indicum</i> a través del suelo sobre los rendimientos relativos.....	55
Figura 7	Efecto de los gases volátiles emanados del <i>I. indicum</i> sobre los rendimientos relativos.....	59
Figura 8	Efecto de los tipo de interferencia del <i>I. indicum</i> sobre los rendimientos relativos...	62
Figura 9	Isoterma de adsorción de fósforo del suelo Las Palmitas-Cariari, Costa Rica.....	72
Figura 10	Efecto de los niveles de fósforo sobre la biomasa del <i>B. brizantha</i> CIAT 6780 o <i>I. indicum</i>	74

Figura 11 Efecto de los niveles de P aplicado sobre la biomasa aérea 77

Figura 12 Efecto de los niveles de P aplicado sobre la biomasa radicular 77

Figura 13 Efecto de los niveles de P aplicado sobre la biomasa total ($Y = A + B*(1-\exp(-P*c))$). 78

Figura 14 Efecto de los niveles de P aplicado sobre el contenido de P en el tejido..... 82

Figura 15 Requerimiento externo de fósforo del *B. brizantha* CIAT 6780 e *I. indicum*..... 84

Figura 16 Requerimiento interno de fósforo del *B. brizantha* CIAT 6780 e *I. indicum*..... 88

LISTAS DE CUADROS DEL ANEXO

		página
Cuadro 1A	Resumen de análisis de varianza para el efecto de residuos de <i>I. indicum</i> sobre el porcentaje de emergencia de las tres especies receptoras.....	106
Cuadro 2A	Resumen de análisis de varianza para el efecto de residuos de <i>I. indicum</i> sobre la biomasa radicular, parte aérea y total en tres especies receptoras.....	107
Cuadro 3A	Resumen de análisis de varianza para el efecto alelopático a través del suelo sobre el porcentaje de emergencia en tres especies receptoras.....	108
cuadro 4A	Resumen de análisis de varianza para el efecto alelopático a través del suelo sobre la biomasa radicular, parte aérea y total en tres especies receptoras.....	109
Cuadro 5A	Resumen del análisis de varianza para el efecto alelopático de las emanaciones volátiles.....	110
Cuadro 6A	Resumen del análisis de varianza para el efecto del tipo de interferencia del <i>I. indicum</i> sobre el crecimiento de tres especies indicadoras.....	111
Cuadro 7A	Resumen del análisis de varianza para los efectos del tipo de interferencia sobre el contenido de nutrientes en el tejido...	112
Cuadro 8A	Resumen del análisis de varianza para el efectos de los niveles de fósforo y de especie sobre la biomasa total y sus componentes.....	113
Cuadro 9A	Resumen del análisis de varianza para el efecto de los niveles de fósforo y de especie sobre los contenidos de nutrientes en el tejido.....	114
Cuadro 10A	Efecto de los residuos de hojas, tallos y material muerto del <i>I. indicum</i> sobre la biomasa radicular, aérea y total. Expresado en mg/maceta.....	115
Cuadro 11A	Efecto alelopático del <i>I. indicum</i> a través del suelo sobre la biomasa radicular, aérea y total. Expresado en mg/maceta.	116
Cuadro 12A	Efecto de especie sobre la biomasa total y sus componentes.....	117

Cuadro 13A	Efecto de los niveles de fósforo sobre la biomasa total y sus componentes...	118
Cuadro 14A	Efecto de los niveles de fósforo sobre el contenido de macroelementos en el tejido.....	119
Cuadro 15A	Efecto de los niveles de fósforo sobre el contenido de microelementos en el tejido.....	120
Cuadro 16A	Coefficientes de correlación de Pearson entre las variables analizadas.....	121
Cuadro 17A	Comparación del R ² de diferentes modelos para las variables de rendimientos evaluado en el ensayo de requerimiento externo e interno de fósforo.....	122
Cuadro 18A	Comparación del R ² de diferentes modelos para las variables de rendimientos evaluado en el ensayo de requerimiento externo e interno de fósforo.....	123
Cuadro 19A	Rendimiento relativo de la planta, concentración de fósforo en la solución suelo y en el tejido foliar, asociado con diferentes tratamientos de fertilización fosfatada.....	124

AROSEMENA, E. 1990. Determinación de mecanismos de interferencia por alelopatía y requerimientos externos e internos de fósforo en pasto ratana (*Ischaemum indicum* (Houtt) Merrill). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 124 p.

Palabras clave: Alelopatía, *Ischaemum indicum*, *B. brizantha*, *Oriza sativa*, *Arachis pintoi*, suelo, residuos, gases volátiles, interferencia, requerimiento externo e interno de fósforo, isoterma de adsorción de fósforo.

RESUMEN

Se evaluó el potencial alelopático del pasto ratana (*Ischaemum indicum*) sobre la emergencia y crecimiento de tres especies receptoras (*Oriza sativa*, *Brachiaria brizantha*-CIAT 6780 y *Arachis pintoi* CIAT 17434) y se determinó los requerimientos externos e internos de fósforo de *I. indicum* y *B. brizantha* CIAT 6780).

Para ello se realizaron cinco ensayos en los invernaderos del CATIE en Turrialba, Costa Rica.

En el primer ensayo se evaluó el efecto de los residuos de la parte aérea de ratana a una concentración de 9 g MS/1.8 kg de suelo, bajo dos formas de colocación: depositado en la superficie e incorporados al suelo. Se observó efecto ($P \leq 0.05$) negativo de los residuos en la emergencia y el peso de la biomasa radicular del arroz; estimulador en el crecimiento aéreo del *B. brizantha* y detrimental en el crecimiento radicular del *A. pintoi*.

En el segundo ensayo se evaluó el efecto alelopático a través de un suelo obtenido de un potrero de ratana. El efecto a través del suelo ($P \leq 0.05$) fue inhibitorio sobre el crecimiento de la biomasa aérea y radicular del arroz y en la emergencia y el peso de la biomasa radicular del *A. pintoi*.

En el tercer ensayo se evaluó el efecto de los gases volátiles liberados de plantas de ratana en crecimiento activo sobre la emergencia y crecimiento del *A. pintoi* y *B. brizantha*. Se encontró efecto negativo ($P \leq 0.05$) de los gases sobre el crecimiento radicular y aéreo del *B. brizantha*. En los tres primeros ensayos las plantas receptoras se evaluaron hasta los 21 días de sembrado.

En el cuarto ensayo se evaluó el efecto de interferencia por alelopatía y por competencia del pasto ratana sobre el crecimiento de las tres especies receptoras, desde las 2 hasta las 10 semanas después de sembradas. Se encontró un efecto detrimental ($P \leq 0.05$) de la interferencia total sobre la biomasa aérea y radicular de las tres especies, siendo *O. sativa* y *A. pintoi* las especies más afectadas. Una pequeña parte de ese efecto se debió en *O. sativa* y *B. brizantha* a la interferencia por encima del

suelo (gases volátiles y luz) y la mayor parte a la competencia radicular. El potasio pareció ser el elemento más crítico, al registrarse en el tratamiento de interferencia total bajo contenido del elemento en el tejido de las tres especies indicadoras. Las diferencias observadas con respecto al tratamiento sin interferencia fueron significativas en el *A. pintoii* y *O. sativa*; sin embargo el lixiviado del pasto ratana pareció ejercer un efecto detrimental sobre la absorción del ión K, siendo significativa su acción en *A. pintoii*.

En el quinto ensayo se estimó la isoterma de adsorción de fósforo de un suelo de la localidad Las Palmitas-Cariari, para determinar los requerimientos externo de fósforo necesarios para obtener el 95 % del rendimiento máximo. El requerimiento externo de fósforo fue de ≤ 0.0139 y ≤ 0.0131 ug de P/ ml de suelo en el *I. indicum* y *B. brizantha*, respectivamente. La concentración de P en el tejido asociado con el 95 % del rendimiento máximo fué mayor en el *B. brizantha* que en el *I. indicum* (0.19 y 0.15%, respectivamente).

AROSEMENA, E. 1990. Determination of allelopathic mechanisms of interference, and external and internal phosphorus requirements in ratana grass (*Ischaemum indicum* (Houtt) Merrill). Mag. Sci. Thesis. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 124 p.

Key-words: Allelopathy, *Ischaemum indicum*, *Brachiaria brizantha*, *Arachis pintoii*, *Oriza sativa*, soils, litter, volatile allelochemicals, interference, external and internal phosphorus requirements, phosphorus sorption isotherms.

SUMMARY

The allelopathic potential of ratana grass (*Ischaemum indicum*) to affect the emergence and growth of three recipient species (*Oriza sativa*, *Brachiaria brizantha* CIAT 6780 and *Arachis pintoii* CIAT 17434) was evaluated in the present study. Also, the external and internal phosphorus requirements were determined for *I. indicum* and *B. brizantha* CIAT 6780. For this purpose, five experiments were carried out under greenhouse conditions at Catie, Turrialba, Costa Rica.

In the first experiment, the effect of two forms of deposition of ratana grass litter (on the surface or incorporated to the soil) on the emergence and growth of the recipient species was evaluated. The amount of litter used of per pot was 9 g DM/1.8 kg of soil. Regardless of the form of litter deposition, it affected ($P < 0.05$) negatively the emergence and root biomass growth in *Oriza sativa*, had a detrimental effect on root growth in *Arachis pintoii*, but showed a positive effect on aerial biomass growth in *Brachiaria brizantha*.

In the second experiment, the allelopathic effect of the underground biomass present in ratana grass pastures was determined using the same three recipient species. The results obtained showed deleterious effects ($P < 0.05$) of this material on the growth of the aerial and root biomass in *O. sativa*, and on the emergence and root growth in *A. pintoii*.

In the third experiment, the effects of volatile compounds released from immature ratana grass plants on the emergence and growth of *A. pintoii* and *B. brizantha* were evaluated. Negative effects ($P < 0.05$) of these volatile compounds were detected only in *B. brizantha*, which showed depressed root and aerial biomass growth.

In the fourth experiment, the effect of different forms of interference (Allelopathy and competition) exerted by ratana grass was evaluated using the same three recipient species, but the measurements were made until the plants had 10 weeks of age. All three species showed the lowest ($P < 0.05$) root and aerial biomass yields when subject to maximum interference, but *O. sativa* and *A. pintoii* were the

most affected. A small portion of these effects could be attributed to the above-ground interference (light interception and volatile compounds), whereas the most seems to be due to root competition. Potassium appears to be the most critical nutrient, since the lowest tissue concentrations of this element occurred in all three species, when grown under maximum interference. Significant differences between the latter and the control treatment were observed only for *A. pintoï* and *O. sativa*; however, only in the case of *A. pintoï*, the ratana grass leachates seemed to have significant ($P < 0.05$) deleterious effects on potassium ion absorption.

In the fifth experiment, the phosphorus sorption isotherm was determined for an experimental soil collected from a site located at Las Palmitas-Cariari. The external phosphorus requirements (95% maximum yield) for *I. indicum* and *B. brizantha* CIAT 6780 were 0.0139 and 0.0131 ug P/ml of soil solution, respectively. The phosphorus tissue content associated to 95% maximum yield was higher in *B. brizantha* CIAT 6780 (0.19%) than in *I. indicum* (0.15%).

1. INTRODUCCION

La colonización y establecimiento de la ganadería en la zona del Bosque Muy Húmedo tropical de Centroamérica ha alcanzado en las últimas décadas un gran auge. A lo anterior ha contribuido la existencia de pastos invasores, de fácil establecimiento y con buena persistencia

En Costa Rica y Panamá el pasto ratana (*Ischaemum indicum*) ha jugado un papel importante en ese proceso de colonización; sin embargo, en la actualidad se le considera sólo apto para la ganadería extensiva, debido a su baja capacidad de carga. Por otra parte, productores con sistemas de producción más intensivos consideran esta especie como una maleza invasora.

Muchos son los factores que pueden contribuir a la habilidad invasora de este pasto, uno de ellos puede ser un probable efecto alelopático sobre otras especies deseables; pero también puede ser su capacidad de adaptación a factores críticos, sean estos bióticos o abióticos. Entre los primeros se incluye la resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, mientras que entre los segundos, se pueden citar su probable tolerancia a suelos ácidos y niveles altos de aluminio, o su habilidad para crecer en suelos con bajo contenido de fósforo.

Para definir una estrategia de prevención, erradicación y sustitución del pasto ratana por otras especies más productivas, es necesario determinar los mecanismos de invasión y exclusión que posee la especie. Igualmente, el conocimiento de dichos mecanismos permitirá explorar con mayores bases la posibilidad de mejorar las pasturas de pasto ratana mediante su asociación con leguminosas. Pese a la gran difusión del pasto ratana en las zonas tropicales húmedas de Costa Rica y Panamá, éste ha sido poco estudiado.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

a) Evaluar el efecto alelopático del pasto ratana (*I. indicum*), sobre el crecimiento y desarrollo radicular de tres especies receptoras (*Oriza sativa*, *Brachiaria brizantha* CIAT 6780 y *Arachis pintoii* CIAT 17434).

b) Determinar los requerimientos externos e internos de fósforo en *I. indicum* y *B. brizantha*.

Las especies forrajeras *B. brizantha* y *A. pintoii*, utilizada como plantas indicadoras en este estudio, han sido seleccionadas en la zona como pastos promisorios y posibles sustitutos o componentes de los sistemas de pastura del trópico húmedo. Por su parte, el interés por el arroz (*O. sativa*) en el estudio obedece al hecho de haber sido utilizado como planta indicadora en estudios de evaluación del potencial alelopático de varias especies forrajeras tropicales y además por el hecho de ser un cultivo importante de la zona.

Con los resultados de esta investigación se pretende generar información básica que contribuya a la búsqueda de posibles alternativas de renovación de potreros invadidos por el pasto ratana.

2. HIPOTESIS

Las hipótesis planteadas para esta investigación fueron las siguientes:

-El lixiviado o los gases volátiles originados en la zona ocupada por el pasto ratana (*I. indicum*), ejercen efectos alelopáticos negativos sobre el crecimiento de la parte aérea y radicular del *O. sativa*, *A. pintoii* CIAT 17434 y *B. brizantha* CIAT 6780.

-El *I. indicum* tiene bajos requerimientos externos e internos de fósforo y éstos son similares a los de otras especies tolerantes a bajos niveles de fósforo disponibles en el suelo, como es el caso del pasto *B. brizantha* CIAT 6780.

3. REVISION DE LITERATURA

3.1 Generalidades de la especie *Ischaemum indicum*

3.1.1 Origen, introducción y distribución

El pasto *Ischaemum indicum* (Houtt) Merrill, conocido también por los sinónimos : *I. ciliare* Retz, *I. aristatum* auctt. non Linn. y *Pheleum indicum* Houtt , es una especie nativa y endémica del subcontinente Indio y Sureste de Asia. En algunas regiones del Asia se le menciona entre los pastos dominantes (Bharucha y Shankarnarayan, 1958; Bor, 1960). Este pasto es de introducción relativamente reciente en Centroamérica (Hunter, 1987); sin embargo, desde ante de 1948 está presente en América Tropical, pues se informa del establecimiento de dos accesiones de la especie, en Guyana (British Guiana, 1950). En la década de los sesenta se informó de su presencia en el trópico muy húmedo de Panamá, indicando que se trata de una gramínea invasora de los pastos mejorados (Aguila y Patiño, 1970; Pohl, 1980 citado por Hunter, 1987). En la actualidad está ampliamente difundida en dicha zona (Ortega y Rattray, 1986).

Pohl (1980), citado por Hunter (1987), indica que la primera colección hecha en Costa Rica se efectuó en 1966 en el Jardín de Introducción del IICA en Turrialba. Por su parte, las primeras colecciones del Herbario del Museo Nacional de Costa Rica se realizaron en regiones fronterizas con Panamá (Golfito en 1968 y Sixaola en 1976), lo cual señala a este país como posible lugar de procedencia de la especie (Hunter, 1987).

Por su parte, estudios de sucesión de especies realizados desde 1969 a 1976 cerca de Puerto Viejo de Sarapiquí (Costa Rica) indicaron que la especie no estaba presente en dicha zona; sin embargo, pocos años después, en la misma zona se realizaron colecciones del pasto establecido espontáneamente, cerca de La Caña donde se había sembrado la especie (Hunter, 1987). Ello indica que la especie es de introducción reciente a dicha región.

En la década de los setenta e inicios de los ochenta, el pasto fue rápidamente difundido entre los productores, al parecer debido a su facilidad de siembra, a la disponibilidad de semilla y a su rapidez de establecimiento (Villarreal, 1989).

Diagnósticos realizados en 1982, revelan que la especie representaba un 15.5% de las áreas de pasto en la Región Huetar Norte y un 14.5% en la Región Atlántica de Costa Rica, ocupando el segundo y tercer lugar en importancia, respectivamente (SEPSA, 1983, citado por Villarreal, 1989).

Estudios más recientes (CATIE/Coopemontecillos, 1987), revelan que el pasto ratana se encuentra presente en un 65% de las fincas encuestadas de la región Huetar Norte y en un 55% de las de la Región Atlántica. Estas cifras señalan que a nivel nacional, esta especie ha pasado de 4.3% de las áreas de pasto en 1982 a 20.0% en 1987 (Villarreal, 1989).

3.1.2 Crecimiento y habitat

El *I. indicum* es una gramínea agresiva, de porte bajo, que forma una cubierta densa y enmarañada, produce raíces por los nudos y es un prolífico productor de semilla. Es una planta de día corto que florece desde noviembre hasta febrero (Hunter, 1987). La semilla producida tiene latencia

variable, bajo condiciones óptimas de almacenamiento. A los cuatro meses de cosechado alcanza niveles de germinación apropiados para la siembra comercial, pero su nivel más alto de poder germinativo lo logra a los ocho meses (Bor, 1960). Bajo condiciones de campo su germinación es lenta, ocurriendo uno a dos meses después de la siembra (Havard-Duclos, 1969).

La especie se adapta bien a las siguientes zonas de vida : Bosque Húmedo, Muy Húmedo y Pluvial Tropical; y Bosque Húmedo, Muy Húmedo y Pluvial Premontano (Whyte, 1957; Hunter, 1987; Ortega y Rattray, 1986). Crece bien en todo tipo de suelos, de fértiles a muy pobres, de ligeramente alcalinos a muy ácidos, de muy húmedos a bien drenados. Así mismo, se desarrolla bien en cualquier tipo de topografía (Whyte, 1957; Havard-Duclos, 1969; Hunter, 1987; Ortega y Rattray, 1986).

Los informes en cuanto a la resistencia de la especie a la sequía son contrastantes, pues algunos investigadores la consideran muy poco resistente o resistente, pareciendo existir diferencias varietales (Havard-Duclos, 1969; Ortega y Rattray, 1986). A pesar de ello, se ha observado que la especie forma asociaciones dominantes en ecosistemas con periodo corto de sequía (Whyte, 1957).

3.1.3 Competividad y dominancia

Existe consenso en señalar la gran agresividad de la especie, lo cual le permite invadir y excluir otras plantas presentes en los potreros.

Havard-Duclos (1969) señala que forma una vegetación muy densa que llega a dominar a todas las demás gramíneas, incluido el género *Imperata*, el cual es reconocido en Asia como agresivo. Si bien la especie es de germinación lenta, con el tiempo termina dominando la pastura.

Por su parte, en la India (Whyte, 1957) se ha observado que forma asociaciones dominantes con *Pseudanthistiria*. Se sospecha que este tipo de asociación es un estado intermedio de sucesión vegetal, que puede ser regresivo o progresivo, dependiendo del uso y manejo de la tierra. Al parecer, el pastoreo favorece el dominio de la asociación sobre las especies de gramíneas de porte alto.

En estudios realizados en el nordeste de Costa Rica, cerca de La Virgen de Sarapiquí, en dos tipos de pasturas: la primera tradicional con especies nativas de gramíneas, ciperáceas y malezas de hoja ancha; la segunda predominantemente de pasto estrella (*Cynodon nlenfuensis*), se encontró que en el periodo de sólo un año, en ambos tipos de pasturas, el pasto ratana invadió y dominó la asociación vegetal presente, reduciendo marcadamente el número de especies y de plantas por especie (Hunter, 1987).

Por otro lado, en una encuesta realizada a 20 ganaderos de la región comprendida entre Puerto Viejo de Sarapiquí y Ciudad Quesada (Costa Rica) todos concordaron en señalar que el pasto ratana es la especie más agresiva y competitiva que existe en la zona y que en muy poco tiempo, el pasto ratana se ha convertido en una de las gramíneas dominantes. Esta especie ha invadido y eliminado los pastos sembrados, tales como *Axonopus scoparius*, *Brachiaria nutica*, *Cynodon dactylon*, *C. nlenfuensis*, *Panicum purpurascens* y *Panicum naxinum*, así como las malezas más comunes presentes en las pasturas (Hunter, 1987).

3.1.4. Potencial forrajero, manejo y utilización

Estudios preliminares realizados por varios autores, citados por Villarreal (1989), indican que en términos de producción de materia seca por hectárea, contenido de proteína cruda y digestibilidad, el pasto ratana es de menor valor forrajero que otras gramíneas, como son: *Cynodon nlenfuensis*, *Hemarthria altissima*, *Brachiaria ruziziensis*, *B. decumbens* y *Setaria sphacelata*. Además Hunter, (1987) indica que es poco apetecible por el ganado cuando se encuentra en el período de floración.

Por su parte, la especie fue seleccionada en Panamá para ser utilizada en los sistemas extensivos de producción bovina en el trópico muy húmedo, pero fue considerada indeseable para el trópico seco y húmedo debido a su pobre resistencia a la sequía (Ortega y Rattray, 1986).

En contraste, en experimentos llevado a cabo con varias especies nativas de la India se consideró un pasto satisfactorio, pues registra una buena producción de biomasa. El número de bovinos por area bruta de pasturas sembrada en los Estados de la India en que la especie es codominante varía en promedio de 0.96 an/ha en Bombay a 2.49 an/ha en Assam (Whyte, 1957). Por otra parte, estudios de fertilización del pasto ratana (Whyte, 1957; Havard-Duclos, 1969) indican que la especie responde adecuadamente a esta práctica.

3.2 Mecanismos de interferencia

Muller (1969) utiliza el término de interferencia para referirse a toda influencia de una planta sobre otra. Por su parte Szczepanski (1977), describe tres posibles mecanismos de interferencia: competencia por los factores de crecimiento (agua, nutrientes, espacio, luz, etc.), la

liberación al medio ambiente de fitotoxinas (alelopatía) y el contenido de sustancias tóxicas o repelentes que previene su consumo por los herbívoros (alelomedicación).

Por su parte, Rice (1984) señala que la confusión existente en la literatura es debida a que algunos biólogos consideran la alelopatía como parte de la competencia, en parte debido a que no existen técnicas que eliminen el posible efecto alelopático en los experimentos donde se estudian los factores de competencia.

3.2.1 Interferencia por competencia

En una comunidad vegetal, la planta depende para su sobrevivencia y desarrollo de la disponibilidad de nutrientes, agua, luz y espacio. Cuando el suministro de uno de estos factores está por debajo de la demanda combinada de la comunidad de plantas, se dice que empieza la competencia (Argel, 1988).

La habilidad competitiva es un carácter poligenético de las plantas que está relacionado con la adaptabilidad al medio ambiente, la morfología, la rapidez y uniformidad de germinación, el crecimiento de raíces y estolones, la arquitectura foliar, el tamaño de la hojas y la capacidad para extraer agua y nutrientes del suelo. En pasturas, el balance de la competencia es alterado significativamente por la incidencia de plagas y enfermedades, los sistemas y métodos de control de malezas, las prácticas de fertilización y el manejo del pastoreo (Argel, 1988).

Las limitaciones climáticas y de suelos favorecen la dominancia diferencial de las especies con mayor habilidad para la extracción de agua y nutrientes del suelo; pero una vez se modifican dichas condiciones limitantes, otras

especies pueden tender a dominar. Un ejemplo de ello es el caso de las sabanas húmedas tropicales, donde las gramíneas nativas de los generos *Trachypogon*, *Leptocoryphium*, *Aristida* y *Andropogon* tienen mayor capacidad de invasión y agresividad en condiciones de suelos infértiles que no hayan sido perturbados; sin embargo, al alterar la condición de suelo con preparación mecánica y la aplicación de enmiendas o fertilizantes, estas especies pierden agresividad y son reemplazadas por otras gramíneas más agresivas bajo esas condiciones, como son *Rynchelitrium repens*, *Panicum redgeii*, *Axonopus* spp. (Argel, 1988).

Por su parte, Serrao et al (1978) y Toledo y Morales (1978) encontraron en el trópico húmedo de la Amazonía que los pastos sembrados inmediatamente después de tumbar el bosque crecen vigorosos inicialmente, pero en la medida que la fertilidad disminuye, especialmente como consecuencia de disminución en el contenido de fósforo en el suelo, aparecen malezas y otras gramíneas de menor productividad, los cuales tienden a dominar la asociación.

En Queensland (Australia) se encontró que el uso de dosis crecientes de fósforo en asociaciones de *Setaria sphacelata* con varias leguminosas favoreció la dominancia de éstas sobre las malezas (*Axonopus affinis*, *Digitaria adscendens*, *Eragrotis* spp., así como algunas ciperáceas). Este comportamiento fue explicado con base en la baja capacidad de las malezas para hacer buen uso de la fertilización fosfatada (Blunt y Humphreys, 1970).

3.2.2 Interferencia por alelología

3.2.2.1 Importancia agroecológica

El efecto alelopático como mecanismo de exclusión y dominancia diferencial ha sido ampliamente discutido en la

literatura, incluso con referencia a varias gramíneas forrajeras.

Stachon y Zimdahl (1980) señalan que la baja diversidad de especies, acompañada de una alta población, puede ser indicativa de una acción alelopática de la especie dominante.

Liang et al (1983), al evaluar diferentes accesiones de *Cynodon plectostachyus*, *Digitaria decumbens*, *D. smutsii*, *D. diversinervis*, *D. swazilandensis* y *D. pentzii* en términos de su potencial para controlar las malezas, encontró una relación directa entre la agresividad y la fitotoxicidad de los extractos acuosos de las accesiones probadas en semillas de arroz y lechuga. Dichos autores propusieron que la dominancia diferencial y la habilidad invasora se debió probablemente a efectos alelopáticos competitivos.

Young (1983) estudió el problema del establecimiento de *Desmodium intortum* en una pastura de *Henarthria altissima* y encontró que la inhibición del crecimiento de la leguminosa se debió a un efecto alelopático. Así mismo, informó de diferencias varietales dentro de la especie *Henarthria altissima* en cuanto a su potencial alelopático.

Por su parte, Chou y Young (1975) encontraron presencia de fitotoxinas en 12 especies de pastos tropicales, a saber: *Chloris gayana*, *Panicum maximum*, *Digitaria decumbens*, *Brachiaria nutica*, *Paspalum plicatulum*, *Setaria sphacelata*, *Acroceras nacrum*, *Andropogon nodosus*, *Cynodon dactylon*, *Tripsacum laxum* y *Eragrostis curvula*. El extracto acuoso de la hojas de todas las especies inhibieron la germinación y crecimiento radicular de la lechuga. Los extractos de *C. gayana*, *D. decumbens* y *P. maximum* fueron los más tóxicos.

Putnam y Duke (1978) señalan que es posible que el efecto alelopático sea el principal mecanismo de interferencia en algunas especies y secundario en otras. Así mismo, sugieren que el incremento de la dominancia de ciertas malezas anuales y perennes, en muchos casos puede deberse al efecto alelopático. Sin embargo, ha existido dificultad en determinar la contribución relativa del efecto alelopático en la interferencia total (Rice, 1984).

Algunas de las malezas de importancia en las que se ha detectado un efecto alelopático son: *Echinochloa crusgallis*, *Cyperus rotundus*, *Sorghum halepense*, *Imperata cylindrica* y *Digitaria sanguinalis* (Rice, 1984).

3.2.2.2 Origen, naturaleza y forma de actuar de las sustancias alelopáticas

Los aleloquímicos aislados son productos del metabolismo secundario de las plantas y pertenecen a diferentes grupos químicos, a saber: los ácidos fenólicos, cumarinas, terpenoides, flavonoides, alcaloides, glicósidos cianogénicos y glucosinolatos (Whittaker y Feeny, 1971).

Algunos investigadores señalan que los aleloquímicos son sintetizados, bajo control genético, para funciones específicas, como resultado de estímulos externos (Swain, 1977). Su acción puede ser de defensa contra otras plantas, microorganismos patógenos o insectos (Putnam y Duke, 1978).

Otros investigadores consideran los aleloquímicos como productos finales del metabolismo. Muchos de ellos pueden ser tóxicos para las plantas que lo producen, razón por la cual la planta debe de excretarlos o neutralizarlos, para prevenir su acumulación en los tejidos que la producen (Tukey, 1969; Putnam y Duke, 1978).

Existen numerosas maneras en que los aleloquímicos son introducidos al ecosistema. Ellos puede ser por: a) exudados de las raíces; b) lixiviado del exudado de las hojas, tallos o frutos y c) liberación de sustancias volátiles a la atmósfera. En adición, los químicos pueden ser liberados de las hojas caídas en el suelo o de los tejidos de las raíces muertas. En este último caso, los microorganismos del suelo juegan un papel en liberar o sintetizar los compuestos tóxicos (Putnam, 1988).

Varios autores, citados por Rice (1984), encontraron en varios cultivos que la cantidad del exudado de la raíz producido en cinco horas variaba de 0.1-1 % del total de peso seco de la raíz, identificando en ellos algunos aleloquímicos reconocidos.

Patrick (1971) señala que la liberación de los aleloquímicos de los residuos vegetales es más abundante en los estados iniciales de descomposición. Por su parte, Chou y Patrick (1976) encontraron que la cantidad de compuestos alelopáticos liberados como resultado de la descomposición de los residuos son considerables. Rice (1984) señala que la estabilidad y residualidad de estos en el suelo varía mucho.

Chou (1980), en un estudio con *Acroceras nacrum*, *Cynodon dactylon*, *Chloris gayana*, *Digitaria decumbens*, *Eragrostis curvula* y *Panicum maximum*, identificó en el extractos acuoso de la planta los siguientes aleloquímicos: ácido ferúlico, ácido cumárico, ácido vanílico, ácido siríngico, ácido hidroxibenzoico y ácido hidroxifenil-acético.

Rice (1984) menciona diversos mecanismos de acción de los aleloquímicos, los cuales pueden actuar sobre: la división celular, la respiración, la permeabilidad de las

membranas, las hormonas de crecimiento, la apertura de los estomas, la fotosíntesis, la absorción de minerales y la síntesis de enzimas. En algunos casos, la alelopatía puede impedir el establecimiento de una planta o matar las plantas establecidas, pero el efecto más frecuente es la reducción del crecimiento.

Aparentemente la mayoría de los aleloquímicos que son inhibitorios a cierta concentración, pueden funcionar como estimulatorios a los mismos procesos, cuando se presentan en muy pequeñas concentraciones.

3.2.2.3 Metodologías para la evaluación de efectos alelopáticos

La mayor parte de los bioensayos para evaluar efectos alelopáticos se han hecho a nivel de laboratorio, mediante la preparación y aplicación de extractos de especies que se supone ejercen efectos alelopáticos sobre especies susceptibles. La comprobación en el campo de este fenómeno es bastante difícil, debido a que su acción se puede confundir con otro tipo de interacciones inter e intraespecíficas (Obando, 1987). Por otra parte, la técnica de laboratorio para la preparación y aplicación de extractos de plantas que se supone poseen efectos alelopáticos sobre especies susceptibles, no siempre ha estado correlacionado estadísticamente con lo que ocurre bajo condiciones naturales de campo (Rice, 1984 ; Stowe, 1979).

Putnam y Duke (1978) al discutir las diversas técnicas de bioensayos con extractos, indicaron que algunos de los métodos de extracción empleados no son muy efectivos en comprobar la influencia del fitotóxico bajo condiciones naturales. Por este motivo, sugieren los bioensayos con los lixiviados recolectados de plantas donantes en crecimiento.

En el suelo, las sustancias alelopáticas pueden ser desactivadas por adsorción a las partículas de arcillas o materia orgánica, o pueden ser descompuestas por los microorganismos. Al parecer, de las sustancias que entran al suelo, únicamente unas pocas pueden estar destinadas para ser absorbidas por las plantas (Fisher, 1980).

Otro método utilizado para evaluar lixiviado es el de separación de raíces, el cual consiste en mantener separada la rizósfera de la planta donante respecto de la planta receptora, pero sin evitar la influencia del lixiviado (Unamma y Akobundu, 1989).

También se han utilizado muestras de suelos conteniendo raíces, residuos de hojas y exudado de la planta donante como soporte para la germinación y el crecimiento de la planta receptora (White et al, 1989).

La metodología utilizada para evaluar los gases volátiles alelopáticos contempla la germinación de la semilla de las plantas indicadoras sobre o entre papel filtro o esponja de celulosa colocada en una bandeja adyacente a un pote que contiene la planta donante. Esta técnica ha dado resultados similares a los obtenidos bajo condiciones naturales de campo (Muller *et al*, 1968). Algunos investigadores han utilizado campana de cristal con la finalidad de aumentar la concentración de los gases volátiles (Smith, 1989).

Para evaluar la liberación de aleloquímicos de residuos de hojas, tallos o raíces, se coloca el material vivo o seco de la planta donante en o sobre el suelo, por un tiempo determinado, antes de ensayar con la planta receptora (Putnam, 1988).

3.2.2.4 Factores que afectan la cantidad de compuesto alelopático producido por la planta

Rice (1984) señala que en varias especies hay una menor producción de aleloquímicos (compuesto fenólicos) en condición de invernadero que bajo condiciones de campo, atribuyendo como causa la deficiente radiación lumínica (radiación ultravioleta).

Varios autores, citados por Rice (1984), encontraron una relación entre contenido de aleloquímicos y deficiencia de nitrógeno en las hojas de varias plantas estudiadas. Estos estudios explican en parte la mayor dominancia diferencial observada en algunas plantas cuando crecen en suelos deficientes en nitrógeno. Lo anterior tiene una gran importancia agroecológica debido a que la mayoría de los suelos son deficientes en nitrógeno.

Otro tanto parece suceder en los suelos deficientes en fósforo, pues Koeppe *et al* (1976), observaron incrementos de 100-500% en la concentración de compuestos fenólicos en el exudado de la raíces, al comparar entre sí plantas normales vs deficientes en fósforo.

Al parecer, las condiciones de estrés estimulan las interacciones alelopáticas como mecanismo de sobrevivencia o de neutralización de la competencia. Al respecto, Del Moral (1972) probó las interacciones de los factores de estrés mencionados anteriormente: radiación ultravioleta, deficiencia de nitrógeno y estrés de agua, encontrando que las interacciones alelopáticas de los estreses de agua más radiación ultravioleta y de agua más deficiencia de nitrógeno, fueron de carácter aditivo y de magnitud mayor que lo registrado por la suma de los factores individuales. Sin embargo, la interacción deficiencia de nitrógeno más radiación ultravioleta no fue aditiva, sino más bien

negativa en relación al efecto ejercido sólo por la deficiencia de nitrógeno.

Existen varios trabajos que reportan diferencias marcadas entre accesiones de una misma especie, tanto en el efecto alelopático como en el contenido de aleloquímicos (Rice, 1984).

Por otro lado, hay evidencias de que la infección de muchos patógenos causan incrementos marcados en la concentración de compuestos fenólicos y otros tipos de compuestos químicos en la planta (Rice, 1984).

Por su parte, en plantas de sorgo se ha encontrado un incremento marcado de la concentración de ácidos fenólicos cuando estas plantas son atacadas por plagas insectiles (Woodhead, 1981). Existen evidencias de que estos incrementos en la concentración de productos secundarios acrecenta la resistencia de algunas plantas a los patógenos y depredadores (Rice, 1984).

Se dispone de información concerniente a los factores que afectan la concentración de compuestos fenólicos en las plantas; sin embargo, la información es escasa o no existe en relación a los factores que afectan la concentración de otros aleloquímicos (Rice, 1984).

3.3. Requerimiento externo e interno de fósforo

3.3.1 Importancia del fósforo y su problemática en los suelos tropicales

Aproximadamente el 82 % de los suelos tropicales y el 96 % de los Oxisoles y Ultisoles son deficientes en fósforo. Probablemente, después del nitrógeno, este elemento sea el

segundo nutriente limitante para las plantas (Sánchez y Salinas, 1981). Las respuestas a la fertilización con fósforo han sido a menudo confundidas por el efecto de la fijación del P, que es particularmente pronunciada en los suelos tropicales (Borel, 1981). Las plantas en crecimiento frecuentemente utilizan menos del 10 % del fósforo aplicado al suelo. La cantidad de fertilizante fosfórico necesario para incrementar la concentración de fósforo en la solución del suelo varía con el tipo de suelo (Fox *et al*, 1974).

Uno de los procesos de fijación de P consiste en transformar el fosfato monocálcico soluble (superfosfato simple) a formas menos solubles de fosfato de calcio, aluminio o hierro. Los suelos con alta capacidad fijadora de fósforo son aquellos que requieren más de 200 kg de P/ha para proveer de 0.2 ppm de P en la solución del suelo. Estos representan el 53 % de los suelos de América Tropical (Sánchez y Salinas, 1981). La relación entre fósforo retenido y fósforo en la solución se evalúa a través de isotermas de adsorción para que posteriormente con los rendimientos obtenidos con diferentes niveles de aplicación de fósforo se determine el nivel óptimo de P en solución (Fox *et al*, 1974).

3.3.2 Requerimiento externo de fósforo

El requerimiento externo de fósforo en cualquier cultivo ha sido definido por Fox *et al* (1986) como la concentración de fósforo en la solución del suelo que está asociado con el 95 % del rendimiento máximo. Sin embargo, otros investigadores han utilizado otros parámetros de fósforo para determinar los requerimientos externos de fósforo, a saber: niveles de P disponibles en el suelo, niveles de P aplicados. Además, existe diversidad en los métodos de extracción utilizado por los investigadores para

estimar los niveles disponibles de P en el suelo (Sánchez y Isbell, 1978). Lo anterior dificulta hacer comparaciones e inferir conclusiones.

Los requerimientos externos de fósforo varían grandemente entre especies y ecotipos forrajeros. Por ejemplo, en un experimento de invernadero realizado con leguminosas tropicales las cifras variaron desde 2.5 hasta 11.4 $\mu\text{g/g}$ de P disponible estimado por el método Bray II (CIAT, 1977). Por su parte, Sánchez y Salinas (1981) informan requerimientos externos de 5, 7, y 10 ppm de P disponible en el suelo, estimado por Bray II, para los pastos *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* y *Panicum maximum*, respectivamente.

Prieto (1980) encontró diferencias en requerimientos externos de P en las gramíneas forrajeras estudiadas, siendo *Brachiaria humidicola* e *Hyparrhenia rufa* las menos exigentes. Siguió en orden creciente *Brachiaria decumbens*, *Melinis minutiflora*, *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum* y *Digitaria decumbens*.

Se mencionan cuatro mecanismos principales que intentan explicar la existencia de diferencias intra e interespecíficas en los requerimientos de fósforo. Estos mecanismos son: extensión de raíces, exudación de raíces, presencia de micorrizas y tasa de absorción y translocación de fósforo.

De esos mecanismos, la tasa de absorción y translocación de fósforo es la que ha aportado mayores criterios para tratar de explicar el porqué de las diferencias en los requerimientos de fósforo. La tasa de absorción de la planta es proporcional a la concentración de fósforo en la solución del suelo, cerca del sistema radical (Salinas *et al*, 1975). Por su parte Fox *et al*

(1986) encontraron que el requerimiento externo de P del ryegrass varió desde 0.4 mg/L para un suelo de baja capacidad amortiguadora hasta 0.2 mg/L para un suelo de alta capacidad.

3.3.3 Requerimiento interno de fósforo

El requerimiento interno de fósforo se define como la concentración del fósforo en los tejidos de la planta que está asociado con el 75-95% del rendimiento máximo alcanzado en el cultivo en estudio (Fox, 1981). La determinación de los requerimientos internos de las especies, se hace por interpolaciones entre los rendimientos máximos alcanzados y el porcentajes de fósforo en el tejido de la planta (Fox, 1986)

Los requerimiento internos de fósforo varían entre especies y ecotipos forrajeros. Sánchez y Salinas, (1981) informan niveles críticos de 1.1, 1.2, y 1.9 mg/g de contenido de P en el tejido para las gramíneas *A. gayanus*, *B. decumbens* y *P. maximum*, respectivamente.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 Localización y metodología general

El presente trabajo se llevó a cabo en las casas de mallas y laboratorios del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), el cual está ubicado en Turrialba, Costa Rica, a 602 msnm, con una latitud de 9° 53' Norte y una longitud de 83° 38' Oeste. La temperatura media anual es de 22.1° C y la humedad relativa de 90.4 % (CATIE, 1987). En la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982), Turrialba corresponde al bosque húmedo premontano tropical.

La presente tesis incluye cuatro experimentos para la evaluación del efecto alelopático del pasto ratana sobre diferentes plantas receptoras y uno en que se determinan los requerimientos externos e internos de fósforo del pasto ratana, comparado con la necesidad de P de una gramínea promisorias para la zona atlántica de Costa Rica, como es el pasto *Brachiaria brizantha*.

A continuación se presenta por separado las metodologías utilizadas en estos experimentos.

4.2 Efecto de los residuos de hojas, tallos y material muerto

4.2.1 Procedimiento general

El ensayo se realizó a nivel de invernadero y se usaron macetas de 2 litros de capacidad como unidad experimental.

Se utilizó la parte aérea del pasto ratana que incluía material fresco y muerto de hojas, tallos y raicillas aéreas. El material fue colectado el 24 de Abril de 1988 de un potrero de ratana ubicado en la localidad de Las Palmitas, Distrito de Cariari. Al día siguiente, en el momento de su utilización, el material fue cortado en trozos de 2-3 cm de largo. La cantidad usada en cada maceta fue de 9 g de M.S./1.8 kg de suelo. Lo cual correspondió a un estimado de disponibilidad potencial de 5.8 ton de M.S./ha, el 30% de los cuales era materia muerta. La concentración 5 mg de residuo/g de suelo utilizado se encuentra dentro de los rangos utilizado en este tipo de ensayo (Smith, 1988 y White, 1989). El suelo utilizado fue colectado de un área libre de pasto ratana pero aledaña a donde se colectó la biomasa del pasto. El suelo empleado en este experimento fue secado, cernido, homogenizado y distribuido a razón de 1800 g de peso por maceta. Las características de textura y de fertilidad del suelo se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de textura y fertilidad del suelo experimental (Las Palmitas, Cariari, Costa Rica).

Arena (%)	26
Limo (%)	13
Arcilla (%)	61
M.O (%)	2.6
pH (H ₂ O) 1:1	4.6
Calcio (Cmol L ⁻¹)	0.48
Magnesio (Cmol L ⁻¹)	0.35
Potasio (Cmol L ⁻¹)	0.08
Acidez Extraíble (Cmol L ⁻¹)	4.60
C.I.C.E. (Cmol L ⁻¹)	5.51
Saturación de acidez (%)	83.48
Relación Ca/Mg	1.37
Relación Mg/K	4.38
Fósforo (ug ml ⁻¹)	5.2
Manganeso (ug ml ⁻¹)	8.0
Zinc (ug ml ⁻¹)	1.32
Cobre (ug ml ⁻¹)	14.1

Se colocaron 25 semillas de *O. sativa* y *B. brizantha* por maceta y 14 de *A. pintoii*. El riego se realizó por aspersión, tomando como criterio el mantener la humedad a un punto cercano a la capacidad de campo.

4.2.2 Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental

Se evaluarán tres tratamientos para cada una de las plantas receptoras (*O. sativa*, *B. brizantha* CIAT 6780 y *A. pintoii* CIAT 17434). Estos fueron:

- Residuos colocados en la superficie.
- Residuos incorporados al suelo.
- Sin residuos (control).

Para evaluar el posible efecto de los tratamientos, en las plantas receptoras se determinó lo siguiente:

- Porcentaje emergencia a los 4, 8, 12 y 18 días de sembrado.
- Peso seco por planta y por maceta de la parte aérea y radicular a los 21 días de sembrado.
- Cantidad de nodulos por planta en el *A. pintoii*.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones, con un arreglo factorial de tres especies receptoras y tres tratamientos. El factor tiempo de muestreo se arregló como subparcela, en un diseño de Parcelas Divididas en el Tiempo (Steel y Torrie, 1985). Se utilizó como criterio de bloqueo la gradiente de luz existente en el invernadero y las labores de establecimiento, mantenimiento y procesamiento de las muestras del ensayo. Sin embargo, al no existir homogeneidad de varianza del error, el análisis estadístico de la variable porcentaje de emergencia se efectuó por especies individuales, utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = M + T_i + B_j + Ea_{ij} + F_k + (T*F)_{ik} + Eb_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Cualquier observación realizada bajo el tratamiento i -ésimo, en el bloque j -ésimo, y en el tiempo k -ésimo.

M = Media general del experimento.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento ($i = 1, 2, 3$)

B_j = Efecto del j -ésimo bloque ($j = 1, 2, 3, 4, 5$).

Ea_{ij} = Efecto de la interacción tratamiento por bloque.

F_k = Efecto de k -ésimo tiempo de sembrado ($k = 1, 2, 3, 4$).

$(T*F)_{ik}$ = Efecto de la interacción tratamiento por tiempo.

Eb_{ijk} = Efecto del error experimental asociado a cada una de las observaciones.

Para estimar las diferencias mínimas significativas (DMS) entre los promedios de los tratamientos a la misma edad de sembrado, se utilizó el error estándar estimado para las diferencias entre dos medias de A (tratamiento) al mismo nivel de B (tiempo), en los diseños de parcelas divididas (Steel y Torrie, 1985). La DMS se estimó sólo cuando el efecto de tratamiento fue significativo ($P < 0.05$).

Para el análisis estadístico de las variables de rendimiento para cada especie receptora se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = M + B_i + T_j + E_{ij}$$

Donde :

Y_{ij} = Cualquier observación realizada en el tratamiento j -ésimo, en el bloque i -ésimo.

M = Media general del ensayo.

B_i = Efecto del i -ésimo bloque. ($i = 1, 2, 3, 4, 5$)

T_j = Efecto del j -ésimo tratamiento ($j = 1, 2, 3$)

E_{1j} = Efecto del error experimental asociado a cada uno de las observaciones.

Para detectar la significancia estadística de las diferencias de los promedios de las variables de rendimientos, se utilizó la prueba de Tukey.

4.3 Determinación del efecto alelopático a través del suelo

4.3.1 Procedimiento general

El ensayo se realizó a nivel de invernadero y se usaron macetas de 2 litros de capacidad como unidad experimental.

Las macetas fueron llenadas con suelo proveniente de la localidad de Las Palmitas, Distrito de Cariari. El suelo evaluado fue colectado el 24 de abril de 1990, 24 horas antes de la siembra. Para el tratamiento de alelopatía se tomó suelo de un área con dominancia de pasto ratana, la cual estaba libre de malezas y contenía raíces frescas, residuos y posibles exudados de raíces, tallos y hojas. El suelo del tratamiento control estuvo libre de tejidos y exudados del pasto ratana y fue sacado de una área aleadaña. Las características químicas de estos dos suelos se presentan en el Cuadro 2.

Se utilizaron 25 semillas por maceta de *B. brizantha* y *O. sativa* y 14 semilla de *A. pintoii*. El suelo se mantuvo a un punto cercano a la capacidad de campo mediante riego periódico por aspersión.

Cuadro 2. Características de fertilidad de los suelos experimentales (Las Palmitas, Cariari, Costa Rica).

	Suelo Control	Suelo <i>I. indicum</i>
M.O. (%)	3	9
pH (H ₂ O) 1:1	4.6	4.7
Calcio (Cmol L ⁻¹)	0.5	2.2
Magnesio (Cmol L ⁻¹)	0.4	1.3
Potasio (Cmol L ⁻¹)	0.1	0.6
Acidez Extraible (Cmol L ⁻¹)	4.6	1.7
C.I.C.E. (Cmol L ⁻¹)	5.6	5.8
Saturación de acidez (%)	82	29
Relación Ca/Mg	1.3	1.7
Relación Mg/K	4	2.2
Fósforo (ug ml ⁻¹)	5.2	9.8
Manganeso (ug ml ⁻¹)	9	12
Zinc (ug ml ⁻¹)	1.3	5.7
Cobre (ug ml ⁻¹)	14	29

4.3.2 Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental

Se evaluaron dos tratamientos para cada una de las especies receptoras (*O. sativa*, *B. brizantha* CIAT 6780 y *A. pintoii* 17434). Estos fueron :

T₁ : Suelo donde ha estado creciendo el pasto ratana y que contenía raíces, residuos y posibles lixiviado de hojas y tallos del pasto.

T₂ : Suelo aledaño al anterior pero donde no ha habido ratana.

Para la evaluación de los tratamientos se tomaron las siguientes observaciones:

- Germinación de las especies receptoras a los 8, 10, 14 y 21 días de sembrado.

- Peso seco por planta y por maceta de la parte aérea y radicular a los 21 días de sembrado..
- Cantidad de nódulos por planta en *A. pintoi*.

Se utilizó un diseño de bloques completo al azar con cinco repeticiones, en un arreglo factorial de tres especies receptoras y dos tratamientos. Se utilizó como criterio de bloqueo la gradiente de luz existente en el invernadero y las labores del ensayo. Sin embargo, al no existir homogeneidad de varianza de error para las diferentes especies receptoras evaluadas, el análisis estadístico de la variable porcentaje de emergencia se efectuó utilizando el modelo siguiente :

$$Y_{ijk} = M + T_i + B_j + Ea_{ij} + F_k + (T*F)_{ik} + Eb_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Cualquier observación realizada bajo el tratamiento i -ésimo, en el bloque j -ésimo, y en el tiempo k -ésimo.

M = Media general del experimento.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento ($i = 1, 2$)

B_j = Efecto del j -ésimo bloque ($j = 1, 2, 3, 4, 5$).

Ea_{ij} = Efecto de la interacción tratamiento por bloque.

F_k = Efecto de k -ésimo tiempo de sembrado ($k = 1, 2, 3, 4$).

$(T*F)_{ik}$ = Efecto de la interacción tratamiento por tiempo.

Eb_{ijk} = Efecto del error experimental asociado a cada una de las observaciones.

Para estimar la diferencia mínima significativa (DMS) entre los tratamientos para cada tiempo, se utilizó el error estándar estimado para los diseños de parcela dividida (Steel y Torrie, 1985). Estos valores de DMS sólo se estimaron cuando el efecto de tratamientos fue significativo.

En el análisis estadístico de las variables de rendimiento para cada especie receptora se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = M + B_i + T_j + E_{ij}$$

Donde :

Y_{ij} = Cualquier observación realizada en el tratamiento j -ésimo, en el bloque i -ésimo.

M = Media general del ensayo.

B_i = Efecto del i -ésimo bloque. ($i = 1, 2, 3, 4, 5$)

T_j = Efecto del j -ésimo tratamiento ($j = 1, 2$)

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a cada uno de las observaciones.

Para detectar la significancia estadística de las diferencias entre los promedios de las variables analizadas, se utilizó la prueba de Tukey.

4.4 Determinación del efecto de las emanaciones volátiles

4.4.1 Procedimiento general

El ensayo se realizó a nivel de invernadero y se usarón macetas de 2 litros de capacidad como unidad experimental.

Las plantas de ratana fueron transplantadas de un potrero de la localidad de Las Palmitas, Distrito de Cariari y recuperadas en una casa de malla sin techo, después de haber sido podadas.

El suelo utilizado por las plantas receptoras provino de una zona libre del pasto ratana ubicado en el Distrito de Guapiles. El suelo fue secado, cernido, homogenizado y distribuido a razón de 1800 g de peso por maceta. En el Cuadro 3 se presentan los resultados del análisis químico del suelo utilizado en este experimento.

Cada una de las macetas de las plantas receptoras, dependiendo del tratamiento, estuvo colocada al lado o no de una maceta que contenía pasto ratana. Para evitar la dispersión de las emanaciones volátiles se utilizaron cámaras revestidas de una lámina de plástico con una estructura en forma de campana dentro de la cual se colocaron la(s) maceta(s) de acuerdo a los tratamientos. Se dejaron aberturas en la base para permitir el intercambio gaseoso con el medio exterior del invernadero.

Cuadro 3. Características químicas del suelo experimental proveniente de Guapiles-Limón, Costa Rica.

pH (H ₂ O) 1:1	4.8
Calcio (meq/100 ml)	3.0
Magnesio (meq/100 ml)	1.46
Potasio (meq/100 ml)	0.22
Acidez Extraíble (meq/100 ml)	2.50
C.I.C.E. (meq/100 ml)	7.18
Saturación de acidez (%)	34.82
Relación Ca/Mg	2.05
Relación Mg/K	6.63
Fósforo (ug ml ⁻¹)	19.0
Manganeso (ug ml ⁻¹)	61.8
Zinc (ug ml ⁻¹)	1.6
Cobre (ug ml ⁻¹)	11.5

De cada una de las dos especies receptoras se sembraron 15 semillas por unidad experimental. El riego fue sostenido por conductividad hídrica a través de una tina con agua sobre la cual se colocaron las macetas.

La disponibilidad promedio del pasto fue de 6 g de M.S./ maceta, estimado al final del ensayo.

4.4.2 Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental.

Se evaluaron dos tratamientos para cada una de las dos especies receptoras evaluadas (*B. brizantha* CIAT 6780 y *A. pintoii* CIAT 17434):

- Testigo (libre de gases volátiles emanados del pasto ratana).
- Expuestos a los gases volátiles emanados del pasto ratana.

Para medir el efecto de los tratamientos a los 21 días de sembrado se determinó lo siguiente:

- Porcentaje de emergencia.
- Peso seco de la parte aérea y radicular.

Para cada una de las especies receptoras se realizó un ensayo con un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Al igual que en los ensayos anteriores el criterio de bloquéo que se siguió fue la ubicación de las macetas en la casa de malla y las labores del ensayo.

Para el análisis estadístico fué utilizado el modelo siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde :

Y_{ij} = Cualquier observación realizada bajo el tratamiento i -ésimo y el bloque j -ésimo.

M = Media general del experimento.

T_i = Efecto del tratamiento i -ésimo ($i = 1, 2$)

B_j = Efecto del bloque j -ésimo ($j = 1, 2, 3, 4, 5$)

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a cada una de las observaciones.

La significancia de la diferencia entre los promedios de las variables dependientes analizadas se estimó por el procedimiento de Tukey.

4.5 Evaluación del efecto de competencia y alelopatía

4.5.1 Procedimiento general

El ensayo se realizó bajo condiciones de casa de mallas sin techo. Se usaron como unidades experimentales macetas de 30 cm de diametro y 30 cm de altura.

Para separar el efecto alelopático de la interferencia por competencia, se utilizó la metodología descrita por Unamma y Akobundu (1989). La idea central del método es de mantener separadas la rizósfera de la planta donante (*I. indicum*) respecto a la de las plantas receptoras (*O. sativa*, *B. brizantha* CIAT 6780 y *A. pintoii* CIAT 17434) pero sin evitar la influencia del lixiviado de la especie donante sobre las receptoras. El método consiste en dividir las macetas horizontalmente en dos compartimentos. El primer compartimento ubicado en la parte superior de la maceta, contenía una capa de suelo de 10 cm de profundidad que sirvió de soporte a la planta donante (*I. indicum*). El segundo compartimento de 20 cm de profundidad, ubicado en la parte inferior tuvo una capa de suelo cernido y sirvió de soporte a las plantas receptoras. Dependiendo del tratamiento, estos dos compartimentos estuvieron divididos o no, por cuatro capas de láminas plásticas, que impidieron o no, el contacto de las raíces de las plantas receptoras con la donante.

A su vez, las láminas plásticas, según el tratamiento, tuvieron o no perforaciones en una disposición no sobrepuesta, para permitir el paso del lixiviado pero no de

la raíz. Para canalizar la emergencia de la planta receptora a la superficie de la maceta se utilizó un tubo de PVC de 7 cm de diámetro y de 12 cm de altura. Además, los dos compartimentos tuvieron un área de drenaje al medio exterior. Por su parte, el riego se realizó por conductividad hídrica utilizando un recipiente para tal fin.

El pasto ratana fué transplantado a las macetas, de un potrero de la localidad de Las Palmitas, Distrito de Cariari, libre de malezas y con una capa de suelo de 8 cm. El suelo restante provino también de un área de ratana, pero fué cernido y homogenizado.

El suelo que sirvió de soporte a las plantas receptoras fué obtenido de un sitio contiguo, libre del pasto ratana, cernido y homogenizado. El análisis químico del suelo se presenta en el Cuadro 1. Las dos plantas receptoras que se utilizaron por maceta fueron seleccionadas por raleo con base en su uniformidad a los 14 días de sembrado, momento en el cual se colocó el pasto ratana en el compartimento superior de las macetas. El compartimento inferior de las macetas fué fertilizado uniformemente antes de la siembra con 90 kg/ha de P; 45 kg/ha de S, 20 kg/ha de Mg, 30 kg/ha de K, 100 kg/ha de Ca, 2.5 kg/ha de Zn y 0.5 kg/ha de B. El suelo que sirvió de soporte del arroz (*O. sativa*) recibió adicionalmente 700 kg/ha de calcio como enmienda y el del *A. pintoii* 0.4 kg/ha de molibdeno. A las 4 semanas de sembrado, las dos gramíneas receptoras se fertilizaron con 30 kg/ha de N y a las 6 semana se adicionó al arroz 30 kg/ha de K. El *A. pintoii* fue inoculado con la cepa de rizobio CIAT 3101. El riego se realizó cuando fue necesario y tuvo como objeto mantener la conductividad hídrica a un punto cercano a la capacidad de campo.

4.5.2 Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental

De acuerdo al tipo de interferencia, se evaluarón cuatro tratamientos para cada una de las plantas receptoras:

- T₁ = Interferencia por encima del suelo (competencia por luz y gases volátiles), sin contacto radicular y sin lixiviado (libre de competencia por espacio, nutrimentos y de alelopatía por lixiviado).
- T₂ = Interferencia por encima del suelo, sin contacto radicular, pero sí del lixiviado (libre de competencia por espacio y nutrimentos).
- T₃ = Interferencia por encima del suelo, con contacto radicular y lixiviado (plena interferencia).
- T₄ = Sólo la planta receptora (libre de alelopatía por lixiviado y de competencia por nutrimentos, luz y espacio).

Para definir el efecto de los tratamientos se determinó el peso seco total de la planta y sus componentes (parte aérea y raíz) a las 10 semanas de sembrado. Igualmente se determinó el peso seco de la planta donante al final de la evaluación y el contenido de macro y microelementos en el tejido de las plantas receptoras.

Para cada una de las plantas receptoras evaluadas se realizó un ensayo con un diseño de bloque completo al azar, con seis repeticiones.

Para el análisis estadístico de la información obtenida para cada especie receptora se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = M + B_i + T_j + E_{ij}$$

Donde :

Y_{ij} = Cualquier observación realizada en el tratamiento j-ésimo, en el bloque i-ésimo.

M = Media general del ensayo.

B_i = Efecto del i-ésimo bloque. ($i = 1, 2, 3, 4, 5$)

T_j = Efecto del j-ésimo tratamiento ($j = 1, 2, 3, 4$)

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a cada uno de las observaciones.

Para detectar la significancia estadística de las diferencias de los promedios de las variables analizadas, se utilizó la prueba de Tukey. Para el caso de datos perdidos se ajustaron las medias por cuadrados mínimos y se analizaron las diferencias por la prueba de Bonferroni.

No se realizó el análisis combinado al no existir homogeneidad de varianza de los errores asociados con los experimentos individuales para cada especie receptora.

Para el análisis estadístico de las concentraciones foliares se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = M + T_j + E_{ij}$$

Donde :

Y_{ij} = Cualquier observación realizada en el tratamiento j-ésimo, en la repetición i-ésimo.

M = Media general del ensayo.

T_j = Efecto del j-ésimo tratamiento ($j = 1, 2, 3, 4$)

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a cada uno de las observaciones.

4.6 Requerimiento externo e interno de fósforo del *I. indicum* y *B. brizantha* CIAT 6780

4.6.1 Procedimiento general

El ensayo se realizó a nivel de invernadero y se usaron macetas de 4 litros de capacidad como unidad experimental.

El suelo utilizado fue colectado en la localidad Las Palmitas, Distrito de Cariari de una área libre de pasto ratana. El área de donde provenía el suelo experimental se caracteriza por tener como pasto dominante al *I. indicum* y por tener una zona de vida de bosque tropical húmedo. El suelo fue secado, pasado por un tamiz de 4 mm, esterilizado y homogenizado. Se usaron 3 kg de suelo por maceta.

Para la determinación de los macroelementos y microelementos extraíbles del suelo y la acidez intercambiable se utilizó la técnica descrita por Díaz-Romeu y Hunter (1978). Para la determinación del pH en agua en relación 1:1 se utilizó la técnica de Peech (1965). Para la caracterización de la textura se determinaron las fracciones granulométricas por dispersión mecánica y el uso de hexametáfosfato de sodio (Forsythe, 1975)

Como posible inoculante de micorriza, se adicionó 30 g de suelo conteniendo raicilla de pasto *B. brizantha* o de *I. indicum*, según el tratamiento. Todas las macetas llevarón una fertilización base de macro y micro elementos (Cuadro 4)

La humedad del suelo se mantuvo a capacidad de campo. Las dosis de fósforo, utilizado como variable experimental, fueron determinadas en función de la capacidad de fijación de fósforo del suelo, la cual fue evaluada a través de la metodología descrita por Fox y Kamprath (1970) para determinación de isotermas de adsorción de fósforo. Se utilizó como fuente de fósforo el $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Para el análisis del contenido de macro y micro elementos en tejidos vegetales las muestras fueron secadas a 70°C, molidas y tamizadas a través de una malla # 20.

Los análisis de fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, zinc y manganeso, se realizaron por digestión húmeda con mezcla nítrico-perclórica 5:1 (Bateman, 1970).

Cuadro 4 Niveles de fertilización basal usados en el ensayo de requerimiento externo e interno de fósforo

Elemento	kg/ha	Fuente	kg Fuente/ha	mg Fuente/maceta
Ca	128	CaCO ₃	320	480
K	60 *	K ₂ SO ₄	134	201
Mg	40	MgO	67	100
S	60 27 **			
S	33	Flor de azufre	39	58.5
Zn	5	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	22	33
B	0.5	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	4	6.4
N	60 ***	Urea	130	195

* La aplicación de K se fraccionó en dos, a la siembra y a las 6 semanas.

** El S se aplicó con el K (24.6 kg/ha), Zn (2.5 kg/ha) y flor de azufre (33 kg/ha), lo que hace un total de 60 kg/ha.

*** La aplicación de N se fraccionó en tres, a las 4, 6, 8, semanas.

Los cationes se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica; mientras que el fósforo en la planta fue estimado por el método de colorimetría (Díaz-Romeu y Hunter, 1978).

4.6.2 Tratamientos, variables evaluadas y diseño experimental

Los tratamientos evaluados estuvieron definidos por el arreglo factorial de ocho niveles de fósforo (0, 75, 150, 300, 600, 1200, 1800, 2400 kg/ha). y dos especies de gramíneas forrajeras (*I. indicum*, *B. brizantha* CIAT 6780).

El efecto de los tratamientos se evaluó mediante la determinación del peso seco total y de sus componentes

(parte aérea y radicular) y del contenido de fósforo de la materia seca aérea a las 10 semanas de sembrado. También se hicieron análisis físicos y químicos del suelo, isoterma de adsorción de fósforo, análisis del contenido de macro- y micro-elementos.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, en un arreglo factorial de ocho niveles de fósforo por dos especies.

Para el análisis estadístico se utilizó el siguiente modelo :

$$Y_{ijk} = M + B_k + C_i + F_j + (C \times F)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde :

Y_{ijk} = Cualquier observación realizada bajo el cultivo i-ésimo, bajo el nivel de fósforo j-ésimo, y en bloque k-ésimo.

M = Media general de experimento.

C_i = Efecto de i-ésimo cultivo ($i = 1, 2$)

F_j = Efecto del j-ésimo nivel de fósforo ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$)

$(C \times F)_{ij}$ = Efecto de la interacción cultivo por fósforo.

B_k = Efecto del K-ésimo bloque ($K = 1, 2, 3$)

E_{ijk} = Efecto del error experimental asociado a cada una de las observaciones.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Efecto alelopático de los residuos de la parte aérea del *I. indicum*

5.1.1 Efecto sobre el porcentaje de emergencia

El Cuadro 1A muestra, para cada una de las especies receptoras (*O. sativa*, *B. brizantha* CIAT 6780, *A. pintoii* CIAT 17434), el nivel de significancia de las fuentes de variación consideradas en el análisis de varianza.

Se observa que el efecto de bloque no fue significativo en ningunas de las especies evaluadas, lo que indica que los factores establecidos como criterio de bloqueo, la gradiente de luz existente en el invernadero y las labores del ensayo, no influyeron en la emergencia de las plantas.

Por su parte, el efecto de tratamiento sólo fue significativo ($P \leq 0.05$) en el caso del arroz.

En *O. sativa*, en todos los tiempos a los que se efectuó la evaluación, la emergencia fue mayor ($P \leq 0.05$) en el tratamiento sin residuos; sin embargo, en los estadios más tempranos (4 y 8 días después de sembrado) el efecto detrimental de los residuos fue mayor ($P \leq 0.05$) cuando éstos se depositaron superficialmente que cuando se incorporaron (Cuadro 5). Por otra parte, el efecto inhibitorio del residuo tendió a reducirse con el paso de tiempo (Figuras 1 y 2).

Cuadro 5 Efecto de los residuos del *I. indicum* sobre el porcentaje de emergencia de las plantas receptoras.

Tratamientos	Tiempo de sembrado (días)			
	4	8	12	19
<i>Oriza sativa</i>				
Sin residuos	52.80 a	65.6 a	68.8 a	71.2 a
Superficial	18.4 c	40.8 c	55.2 b	60.0 b
Incorporado	32.0 b	51.2 b	56.8 b	61.6 b
<i>Brachiararia brizantha</i>				
Sin residuos	47.2 a	50.4 a	52.0 a	53.6 a
Superficial	45.6 a	47.2 a	49.6 a	50.4 a
Incorporado	56.8 a	60.0 a	60.0 a	60.8 a
<i>Arachis pintoii</i>				
Sin residuos	32.4 a	62.0 a	78.4 a	82.0 a
Superficial	19.8 a	52.8 a	58.2 a	62.0 a
Incorporado	36.2 a	60.2 a	73.0 a	78.4 a

Medias con distintas letras son significativamente diferentes (P=0.05)

En *B. brizantha* y *A. pintoii* el único factor que afectó significativamente la emergencia fue el tiempo (Cuadro 1A) lo cual es lógico de esperar. En ambas especies, no se detectó significancia ($P > 0.05$) para el efecto de la aplicación de residuos; sin embargo, en el caso de *B. brizantha* la incorporación de los residuos de *I. indicum* tendió a favorecer la emergencia, mientras que en el *A. pintoii* se observó un efecto similar al encontrado en arroz, pues la aplicación superficial de residuos de *I. indicum*

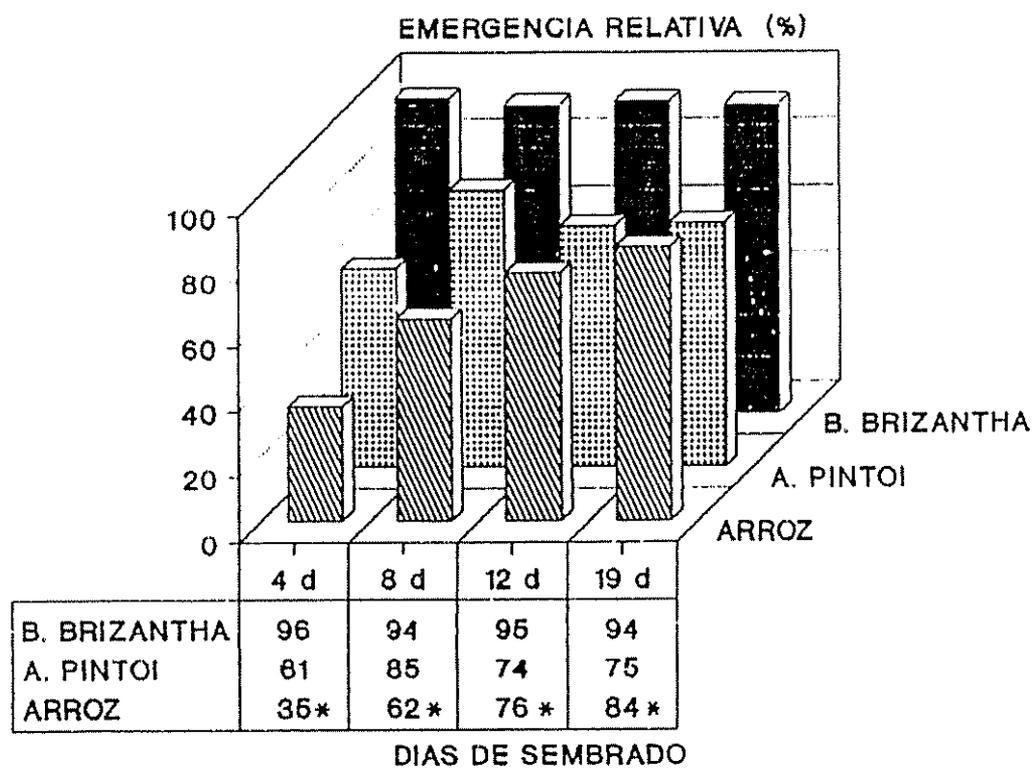


Figura 1 Efecto de los residuos de *L. indicum* depositado en la superficie sobre la emergencia relativa con respecto al control.

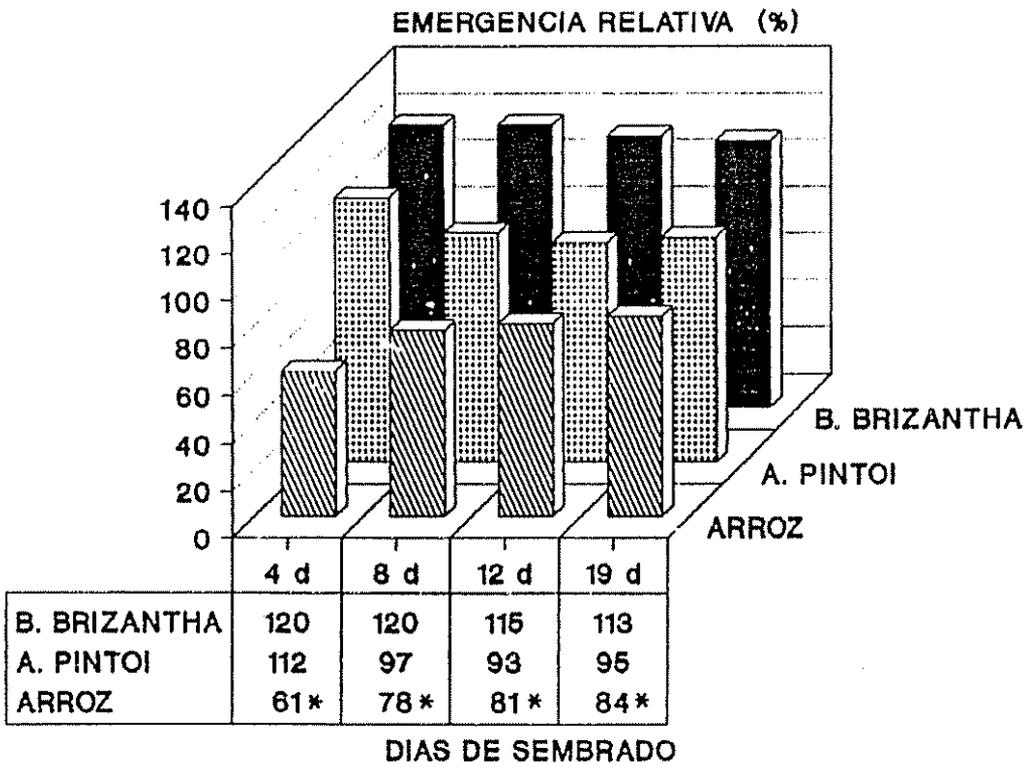


Figura 2 Efecto de los residuos de *L. indicum* incorporado al suelo sobre la emergencia relativa con respecto al control.

tendió a afectar negativamente la emergencia.; con la diferencia que en el *A. pintoii*, el efecto negativo tendió a mantenerse con el tiempo (Cuadro 5 y Figura 1). Lo anterior puede deberse a diferencias en susceptibilidad de las dos especies a los cambios en la naturaleza y concentración de aleloquímicos ocurrido durante el periodo de evaluación.

El mayor efecto detrimental observado en el tratamiento con residuos depositado superficialmente puede deberse a que las semillas bajo este tratamiento estuvieron posiblemente bajo la influencia de mayores concentraciones de aleloquímicos que cuando los residuos se incorporaron. Rice (1984) señala que la mayoría de los compuestos fititóxicos aumentan su capacidad inhibitoria con el aumento de la concentración.

White *et al* (1989) encontraron un efecto de la localización del residuo sobre la interacción alelopática. Señalan que el mismo puede estar influenciado por la proximidad entre la semilla y los aleloquímicos, por la características de solubilidad de éstos en agua y su potencial de adsorción al suelo y por el movimiento de la solución. Bajo las condiciones del presente ensayo, en el que se utilizó riego por aspersión, es de esperar, que en el tratamiento con residuos localizado en la superficie, las semillas tengan mayor oportunidad de entrar en contacto con los aleloquímicos.

White *et al* (1989) señalan que factores tales como el sombreado, capacidad de retención de agua, infiltración de agua y nutrientes pueden ser modificados por la localización de los residuos. Sin embargo, los autores anteriormente mencionados, señalan que aún a dosis de residuos de 8 g de M.S./1200 g de suelo, el efecto sobre esos factores ante

anotados no fue suficiente para afectar la emergencia de la semilla.

Los resultados observados en *B. brizantha* no son excepcionales, pues se ha visto que el efecto alelopático sobre la emergencia no solo es inhibitorio, sino que en muchos casos puede ser estimuladorio. Guenzi y McCallam (1962) informan efecto estimuladorios del extracto de residuos de trebol oloroso (*Lupinus albus*) sobre la germinación del trigo. Lehle et al (1983) observaron que la incorporación de *Lupinus albus* al suelo, estimuló la emergencia de *Digitaria sanguinalis* en un 31 %, mientras que la emergencia del algodón y soya se inhibió en un 53 % y 27 %, respectivamente.

El alto coeficiente de variación observado en la emergencia del *A. pinto* pudo haber contribuido a que no se apreciara efecto significativo del tratamiento. Sin embargo, el mayor coeficiente de variación del porcentaje de emergencia se registra en los tratamientos con residuos localizados superficialmente (C.V.=25% a los 19 días) e incorporado (C.V.=22% a los 19 días); en comparación a lo obtenido con el tratamiento sin residuo (C.V.=13% a los 19 días). Esto sugiere que posiblemente la existencia de variabilidad genética en la tolerancia de los aleloquímicos haya influido en lo anterior. Rice (1984) asevera que todos los investigadores que han trabajado en alelopatía reconocen la gran variabilidad de respuestas que se registra entre plantas de una misma especie bajo condiciones controladas.

5.1.2 Efecto sobre el crecimiento radicular y parte aérea

En el Cuadro 2A se presenta, para cada una de las especies, el nivel de significancia de las fuentes de variación consideradas en el análisis de varianza.

Se observa que el efecto de bloque fue significativo sólo para la variable peso seco de la raíz (g ms/planta) en el caso de las especies receptoras *B. brizantha* y *A. pintoii*.

En el arroz sólo fue significativo ($P \leq 0.05$) el efecto de tratamiento sobre la variable peso seco de la raíz en g/maceta; al registrarse un efecto detrimental de los tratamientos con residuos (Cuadro 3A). Lo anterior se debe a la menor emergencia y menor crecimiento radicular observado en los tratamientos con residuos (Cuadro 5 y 6).

El efecto de tratamientos fue significativo ($P \leq 0.05$) en el peso seco por planta de la parte aérea y total de *B. brizantha*; observándose un efecto estimulador ($P \leq 0.05$) de los residuos depositado en la superficie (Cuadro 6 y Figura 3). De igual manera, el tratamiento en mención tendió a estimular el crecimiento radicular de esta especie.

En *A. pintoii* los residuos incorporados al suelo ejercieron un efecto inhibitorio ($P \leq 0.05$) sobre el crecimiento radicular. La inhibición con respecto al tratamiento sin residuos fue del 27 % (Figura 4).

Los resultados del crecimiento (g/planta) parecen indicar que las plantas receptoras en general estuvieron

sometidas a la influencia de mayores concentraciones de aleloquímicos en el tratamiento con residuos incorporados al suelo al observarse al menos un efecto deprimente sobre la raíz y ningún efecto estimulador sobre la parte aérea

Cuadro 6 Efecto de los residuos del *I. indicum* sobre la biomasa radicular, parte aérea y total en tres especies receptoras, a los 21 días de sembrado.

Tratamientos	BIOMASA (mg de MS/planta)		
	Raíz	Parte Aérea	Total
<i>Oriza sativa</i>			
Sin residuos	22.0 a	35.8 a	57.8 a
Superficial	20.3 a	39.6 a	59.9 a
Incorporado	19.9 a	36.0 a	55.9 a
D.M.S. (P=0.05)	4.6	5.7	9.5
<i>Brachiaria brizantha</i>			
Sin residuos	11.0 a	21.0 b	32.0 b
Superficial	14.1 a	27.1 a	41.2 a
Incorporado	10.7 a	23.6 ab	34.3 ab
D.M.S. (P=0.05)	3.6	4.9	7.8
<i>Arachis pintoi</i>			
Sin residuos	72.9 a	163.0 a	235.9 a
Superficial	74.6 a	185.0 a	259.6 a
Incorporado	53.0 b	159.5 a	212.4 a
D.M.S. (P=0.05)	14.8	50.6	63

Medias con distintas letras son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

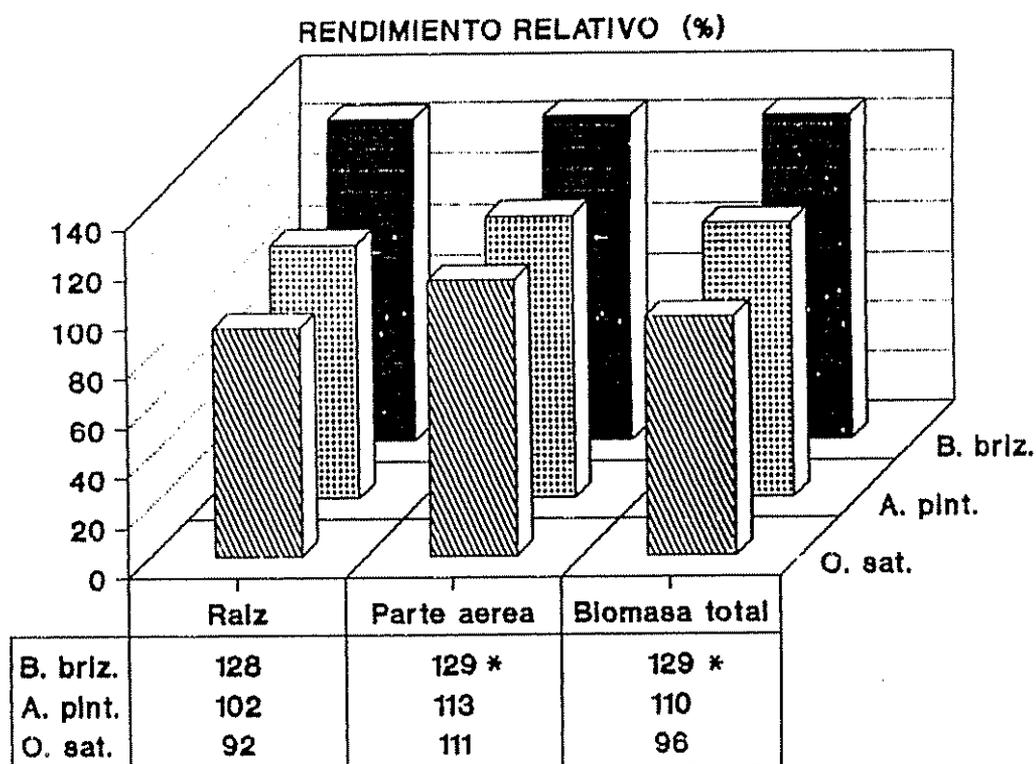


Figura 3 Efecto de los residuos de *L. indicum* depositado en la superficie sobre los rendimientos relativos.

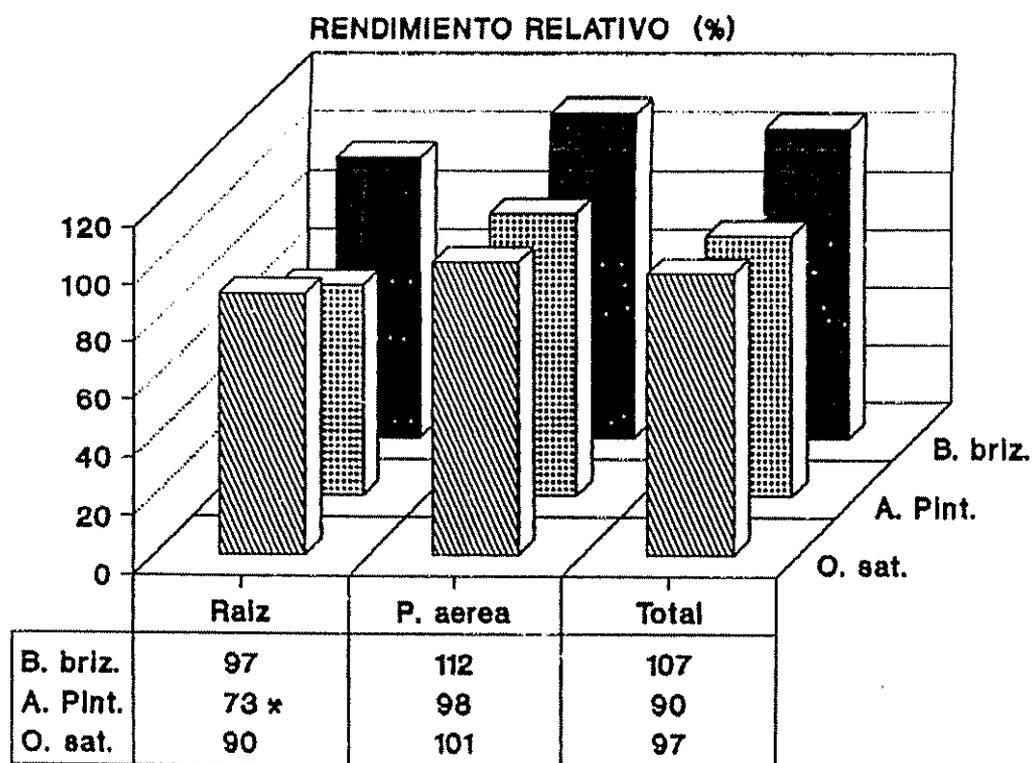


Figura 4 Efecto de los residuos de *L. indicum* incorporado al suelo sobre los rendimientos relativos

White *et al* (1989) informan resultados similares que también sugieren mayores concentraciones de aleloquímicos en la rizósfera en el tratamiento con residuos incorporados. Señalan que quizás la cercanía de la raíz y la mayor tasa de descomposición cuando los residuos son incorporados, expliquen la presunta mayor concentración.

Por otra parte, en el Cuadro 7 se observa que existió un efecto positivo ($P \leq 0.05$) del residuo sobre el número de nódulos de la leguminosa, lo que sugiere un efecto de mulch del residuo sobre la nodulación.

Cuadro 7 Efecto de los residuos de *I. indicum* sobre el número de nódulos por planta de *A. pintoi*, a los 21 días de sembrado.

Especie	Tratamientos	
	Sin residuos	Con residuos Superficial Incorporado
A. pintoi	7.34 b	21.86 a 19.68 a

Medias con distintas letras son significativamente diferentes ($P=0.05$).

En resumen, se aprecia que con una alta concentración de residuo (9 g de m.s./1800 g de suelo) el efecto depresor del residuo sobre el crecimiento se limitó a la raíz del *A. pintoi* y sólo cuando el residuo fue incorporado. Además, el peso seco de la raíz (g/maceta) del arroz fue afectado negativamente por los tratamientos con residuos.

El hecho de que también se haya registrado un efecto inhibitorio ($P < 0.05$) sobre el porcentaje de emergencia del *O. sativa* y *A. pintoi*, sugieren que estas dos especies son potencialmente susceptible al efecto alelopático negativo de los residuos del pasto ratana.

5.2 Efecto alelopático a través del suelo obtenido de potreros de *I. indicum*

5.2.1 Características de fertilidad de los suelos

En el Cuadro 2 se aprecia que el suelo donde estuvo creciendo el pasto ratana es de mucho mayor fertilidad que el suelo control. De acuerdo a los niveles de fertilidad de los suelos establecidos por el CIAT (1987) para especies forrajeras y ajustado al método de extracción de K y P utilizado (Borel 1983), se puede considerar la fertilidad del suelo control como baja; mientras que la fertilidad del suelo obtenido de una área de *I. indicum* se le puede considerar alta. Lo anterior podría sugerir que *I. indicum* no forma asociaciones dominantes en suelos de baja fertilidad. Hunter (1987) informa la invasión del pasto ratana en suelos con una fertilidad intermedia a lo registrado por estos dos suelos. Estas diferencias de fertilidad pudo haber introducido variaciones en el crecimiento de las plantas receptoras, especialmente en las especies de semillas pequeñas como *B. brizantha* y *O. sativa*.

5.2.1 Efecto sobre el porcentaje de emergencia

En el cuadro 3A se presenta el nivel de significancia para las fuentes de variación consideradas en el análisis de varianza para cada una de las especies receptoras. El efecto de bloques no fue significativo en ninguna de las especies indicadoras.

En los cuadros 3A y 8 se observa que el efecto de tratamiento fue significativo ($P \leq 0.05$) en el *A. pintoi*, al registrarse en los cuatro períodos de evaluación un efecto inhibitorio significativo ($P \leq 0.05$) del suelo obtenido de

un potrero de ratana. Este efecto inhibitorio tendió a disminuir con el tiempo. Las reducciones relativas en los porcentajes de emergencia con respecto al control fueron de 37 y 16 %, a los 6 y 21 días de sembrado, respectivamente (Figura 5).

Cuadro 8 Efecto alelopático del *I. indicum* a través del suelo sobre el porcentaje de emergencia de las plantas receptoras.

Tratamientos	Tiempo de sembrado (días)			
	6	10	14	21
<i>Oriza sativa</i>				
Suelo sin raíces	53.6 a	58.4 a	60.8 a	62.4 a
Suelo con raíces	31.2 b	44.0 a	51.2 a	56.0 a
<i>Brachiaria brizantha</i>				
Suelo sin raíces	47.2 a	49.6 a	49.6 a	51.2 a
Suelo con raíces	53.6 a	53.6 a	56.0 a	56.8 a
<i>Arachis pinto</i>				
Suelo sin raíces	59.8 a	62.6 a	64.0 a	66.4 a
Suelo con raíces	37.4 b	45.8 b	52.8 b	55.6 b

Medias con distintas letras son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

En el cultivo de arroz (*O. sativa*) fue significativa ($P \leq 0.05$) la interacción tiempo por tratamiento. Sólo a los 6 días de sembrado, la diferencia en el porcentaje de emergencia entre los tratamientos fue significativa, indicando la existencia de un efecto depresor temporal. A

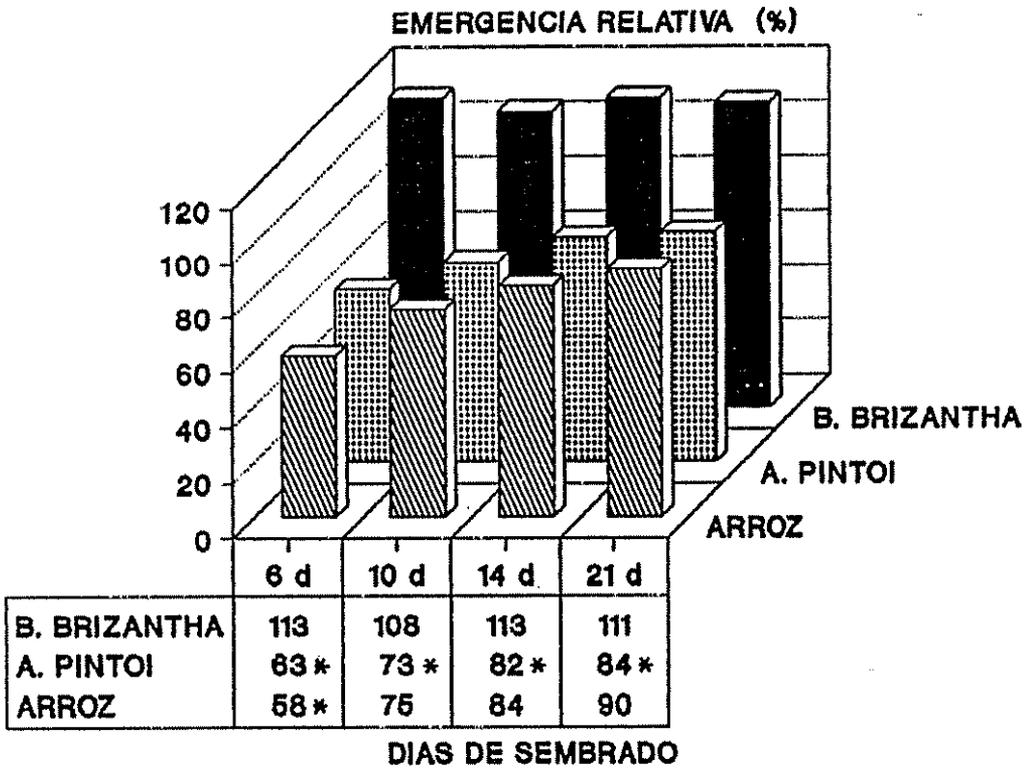


Figura 5 Efecto alelopatico del *L. indicum* a través del suelo sobre la emergencia relativa con respecto al control.

los 6 y 21 días de sembrado las reducciones con respecto al control fueron de 42 y 10%, respectivamente (Figura 5).

Al respecto, se informa que el efecto alelopático sobre la germinación puede ser temporal y depende de la residualidad de los compuestos químicos que la producen (Rice, 1984).

El alto coeficiente de variación registrado en la emergencia del arroz se debió en parte a la variabilidad observada entre las unidades experimentales que contenían suelo con residuos de ratana (C.V. = 24% a los 21 días); en comparación a lo obtenido en el tratamiento control (C.V. = 15% a los 21 días).

En el *B. brizantha*, igual que en el ensayo con residuo (sección 5.1), el efecto del suelo obtenido de un potrero de ratana sobre la emergencia, aparentemente fue estimulatorio (11%), pero éste no fue estadísticamente significativo.

Estos resultados son consistentes con los resultados del ensayo anterior y sugieren una acción alelopática inhibitoria de los residuos de *I. indicum* sobre la germinación de la semilla del *A. pinto* y *O. sativa* y aparentemente estimulatorio sobre la germinación en el caso de *B. brizantha*.

5.2.2 Efecto sobre el crecimiento radicular, parte aérea y bionasa total

En el Cuadro 4A se observa que no existió efecto de bloques en ninguna de las variables de crecimiento analizadas en este ensayo.

Por su parte, en el caso del *O. sativa* se registró un efecto significativo ($P \leq 0.05$) de los tratamientos sobre el

peso seco de la raíz, parte aérea y biomasa total, mientras que en *A. pintoii* sólo fue afectado el peso seco de la raíz.

En términos generales se observó un menor crecimiento radicular en el *O. sativa* y *A. pintoii* cultivado en un suelo de ratana, comparado con lo observado en el suelo testigo. Esto sugiere un efecto inhibitorio de los residuos de pasto ratana sobre dichas especies (Cuadro 9). La magnitud de la

Cuadro 9 Efecto alelopático del *I. indioun* a través del suelo sobre las biomasa radicular, parte aérea y total en tres especies receptoras, a los 21 días de sembrado.

Tratamientos	BIOMASA (mg de MS/planta)		
	Raiz	Parte Aérea	Total
<i>Oriza sativa</i>			
Suelo sin raíces	26.9 a	30.6 a	57.4 a
Suelo con raíces	17.2 b	18.9 b	36.1 b
D.M.S. (P=0.05)	7.7	11.3	18.6
<i>Brachiaria brizantha</i>			
Suelo sin raíces	14.7 a	16.1 a	30.8 a
Suelo con raíces	10.8 a	26.3 a	37.1 a
D.M.S. (P=0.05)	6.7	10.9	13.5 a
<i>Arachis pintoii</i>			
Suelo sin raíces	77.6 a	165.6 a	243.3 a
Suelo con raíces	54.5 b	180.5 a	235.0 a
D.M.S. (P=0.05)	17.85	20.2	33.0

Medias con distintas letras son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

inhibición fue de 36 y 30 % para *O. sativa* y *A. pintoi*, respectivamente (Figura 6).

Por otra parte, el suelo con residuo de ratana tuvo un efecto inhibitorio significativo ($P \leq 0.05$) en el crecimiento de la parte aérea y de la planta integral del arroz (*Oriza sativa*). La inhibición fue de 38 y 37 %, respectivamente (Figura 6).

En cambio, la respuesta observada en el crecimiento del *B. brizantha* cultivados en suelos conteniendo residuos de ratana, más bien sugieren la presencia de un efecto estimulador en el crecimiento de la parte aérea e inhibitorio en el crecimiento de la raíz.

Al respecto, Achhiredy et al (1985) informan que extractos de residuos de hojas y tallos de *Lantana camara* ejercieron un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de la raíz y estimulador de la parte aérea de plántulas de ryegrass, pero que la germinación de esta especie no fue afectada por los residuos.

Es posible, que las diferencias en fertilidad de los suelos utilizados haya contribuido a acentuar el efecto del suelo obtenido de un potrero de ratana sobre el crecimiento de las plantas receptoras cuando éste fue estimulador y minimizarlo cuando el efecto fue negativo. Especialmente en el *B. brizantha*, debido al menor tamaño de sus semillas.

Con base en los resultados obtenidos en este ensayo, se puede postular que el arroz (*O. sativa*) es la planta evaluada más susceptible al efecto alelopático de los aleloquímicos presente en el suelo de un potrero de ratana. En el ensayo anterior, en que se evaluó los residuos de la parte aérea, al parecer la planta más afectada resultó ser

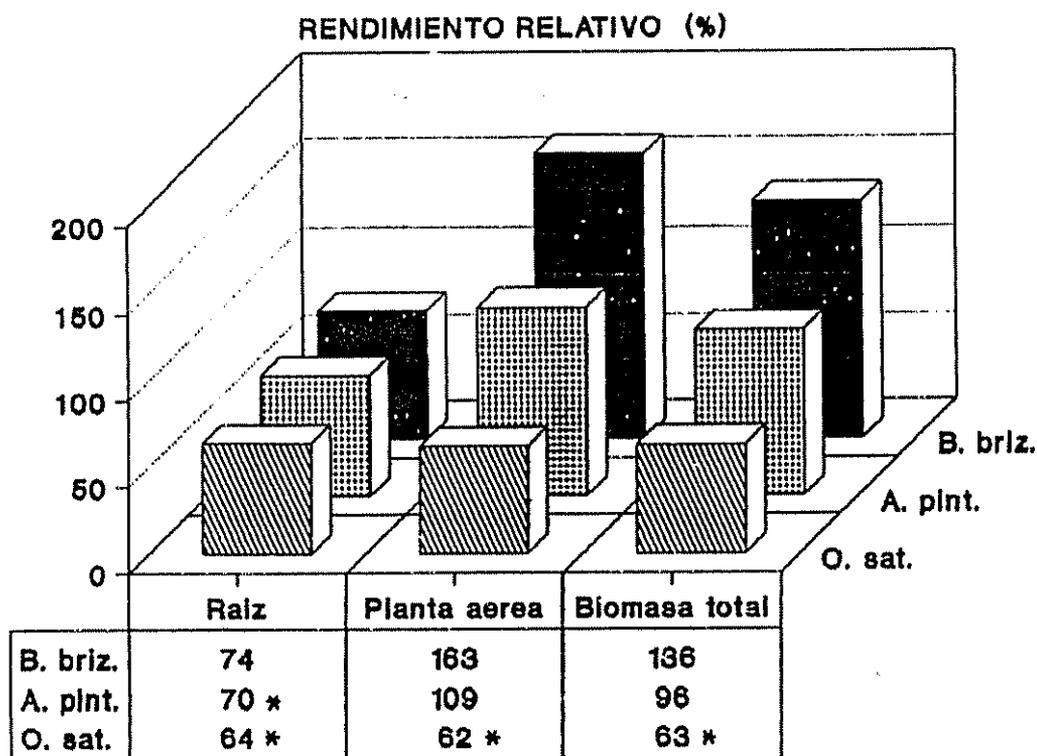


Figura 6 Efecto alelopatico del L. indicum a traves del suelo sobre los rendimientos relativos.

el *A. pintoi*, al inhibirse significativamente el crecimiento radicular.

Sin embargo, entre uno y otro ensayo es presumible que existan diferencias en cuanto a la naturaleza y concentración de aleloquímicos que pudieron haber actuado. En el primer ensayo no estuvieron presente en la solución del suelo los compuestos provenientes de los exudados de la raíz, ni los compuestos productos de una descomposición avanzada de los residuos. Además, se puede presumir que en este segundo ensayo pueda haber ocurrido una mayor acumulación de aleloquímicos estables y de compuestos de excreción. Sin embargo, en los dos ensayos el *A. pintoi* y el *O. sativa* mostraron mayor grado de susceptibilidad que el *B. brizantha* al posible efecto inhibitorio del *I. indicum*.

Igualmente, se registró un efecto positivo ($P \leq 0.05$) del suelo conteniendo raíces y posibles lixiviado del pasto ratana sobre el número total de nódulos en el *A. pintoi* (Cuadro 10). Esto sugiere que el exudado del pasto ratana no tiene efecto alelopático inhibitorio sobre la nodulación, sino que aparentemente promueve el crecimiento de la población de rizobio. Estos datos coinciden con lo obtenido en el ensayo con residuos (sección 5.1). Es posible, que las

Cuadro 10 Efecto alelopático del *I. indicum* a través del suelo sobre el número de nódulos por planta del *A. pintoi*, a los 21 días de sembrado.

Especie	Tratamientos	
	Suelo-sin raíces	Suelo-con raíces
<i>A. pintoi</i>	6.56 b	32.50 a

Medias con distintas letras son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

diferencias en fertilidad en los suelos, haya contribuido también a las diferencias en nodulación.

5.3 Efecto de las emanaciones volátiles del pasto ratana sobre el *B. brizantha* y *A. pintoii*

En el Cuadro 5A se observa los niveles de significancia de las fuentes de variación consideradas en el análisis de varianza.

Sólo se detectó efecto significativo de bloque ($P \leq 0.05$) en la variable producción de materia seca radicular por planta en el caso del *A. pintoii*.

Por su parte, en ninguna de las dos especie receptoras evaluadas (*A. pintoii* y *B. brizantha*) se registró efecto significativo ($P \leq 0.05$) de la presencia de gases volátiles del pasto ratana sobre el porcentaje de emergencia; sin embargo, consistentemente en ambas especies el porcentaje de emergencia fue menor cuando hubo presencia de gases volátiles. Las diferencias relativas en emergencia entre los tratamientos fueron de 8 y 12 % en *B. brizantha* y *A. pintoii*, respectivamente (Cuadro 11).

EL alto coeficiente de variación que registró la emergencia de la semilla de *A. pintoii* se debió en gran parte al efecto de los gases volátiles del pasto ratana sobre la emergencia; al registrarse en este tratamiento un coeficiente de variación de 45% ; mientras que en ausencia de gases (tratamiento control) el coeficiente fue de 27%.

Por su parte, en el caso de *B. brizantha* se registró un efecto significativo de los tratamientos en el peso seco por planta de la raíz, parte aérea y planta integral (Cuadro 5A).

Cuadro 11 Efecto de las emanaciones volátiles del *I. indicum* sobre el porcentaje de emergencia y biomasa de *B. brizantha* y *A. pintoii*.

Variables dependientes	<i>B. brizantha</i>			<i>A. pintoii</i>		
	Sin	Con	D.M.S.	Sin	Con	D.M.S.
Emergencia (%)	49a	45a	14	66a	58a	42
M.S. Raiz (mg/pl)	27a	17b	8	45a	44a	7
(mg/mac)	196a	120a	99	296a	238a	200
M.S. Aerea (mg/pl)	56a	38b	14	171a	146a	32
(mg/mac)	410a	262a	176	1130a	805a	586
M.S. Total (mg/pl)	83a	55b	19	216a	189a	38
(mg/mac)	606a	382a	264	1427a	1043a	781

Medias con distintas letras en la misma hilera y para cada especie son diferentes ($P=0.05$)

Los resultados obtenidos para *B. brizantha* (Cuadro 11) sugieren un efecto inhibitorio de las emanaciones volátiles sobre el crecimiento del pasto. La magnitud de la reducción con respecto al tratamiento control, para el peso de la raíz, parte aérea y planta integral, fue de 37, 32 y 34%, respectivamente (Figura 7).

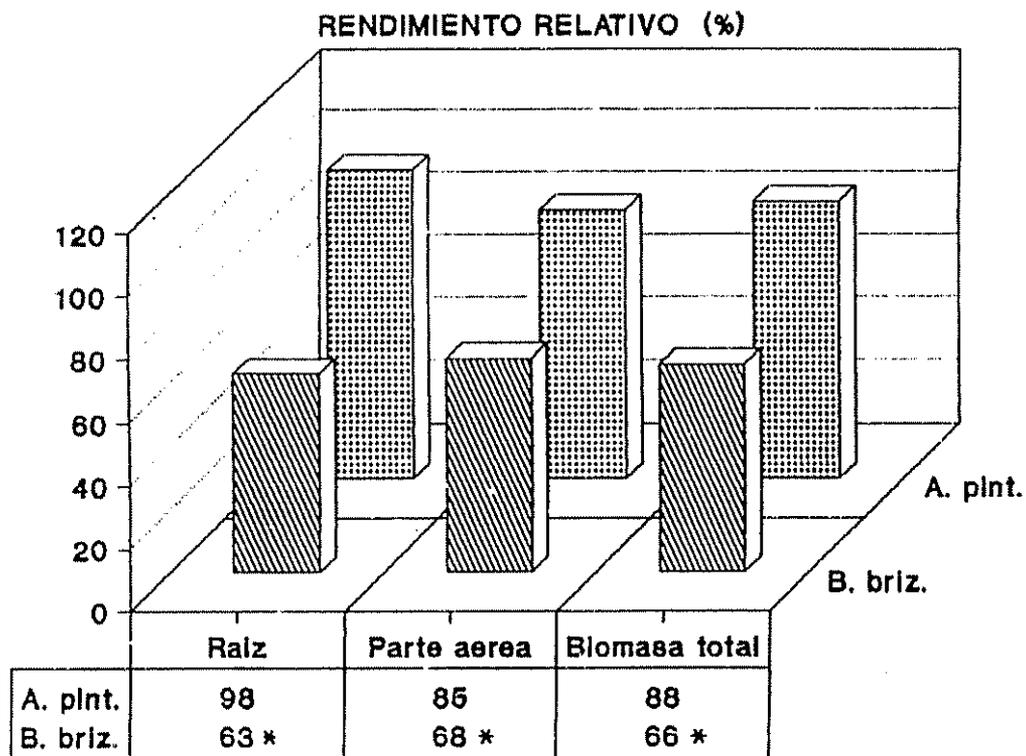


Figura 7 Efecto de los gases volátiles emanados del *L. indicum* sobre los rendimientos relativos.

En el *A. pintoii*, no se detectaron diferencias debidas a tratamientos para las variables de peso seco (Cuadro 5A). Sin embargo, en todas las variables de respuestas se observó una tendencia a menores pesos secos en aquellas plantas que estuvieron expuestas a las emanaciones volátiles del pasto ratana. Las medias de los pesos secos de la raíz, parte aérea y planta integral fueron menores en 2, 14 y 12 % con respecto al testigo, respectivamente.

5.4 Evaluación del efecto de la interferencia por competencia y por alelopatía de la planta viva de *I. indicum*

5.4.1 Efecto sobre el crecimiento

En el Cuadro 6A se presenta el nivel de significancia de las fuentes de variación consideradas en el análisis de varianza, para cada una de las especies receptoras evaluadas (*O. sativa*, *B. brizantha* y *A. pintoii*).

El efecto de bloque no fue significativo, salvo en la variable peso seco de la raíz de la especie *O. sativa*.

Por otra parte, en las tres especies receptoras se registró un efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) de tratamientos en las tres variables dependientes analizadas (peso seco de la raíz, parte aérea y biomasa total). La única excepción fue el caso de la variable peso seco de la parte aérea de *B. brizantha* en la cual los tratamientos ejercieron un efecto significativo ($P \leq 0.05$).

En el Cuadro 12 y Figura 8 se observa en *B. brizantha* y *O. sativa* que el peso seco promedio total fue 12 y 13 % menor, respectivamente, en el tratamiento con solo

Cuadro 12 Efecto de tipos de interferencia de *I. indicum* sobre el crecimiento de tres especies indicadoras.

Tipo de Interferencia	Peso Seco (g/mac.) ¹		
	Raiz	Parte Aérea	Integral
<i>Oriza sativa</i>			
Sin interferencia	10.77 a	21.01 a	31.78 a
Por encima. Sin lix. y sin cont. radícul.	9.47 b	18.03 b	27.50 b
Por encima. Con lix. y sin cont. radícul.	10.06 ab	19.18 ab	29.24 ab
Interferencia total	5.65 c	10.65 c	16.30 c
<i>Brachiaria brizantha</i>			
Sin interferencia	37.33 a	47.01 a	84.33 a
Por encima. Sin lix. y sin cont. radícul.	34.58 a	39.75 ab	74.33 a
Por encima. Con lix. y sin cont. radícul.	34.70 a	43.46 ab	78.16 a
Interferencia total	20.21 b	33.93 b	52.59 b
<i>Arachis pintoii</i>			
Sin interferencia	9.89 a	20.52 a	30.41 a
Por encima. Sin lix. y sin cont. radícul.	10.76 a	18.30 a	29.06 a
Por encima. Con lix. y sin cont. radícul.	11.31 a	19.72 a	31.03 a
Interferencia total	4.32 b	10.10 b	14.42 b

*Medias con distintas letras son significativamente diferentes ($P > 0.05$) con la prueba de Bonferroni.

(¹) Diez semanas despues de la siembra.

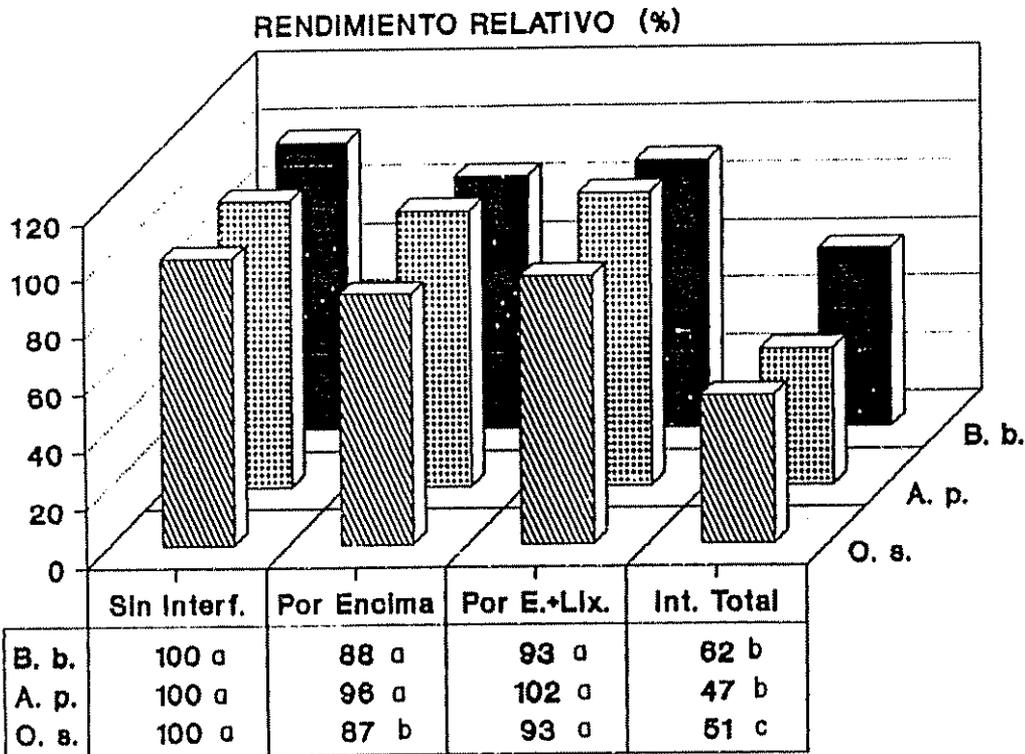


Figura 8 Efecto de los tipos de interferencia del *L. indicum* sobre los rendimientos relativos.

interferencia por encima del suelo, sin lixiviado y sin contacto radicular, en comparación con el tratamiento sin interferencia. Sin embargo, estas diferencias solo fueron significativas ($P \leq 0.05$) en el arroz (*O. sativa*). Existen dos posibles interferencias por encima del suelo: competencia por luz y efecto alelopático de los gases volátiles. Sin embargo, se observó en el transcurso del ensayo que la casi totalidad de las hojas de las plantas receptoras permanecieron por encima de las hojas del pasto ratana, sugiriendo poco efecto de sombra.

Una posible explicación es que estas diferencias se deban a la acción alelopática de los gases volátiles del pasto ratana. En el ensayo donde se evaluó ese efecto, la acción alelopática fue significativa en el *B. brizantha* y no significativa en el *A. pintoi*. Es posible entonces que el follaje de las plantas receptoras haya representado una barrera parecida a la campana de plástico utilizada en el ensayo de gases volátiles, y que de esta manera se haya facilitado la concentración y condensación de las emanaciones del pasto ratana y consiguientemente la acción alelopática sobre la planta receptora. Al respecto, Muller et al (1968) informan efecto alelopático por gases volátiles sólo con colocar la maceta de la planta donante al lado de la planta receptora.

Lo anterior sugiere que todos los tratamientos, incluido el de libre interferencia, estuvieron posiblemente bajo las influencias de las emanaciones gaseosas. Sin embargo, la probabilidad fue mayor en las unidades experimentales que incluían al pasto ratana.

Otra posible explicación puede ser que las variantes involucradas en los tratamientos, como fue el uso o no de plástico, hayan cambiado significativamente el balance hídrico. Sin embargo, en el caso de la presente

investigación, la lluvia frecuente y en su ausencia, el riego por conductividad hídrica pudo haber minimizado las diferencias debidas a este factor.

Unamma y Akobundu (1989) al utilizar el método en mención no encontraron diferencias significativas entre estos dos tratamientos en la evaluación del efecto de las malezas en la producción de tubérculos de *Dioscorea rotundata* y concluyeron que las interferencias por encima del suelo no fueron importantes.

Por otra parte, se observa en la tres especies receptoras la ausencia de efecto negativo del lixiviado sobre las variables de crecimiento analizado. Estos resultados sugieren presumiblemente que las plantas receptoras estuvieron expuestas a bajas concentraciones de aleloquímicos del lixiviado, debido a la falta de contacto de las raíces de la planta receptora con las rizósfera de la planta donante o al poco tiempo de evaluación que no permitió una adecuada acumulación de aleloquímicos en el suelo. Corrobora lo anterior, la similitud de los resultados del presente ensayo con el efecto producido cuando los residuos de la parte aérea del pasto ratana fueron depositados en la superficie, en contraposición con el efecto producido cuando aquellos fueron incorporados al suelo o se utilizó suelo proveniente de un potrero de ratana.

Al respecto, Fisher (1980) señala que las mayor parte de las sustancias alelopáticas que entran al suelo son desactivadas por adsorción a las partículas de arcillas o materia orgánica o pueden ser descompuestas por la acción de los microorganismos del suelo. Por su parte, Muller (1965) informa que los compuestos de terpenos adsorbido por el

suelo conservan su actividad inhibidora por varios meses y segun De Moral y Muller (1970) pueden alcanzar en el suelo concentraciones altas.

Otra posible explicación a la ausencia de efecto inhibitorio en contraposición a los dos ensayos anteriores, puede ser que los aleloquímicos presente en el lixiviado originado de plantas en crecimiento activo no son los mismos que los producidos por los residuos.

Unamma y Akobundu (1989) al utilizar el método de separación de raíces encontraron efecto negativo del lixiviado de las malezas evaluadas sobre el crecimiento de *Dioscorea rotundata*; sin embargo, el período de evaluación fue de medio año.

La interferencia total del pasto ratana con respecto a las tres plantas indicadoras evaluadas, ejerció efecto detrimentales ($P \leq 0.05$) en las tres especie receptoras evaluadas (Cuadro 11). La reducción en el crecimiento de las plantas indicadoras registrada en el tratamiento de plena interferencia vs el tratamiento sin interferencia fue de 48.7, 37.6 y 52.8 % en el *O. sativa*, *B. brizantha* y *A. pinto*, respectivamente. De igual manera, la mayor reducción del crecimiento radicular se registró en el *A. pinto* (56% con respecto al tratamiento sin interferencia); en comparación con el 47% y 45% alcanzado en el arroz (*O. sativa*) y *B. brizantha*, respectivamente (Figura 9).

Con base en lo discutido anteriormente, la diferencia que se registró entre la media del tratamiento con interferencia por encima del suelo, con lixiviado y sin contacto radicular y la media del tratamiento sin interferencia (T3 vs T1) podría ser atribuido en gran

parte al efecto alelopático del pasto ratana debido al poco efecto de sombra observado. Si ese fuera el caso, la reducción del crecimiento por interferencia alelopática solo se registró en las dos gramíneas evaluadas. Sin embargo, esta reducción fue de apenas de 8 y 7.3 % en el *O. sativa* y *B. brizantha*, respectivamente; diferencias que no alcanzaron significancia estadística ($P > 0.05$). Además, la presunta acción inhibitoria alelopática se debió exclusivamente a los gases volátiles, ya que el lixiviado tuvo un efecto estimulador que neutralizó en parte la acción anterior.

Aparentemente la mayor contribución al efecto detrimental de la interferencia total se debió a la competencia radicular que con base a los datos del ensayo se estima en 84, 80, y 100 % en *O. sativa*, *B. brizantha* y *A. pintoii*, respectivamente.

5.4.2 Efecto sobre la concentración foliar de macro y micro elementos.

Al considerar el efecto de los tratamientos sobre el contenido de macro y micro elementos en el tejido de las plantas receptoras, se observa un efecto negativo de la interferencia total sobre el contenido de potasio (Cuadro 13).

Este efecto fue significativo ($P \leq 0.05$) en el *O. sativa* y *A. pintoii*. La magnitud de la reducción fue de 33, 33 y 16 % en el *O. sativa*, *A. pintoii* y *B. brizantha*, respectivamente. Estos valores se correlacionan positivamente con la reducción de los rendimientos debida a la interferencia total.

Cuadro 13 Interferencia del *I. indicum* sobre el contenido de elementos en *O. sativa*, *B. brizantha* y *A. pintoi*, a las 10 semanas de sembrado. Expresado en porcentaje.

Tipo de Interferencia	Contenido				
	P %	K %	Mg %	Ca %	Mn ppm
<i>Oriza sativa</i>					
Sin interferencia	0.16 a	1.9 a	0.24 a	0.28 a	1184 a
Por encima. Sin lix. y sin cont. radícul.	0.24 a	1.8 a	0.31 a	0.31 a	1343 a
Por encima. Con lix. y sin cont. radícul.	0.16 a	1.8 a	0.27 a	0.34 a	1141 a
Interferencia total	0.18 a	1.3 b	0.22 a	0.26 a	1250 a
<i>Brachiaria brizantha</i>					
Sin interferencia	0.20 a	1.0 a	0.31 a	0.31 a	241 a
Por encima. Sin lix. y sin cont. radícul.	0.18 a	0.9 a	0.28 a	0.26 a	268 a
Por encima. Con lix. y sin cont. radícul.	0.20 a	0.7 a	0.32 a	0.27 a	254 a
Interferencia total	0.19 a	0.8 a	0.30 a	0.26 a	232 a
<i>Arachis pintoi</i>					
Sin interferencias	0.29 a	1.0 a	0.57 a	1.19 a	913 a
Por encima. Sin lix. y sin cont. radícul.	0.20 a	1.1 a	0.47 a	0.90 a	624ab
Por encima. Con lix. y sin cont. radícul.	0.25 a	0.8 b	0.48 a	1.10 a	563 b
Interferencia total	0.18 a	0.7 b	0.54 a	1.28 a	553 b

a,b, Medias con distinta letra dentro de cada columna y para cada especie son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

En el *A. pintoii* y *B. brizantha* se observa que el efecto negativo sobre el contenido de K se debió en parte al efecto del lixiviado, pero este efecto sólo fue significativo ($P \leq 0.05$) en el *A. pintoii*. La magnitud de la reducción en el contenido de potasio que se registra por efecto del lixiviado fue de 26.4 y 19.5 % en el *A. pintoii* y *B. brizantha*, respectivamente.

Al respecto, Olmsted y Rice (1970) y Balke (1977) informan que varios compuestos fenólicos presentes en el lixiviado de las plantas inhiben la absorción del ión potasio. Harped y Balke (1980) encontraron que el pH del medio es muy importante en la determinación del efecto de los ácidos fenólicos en la absorción del ión potasio. En un pH de 4.5 una concentración de ácido salicílico inhibió en un 96 % la absorción de K^+ por la avena. En cambio en un pH de 7.5 % la inhibición sólo fue de 19 %.

Al parecer, el efecto negativo del lixiviado en la absorción de ión potasio, especialmente en el *A. pintoii*, pudo haber predispuesto a las plantas receptoras a ser más susceptibles a la competencia por el potasio. Lo anterior tiene gran importancia debido a que la competencia por el potasio ha sido reportada como uno de los mayores problemas de persistencia en algunas asociaciones de gramíneas y leguminosas forrajeras y ha sido asociado con una reducción en el crecimiento radicular de la leguminosa. Tal es el caso de la asociación *A. gayanus* y *Stylosanthes capitata* (CIAT, 1984; Valencia, 1973; y Lemus y Toledo, 1986); sin embargo, lo anterior podría deberse a efectos alelopáticos y de ser esta hipótesis válida, la investigación debería encaminarse a la búsqueda de accesiones de leguminosas tolerantes o de gramíneas sin potencial alelopático.

Por otra parte, no se encontró efecto significativo de tratamiento en el contenido de los otros elementos, a

excepción del contenido de Mn en la leguminosa que varió de acuerdo a los tratamientos en forma similar que el potasio. Sin embargo, el efecto anterior no debe ser considerado negativo para el crecimiento de la planta, pues más bien los niveles de manganeso encontrados en el estudio son muy alto.

Al respecto, se observó uniformemente en todas las unidades experimentales en las especies *O. sativa*, *B. brizantha* y *I. indicum* la presencia de pequeñas manchas color café, amarilla y color rojo-vino, respectivamente; distribuida preferentemente en las hojas basales. Además, algunas de las hojas basales mostraron a su vez necrosis apical. La distribución y el color de estas manchas son similares a los síntomas por toxicidad por manganeso ilustradas en plantas forrajeras y en arroz (CIAT, 1981 y Cheaney, 1975). Además, los niveles de Mn registrados en los tejidos son altos y pueden ocasionar problemas de toxicidad en accesiones susceptibles (Howeler, 1983). Sin embargo, no se descarta que el bajo contenido de potasio registrado haya contribuido a la sintomatología anterior (Angladettle, 1969; Howeler, 1983; Ponnampuruma, 1975 y CIAT, 1982).

Lo anterior sugiere que el contenido de Mn presente en el suelo pudo haber representado una fuente de variación de la biomasa ajeno a los tratamientos; sin embargo, el bajo coeficiente de variación registrado (Cuadro 6A) descarta lo anterior, indicando con ello que el suelo utilizado fue bastante homogéneo.

Es posible que el efecto de tratamiento registrado en el contenido de Mn y K en el *A. pintoii* se deba a un balance hídrico diferentes debido a las variantes asociado a los tratamientos; sin embargo, los datos sugieren más bien que los mismos estuvieron influenciado por la presencia o no del lixiviado del pasto ratana.

5.5 Requerimiento externo e interno de fósforo

5.5.1 Caracterización fisico-química del suelo

En el Cuadro 1 se muestran las características químicas y de textura del suelo antes de la fertilización y después de haber sido cernido. El suelo presenta un alto contenido de arcilla (61 %), con un alto porcentaje de saturación de acidez (83.4 %), sugiriendo altos contenidos de óxidos e hidróxidos de aluminio y de hierro. Sanchez y Salinas (1983) señalan que en los Ultisoles y Oxisoles la retención de fósforo aumenta a medida que se incrementa el contenido de arcilla, debido a su relación directa con el área superficial en donde están localizados los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Los contenidos de bases intercambiables, especialmente el K y Ca, son bajos; incluso para especies de bajos requerimientos como son los pastos tropicales (Borel, 1981). El contenido de fósforo está por debajo del nivel crítico establecido para el método de análisis Olsen modificado (Borel, 1981). El contenido de Mn es bajo; sin embargo, debido a la alta acidez del suelo no se descarta que pueda ocasionar problemas de toxicidad (CIAT, 1985 y CIAT, 1981)

5.5.2 Isoterma de adsorción de fósforo

En la Figura 9 se muestra la curva de adsorción de fósforo para el suelo experimental antes de la fertilización. El porcentaje de fijación de fósforo estimado de acuerdo a lo propuesto por Alvarado (1984) fue de 87%.

La cantidad de fósforo requerida para alcanzar en la solución del suelo la concentración de 0.2 ug de P/g de suelo es de 980 ug de P/g de suelo. La concentración de 0.2 ug de P/g de suelo es considerada por Fox y Kamprath (1970) como la concentración última necesaria para evitar

deficiencias de P en los cultivos. Por su parte, la concentración de 0.05 ug de P/g de suelo, considerado por Sanchez e Isbell (1979) como el nivel probablemente adecuado para el crecimiento de los pastos, se obtiene con 530 ug de P/g de suelo. Esta cantidad es equivalente a la aplicación 1060 kg de P/ha como fertilizante.

La cantidad de fósforo a agregar en este suelo para obtener una concentración de 0.05 ug de P/g de suelo es mucho mayor a la requerida por un Oxisol de Carimagua-Colombia, los Ultisoles de Quilichao-Colombia y Yurimaguas-Perú; y similar a lo requerido por un Oxisol de Brasilia-Brasil. Todo estos suelos son representativos de los suelos ácidos de América del Sur y en ellos se han realizado estudios sobre requerimientos externos de fósforo de los pastos seleccionado como promisorios para la región (Fenster y León, 1979).

5.5.3 Rendimiento de materia seca del *B. brizantha* e *I. indicum*

En el Cuadro 7A se presenta el análisis de varianza para las variables biomasa total y sus componentes.

Se observó un efecto significativo de bloque en cada una de las variables analizadas, registrandose especialmente en el *B. brizantha* una mayor producción de biomasa en el bloque que estuvo más cerca del medio exterior. Lo anterior posiblemente se debió a la mayor luminosidad incidente observada en este sector del invernadero. Al parecer, el *I. indicum* posee mecanismos de respuesta a condiciones de baja intensidad lumínica como lo son el fototropismo de sus estolones y el cambio de morfología de sus hojas (aumento en tamaño) observada en el presente ensayo, concordante con lo reportado por Jiménez (1987).

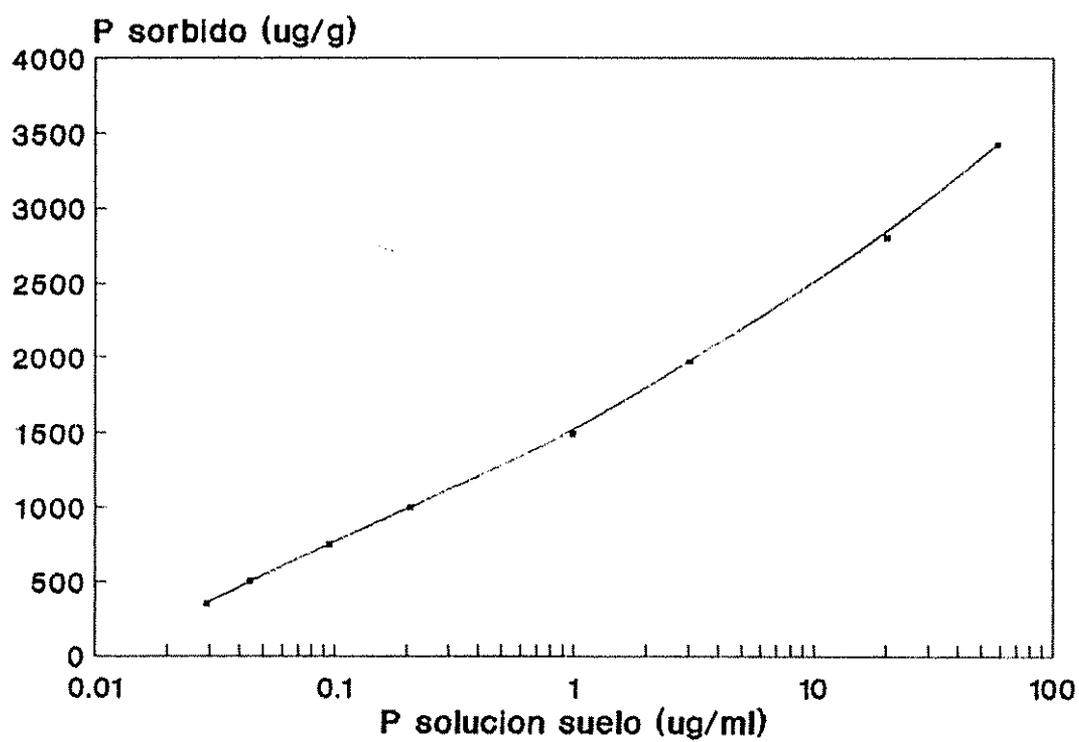


Figura 9 Isoterma de adsorcion de fosforo del suelo Las Palmitas-Cariari, Costa Rica.

El efecto de especie sólo fue significativo ($P \leq 0.05$) en los rendimientos de hojas y de tallos, pero no en la producción de biomasa total. Esto es consecuencia de que la relación hoja : tallo mostró diferencias entre las dos especies siendo ésta mayor en el caso del *B. brizantha*. No se detectaron diferencias significativas entre las dos especies, en cuanto a los rendimientos de la biomasa aérea total, biomasa radicular y biomasa total. Este hecho puede resultar sorprendente, pues generalmente se ha considerado el *I. indicum* como una especie de bajo rendimiento en la región (Villarreal, 1989) y el *B. brizantha* como una alternativa forrajera de alto rendimiento. Es probable que las limitaciones lumínicas a nivel de la casa de malla hayan afectado detrimentalmente a el *B. brizantha*; mientras que el *I. indicum* se mostraría como más tolerante a la sombra.

La interacción nivel de fósforo por especie no fue significativa ($P \leq 0.05$) en ninguna de las variables de rendimiento evaluados.

En la Figura 10 se presentan las curvas de respuesta a la fertilización fosfatada para los dos pastos, considerando tanto la biomasa total como sus componentes (raíces y parte aérea)

De los modelos de regresión probados (cuadrático, raíz cuadrada, discontinuo rectilíneo, funciones logarítmicas y los no linealizables tipo Mitscherlich) el que mejor se ajustó a los datos del ensayo fue el de función logarítmica: $Y = A + B * \text{Log}(X)$ (Cuadro 8A); indicando un incremento a tasa decreciente del rendimiento por unidad adicional de fósforo aplicado. Sin embargo, Waugh, *et al* (1973), citado por Walker y Bejarano (1978) señalan que los modelos de funciones logarítmicas se ajustan mejor en los casos en que las dosis alta de fertilizante son aplicadas con un balance diferente de los nutrientes.

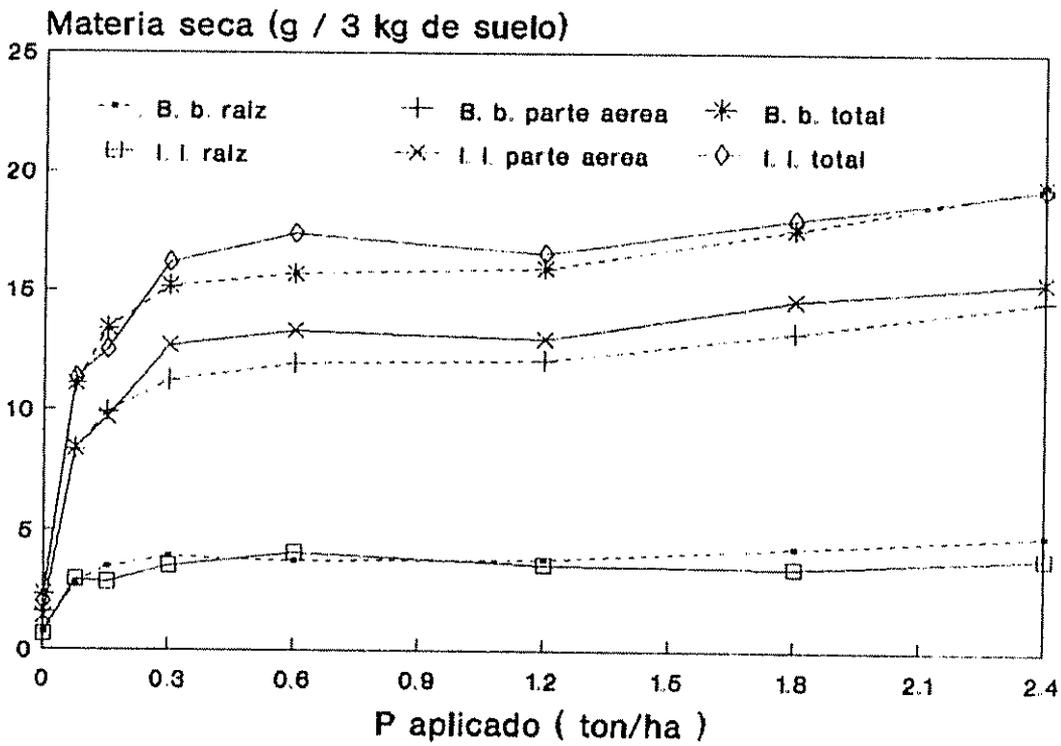


Figura 10 Efecto de los niveles de fosforo sobre la biomasa del *B. brizantha* CIAT 6780 e *L. indicum*.

La fuente de fósforo utilizada en el presente experimento fue $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, por lo que cada unidad de fósforo aplicado representó 0.64 unidades adicionales de calcio. Además, debe señalarse que la fertilización a base de calcio fue equivalente a 128 kg/ha, cantidad probablemente baja si se tiene en cuenta las características del suelo experimental.

Las consideraciones anteriores sugieren un efecto del calcio como enmienda en los niveles superiores a 1.2 toneladas de fósforo/ha, lo cual ayuda a explicar el buen ajuste observado para el modelo semi logarítmico ($R^2 = 0.90$ y 0.87 para la producción de biomasa aérea y total, respectivamente).

Al respecto, Gillman y Fox (1980) y Fox *et al* (1986) han observado el efecto de enmienda de los fertilizantes fosfatados cuando éstos se utilizan en dosis altas y una tendencia logarítmica de la curva de respuesta.

Por lo tanto, con el objeto de ajustar una curva de respuesta efectiva al fósforo, se omitieron los datos correspondientes a niveles de fertilización fosfatada que habían mostrado efecto de enmienda. Bajo esta circunstancia, el modelo probado de mejor ajuste fue el siguiente:

$$Y_j = A + B (1 - \exp^{-c(p_j)})$$

Donde :

Y_j = Rendimiento de M.S. a la aplicación de fósforo p_j

A = Rendimiento de M.S. sin aplicación de P

B = Potencial de respuesta al fósforo en términos de rendimiento de M.S.

$A + B$ = Rendimiento máximo potencial de M.S.

p_j = fósforo aplicado

C = Tasa de respuesta al fósforo.

Siendo $C = -\ln (1 - Y_j + A/B)/p_j$

En las Figuras 11, 12 y 13 se presentan el ajuste del modelo a los datos observado para los parámetros de crecimiento evaluados (biomasa aérea, radioular y total, respectivamente). Se observa una distribución balanceada del residuo a ambos lados de la curva para todos los niveles de P estudiados.

En el Cuadro 14 se presentan los valores de los parámetros del modelo para las variables de crecimiento estimado por especie. Considerando los intervalos de confianza para cada parametro se obsevo que éstos no difirieron entre especies, lo que confirma la apreciación de que las respuestas al fósforo no difirieron entre la dos especies estudiadas. Con relación al mayor valor, las diferencias de los parámetros de regresión entre especies para la biomasa total fue de 5, 9, 20 y 7 % para A, B, C y (A + B) respectivamente. La fracción (A) de rendimiento debido a la disponibilidad natural de P en el suelo y la tasa C de crecimiento relativo debido al P fue mayor en el *B. brizantha*. Por su parte , la fracción B de rendimiento potencial debido al P y el rendimiento potencial (A + B) fue mayor en el *I. indicum*. Sin embargo, al considerar los componentes del rendimiento de la planta se encuentra que la misma tendencia se repite para la parte aérea pero no para la raíz donde en este caso la fracción B fue ligeramente mayor (4%) en el *B. brizantha*.

Las diferencias observadas en los parámetros, aunque no sean significativas, parecen indicar, bajo las condiciones del ensayo, que el *B. brizantha* utilizó ligeramente con mayor eficiencia el P disponible del suelo aunque su potencial de producción fue menor.

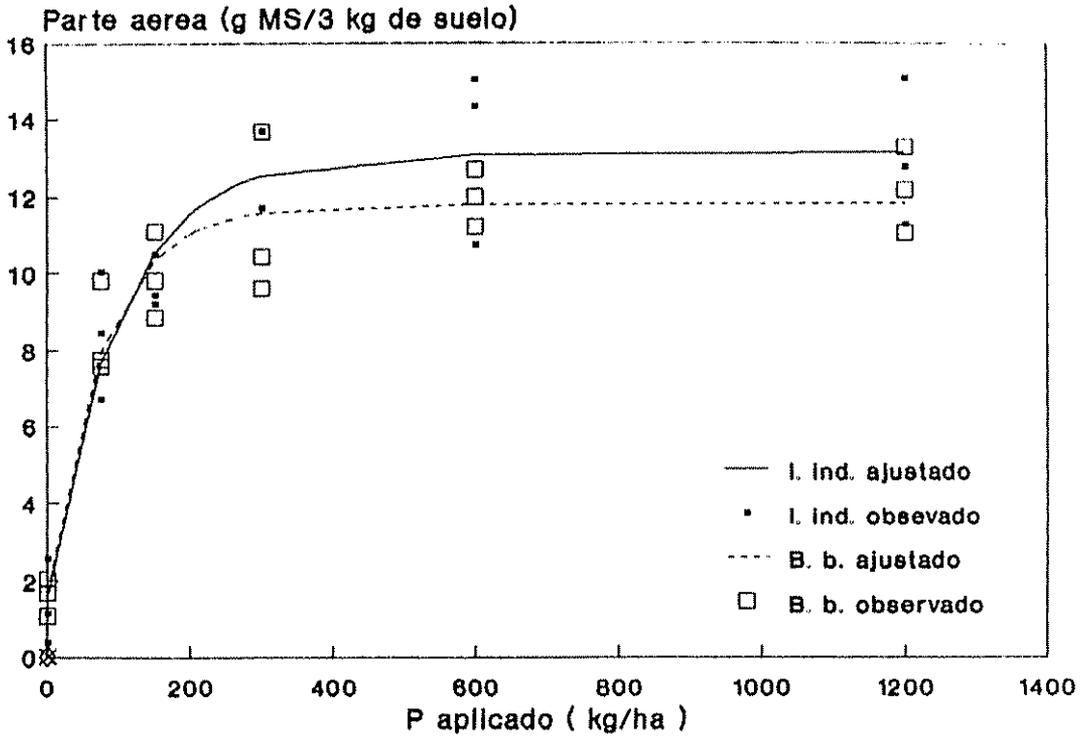


Figura 11 Efecto de los niveles de P aplicado sobre la biomasa aérea ($Y = A + B \cdot (1 - \exp(-c \cdot p))$).

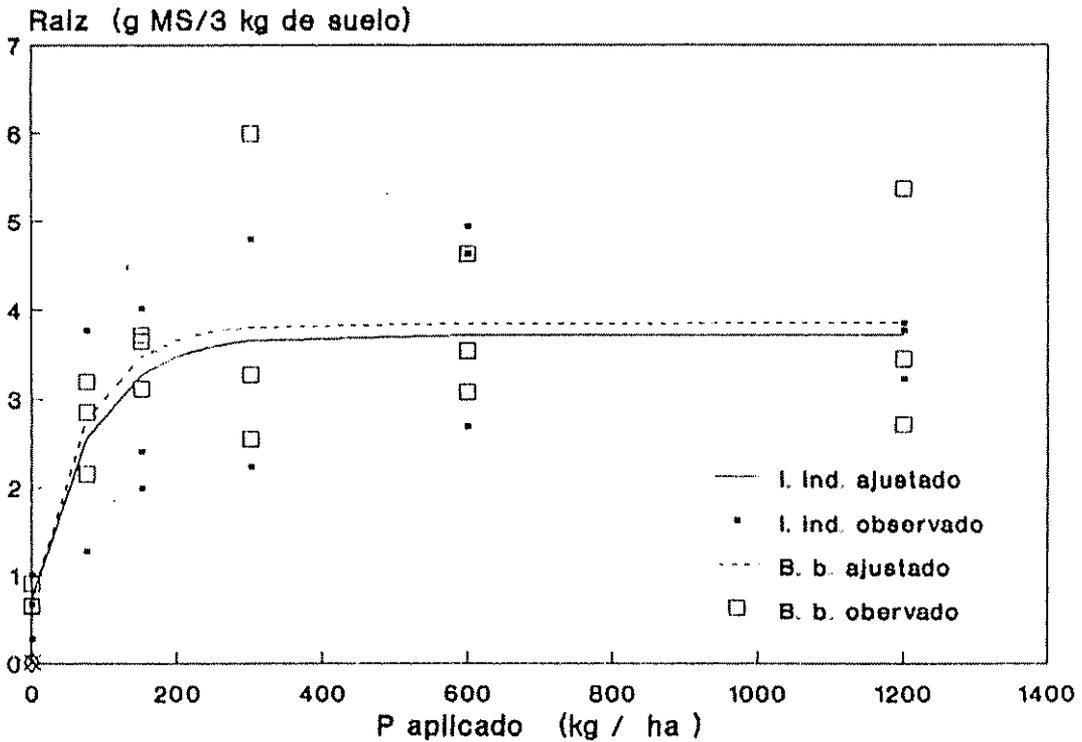


Figura 12 Efecto de los niveles de P aplicado sobre la biomasa radicular ($Y = A + B \cdot (1 - \exp(-c \cdot p))$).

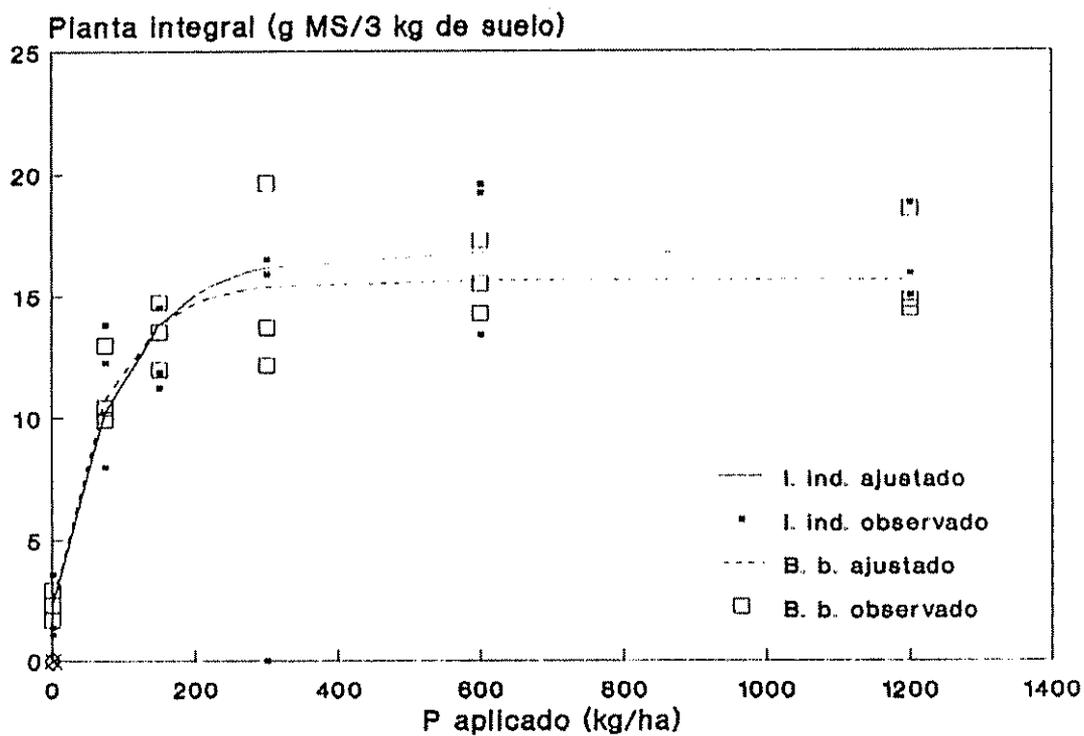


Figura 13 Efecto de los niveles de P aplicado sobre la biomasa total ($Y = A + B \cdot (1 - \exp(-c \cdot p))$).

Cuadro 14 Parámetros de las curvas de respuestas al fósforo ($Y = A + B (1 - \exp(-c \cdot P))$).

Parámetros de la Curva	Variables dependientes					
	Raiz		Parte Aerea		Integral	
	Aj.	E.E*	Aj	E.E	Aj.	E.E
<i>Brachiaria brizantha</i>						
A	0.718	±1.09	1.878	±1.43	2.386	±2.41
B	3.132	±1.28	10.11	±1.65	13.24	±2.77
A + B	3.848		11.79		15.63	
C	0.0141	±0.01	0.0129	±0.006	0.0133	±0.007
<i>Ischaemum indicum</i>						
A	0.718	±1.27	1.527	±1.87	2.265	±2.75
B	2.997	±1.47	11.56	±2.19	14.55	±3.23
A + B	3.716		13.09		16.82	
C	0.0126	±0.01	0.0101	±0.004	0.0105	±0.005

* Error estándar de los parámetros.

** En el ajuste del modelo no se consideró el efecto de bloque.

Congruente con lo anterior la planta integral de *B. brizantha* alcanzó el 95 % de su máxima producción con la aplicación de 213 kg de P / ha; mientras que el *I. indicum* lo alcanzó con la aplicación de 270 kg / ha.

5.54 Análisis foliar .

En el Cuadro 9A se muestra el nivel de significancia de las fuentes de variación consideradas en el análisis de varianza para los contenidos de nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn) en los tejidos vegetales.

El efecto de bloque fue significativo sólo para los contenidos de N, P, y K. Por otra parte, se detectó significancia ($P \leq 0.05$) para el efecto de especie en el caso de los contenidos de P, K, Ca, Mn, y Fe. El contenido de P, K, y Mn fue significativamente mayor en el *B. brizantha*. En cambio, el contenido de Ca y Fe fue mayor en el *I. indicum* (Cuadro 15).

Los niveles de fósforo aplicados afectaron significativamente ($P \leq 0.01$) las concentraciones de todos los macroelementos analizados; en cambio, en el caso de los microelementos, sólo se detectó significancia para el Mn.

Cuadro 15 Promedios del contenido de nutrientes en el tejido por especie en el ensayo de requerimientos externos e internos de fósforo.

Especie de Gramínea	Contenido de nutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg
	(%)				
<i>B. brizantha</i>	18.6 a	0.305 a	2.43 a	0.237 b	0.57 a
<i>I. indicum</i>	17.4 a	0.192 b	2.19 b	0.322 a	0.56 a
D.M.S. (P=0.05)	1.5	0.019	0.14	0.04	0.06

Especie de Gramínea	Contenido de nutrientes			
	Zn	Cu	Mn	Fe
	(ppm)			
<i>B. brizantha</i>	67 a	16.0 a	381 a	244 b
<i>I. indicum</i>	63 b	15.7 a	249 b	324 a
D.M.S. (P=0.05)	21	4.1	17.7	66

Medias con distintas letras son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Las dosis de fósforo aplicados como fertilizante estuvieron correlacionados positivamente con los contenidos de P, Ca y Mg en el tejido y negativamente con las concentraciones de K y N (Cuadro 10A). Al parecer, el mayor crecimiento de la planta debido a la fertilización fosfatada produjo un efecto de dilución en la concentración del K y N, debido a la disponibilidad marginal de estos elementos en el suelo y una absorción abundante del Mg, debido posiblemente a la alta disponibilidad relativa de este elemento. Estos resultados coinciden con lo informado por Little (1982) y Howeler (1983) para especies forrajeras.

Existió interacción significativa ($P \leq 0.05$) de especie por niveles de fósforo aplicado en las concentraciones de P, Mg y Mn. En las dos especies la concentración de fósforo en el tejido se incrementó en forma lineal a medida que aumentó los niveles de fertilización fosfatada. Sin embargo, la tasa de incremento de la concentración de P en el tejido por kilo de P aplicado fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) en el *B. brizantha* (0.00019%) que en el *I. indicum* (0.00007%). Igualmente, el efecto de los niveles de fertilización fosfatada sobre el contenido de magnesio fue mayor en el *B. brizantha*. Por otra parte, la fertilización fosfatada no ejerció ningún efecto sobre el contenido de Mn en el *I. indicum* pero si tuvo un efecto positivo en el *B. brizantha* (Cuadro 11A).

Estos resultados indican diferencias importantes entre especies. Al parecer el *B. brizantha* tiene menor capacidad de tomar el calcio disponible en el suelo, pero mayor capacidad de tomar fósforo, potasio y manganeso. Sin embargo, lo anterior por sí solo no indica ventaja relativa de las especies con respecto a estos elementos, ya que además se deben de considerar las diferencias entre éstos,

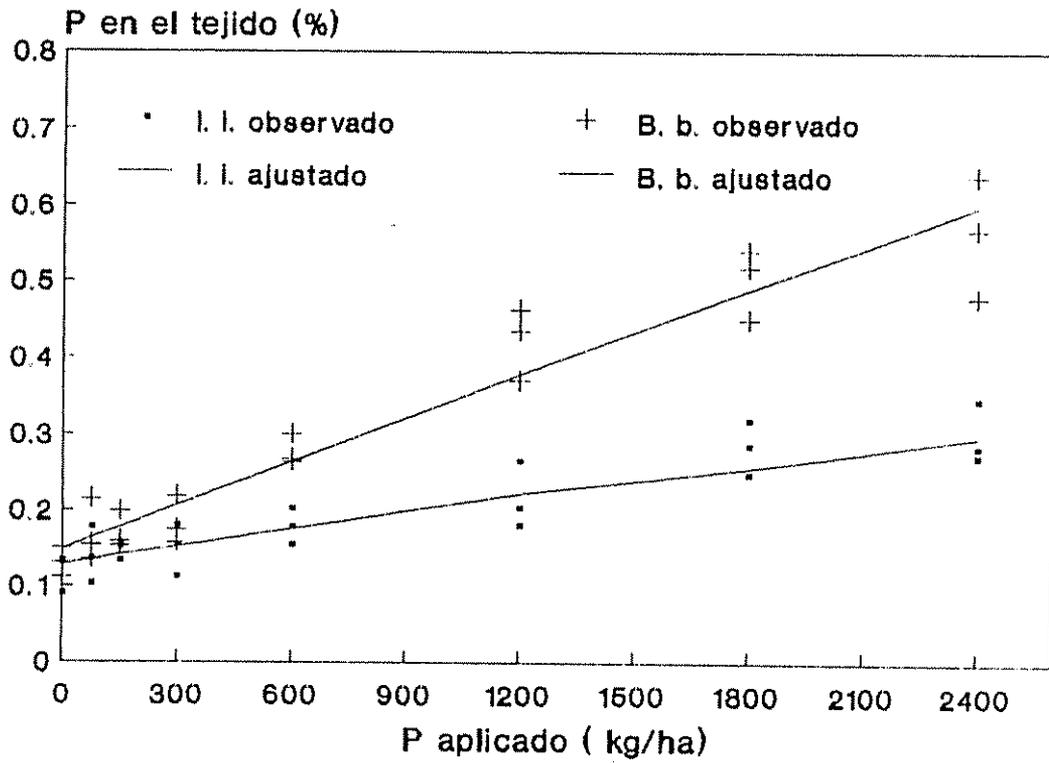


Figura 14 Efecto de los niveles de P aplicado sobre el contenido de P en el tejido.

en cuanto al nivel de requerimiento interno de dichos elementos minerales.

5.5.5 Requerimiento externo de fósforo

La isoterma de adsorción de P del suelo proveniente de Las Palmitas (Cariari), usado en este experimento, no determinó las concentraciones de P en solución correspondientes a los niveles por debajo de los 700 kg de P aplicado, razón por la cual fue necesario extrapolar. Para la extrapolación se tomó en cuenta el hecho universal de que la tasa de adsorción de P por el suelo disminuye o se conserva pero nunca aumenta al incrementarse el nivel de fósforo agregado. Lo anterior permite extrapolar, con un límite de confianza de la concentración de P en solución, en función a la mayor tasa de adsorción encontrado en la curva. Con base en lo anterior, para la extrapolación se utilizó la función logarítmica $P_{\text{Sorbido}} = 1501.6 + 741.15 \text{Log}(P_{\text{Sol.}})$ que fue el modelo que mejor se ajustó ($R^2 = 0.99$) a los cuatro valores inferiores de concentración de P. Por lo tanto, el valor de la concentración de P en solución que se utilice como estimador de los requerimientos externos de fósforo de las dos especies estudiadas debe ser igual o mayor, pero no menor, al valor real.

En el Cuadro 16 y en la Figura 15 se presenta el requerimiento externo estimado de los dos pastos evaluados en el suelo Las Palmitas y los niveles de fósforo aplicados para su obtención.

El requerimiento externo que produce el 95 % del rendimiento máximo de las tres variables de rendimientos evaluadas (parte aérea, raíz y la planta integral) fue muy similar en las dos especies. Para la planta integral del *B. brizantha* el requerimiento externo estimado fue $\leq 0.0131 \text{ ug}$

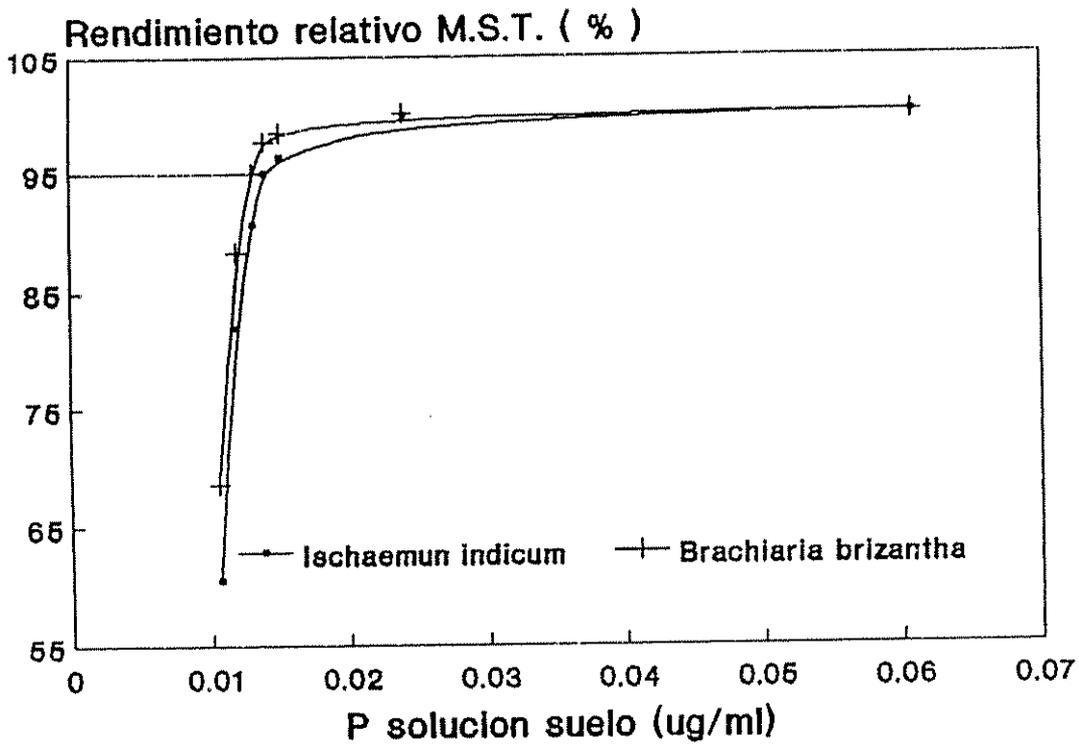


Figura 15 Requerimiento externo de fosforo del B. brizantha CIAT 6780 e I. indicum.

de P/ml de solución; mientras que para el *I. indicum* fue de ≤ 0.0139 .

Cuadro 16 Requerimientos externos e internos de fósforo estimado con el 95 % del rendimiento máximo.

Parametros	<u>Raiz</u>	<u>Parte Aerea</u>	<u>Integral</u>
<i>Brachiaria brizantha</i>			
P-Solución (Ug/ml).	≤ 0.0128	≤ 0.0133	≤ 0.0131
P-Aplicado (Kg/ha)	198	220	213
P-Tejido (%)*	0.186	0.19	0.189
Y= 95 % Rend.(g/mac)	3.65	11.2	14.84
<i>Ischaemum indicum</i>			
P-Solución (Ug/ml).	≤ 0.0133	≤ 0.0146	≤ 0.0139
P-Aplicado (Kg/ha)	220	283	270
P-Tejido (%)	0.146	0.15	0.151
Y= 95 % Rend.(g/mac)	3.53	12.42	15.95

* contenido de P en la parte aérea de la planta.

Estos requerimientos externos están dentro del rango (0.01-0.05 ug de P/ ml de solución) obtenido, bajo condiciones de campo en un Oxisol de Carimagua (Colombia), para los pastos *B. decumbens* CIAT 606, *A. gayanus* CIAT 621, *P. maximum* y *H. rufa*. Los valores observados son similares a los obtenidos para *A. gayanus* CIAT 621 y *B. decumbens* CIAT 606 y menor a lo obtenido para *H. rufa* y *P. maximum* (CIAT, 1978).

Sin embargo, las diferencias entre especie en requerimientos por otros elementos como Ca, K o en

tolerancia a la toxicidad por Al o Mn pueden influir en los estudios comparativos de requerimientos externos de P entre especies cuando se realiza bajo una dosis basal de fertilizante. Tal es el caso de *H. rufa* que bajo condiciones de suelo de alta saturación de Al y bajo contenido de bases intercambiables resultó ser unas de las especies con mayor requerimiento de fósforo, debido al parecer a la interacción del Ca y P presente en el fertilizante fosfatado, a causa de su baja adaptación a los suelos ácidos (CIAT, 1978); mientras que en estudios realizados en solución nutritiva, en donde se incluían especies estudiadas en el trabajo anterior, el *H. rufa* junto con el *B. humidicola* resultaron ser las especies menos exigentes de P (Prieto, 1980).

En el caso del presente ensayo, al parecer los dos pastos muestran buena adaptación a las condiciones de acidez del suelo colectado de Las Palmitas, como lo indican sus rendimientos relativamente altos si se comparan con los obtenidos por otros pastos en estudios similares en condiciones de invernadero (CIAT, 1978; Fox et al, 1986). Sin embargo, el bajo contenido de calcio que presentó *B. brizantha* en los niveles bajos de fósforo, estaría sugiriendo que este elemento pudo haber limitado la respuesta al P en este pasto. Sin embargo, los rendimientos alcanzados con los niveles intermedios y altos de P no parecen indicar efecto de nutriente del Ca presente en el fertilizante fosfatado, pero si efecto de enmienda.

Al parecer, la accesión *B. brizantha* CIAT 6780 tiene mucho menos capacidad de absorción de calcio que la accesión *B. brizantha* CIAT 665, debido a que en un Oxisol de Carimagua se obtuvo con esta última accesión un requerimiento externo e interno de Ca de 100 kg/ha y 0.37 %, respectivamente (CIAT, 1982); mientras que con la accesión *B. brizantha* 6780 fue necesaria la aplicación de 1664 Kg/ha de Ca para alcanzar un contenido similar de Ca en el tejido.

5.5.6 Requerimiento interno de fósforo.

En el Cuadro 16 y Figura 16 se presentan los requerimientos internos de las dos especies evaluadas y los contenidos de P en el tejido, en función de los niveles de P aplicados.

El requerimiento interno de fósforo del *B. brizantha* asociado con el 95 % y 75 % del rendimiento máximo de la planta integral fue de 1.89 y 1.66 mg/g respectivamente; mientras que los valores correspondientes para el *I. indicum* fueron de 1.5 y 1.39 mg/g, respectivamente.

Estos resultados indican que el *I. indicum* tiene un requerimiento interno de P menor que el *B. brizantha* CIAT 6780 y al parecer se encuentra entre las gramíneas tropicales de bajo requerimiento interno de fósforo. El requerimiento interno estimado del pasto ratana resulto mayor al que se reporta para el *B. decumbens* CIAT 606, *A. gayanus* CIAT 621, *B. humidicola* CIAT 679 y *B. brizantha* CIAT 665 (CIAT, 1982 y Masa et al, 1988) e inferior a los requerimientos reportados para *P. maximun*, *Melinis minutiflora* (CIAT, 1979 y Howeler, 1983), *Cenchrus ciliaris*, *Paspalum dilatun*, *Choris gayana*, *Setaria anceps*, *Digitaria decumbens*, *Pennisetum clandestinum* (Andrew, 1969 y Andrew, 1971 citado por Howeler, 1983), *C. plectostachyus* c.v. Puerto Rico (Arosemena, 1981) y *Pennisetum purpureum* (Chandler et al, 1983)

El requerimiento interno de fósforo del *B. brizantha* CIAT 6780 resultó mayor que lo reportado para la accesión *B. brizantha* CIAT 665. Lo anterior no es nada excepcional debido que el CIAT (1982) reporta diferencias marcadas entre accesiones de una misma especie en términos de sus

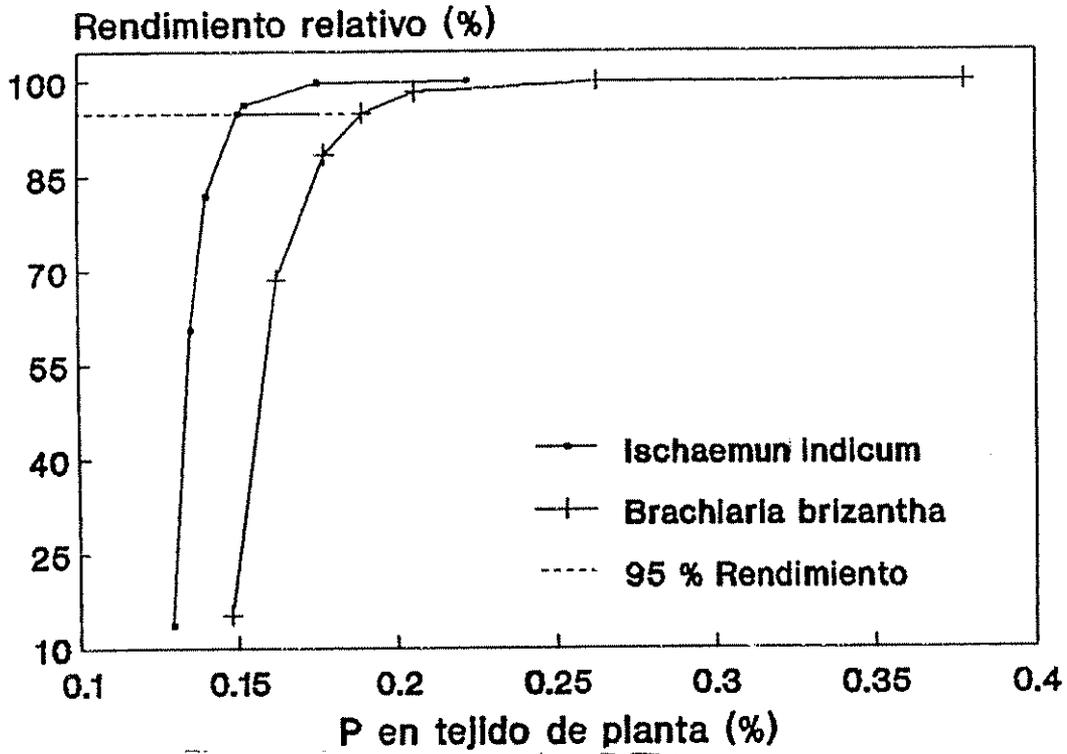


Figura 16 Requerimiento interno de fósforo del *B. brizantha* CIAT 6780 e *I. indicum*.

requerimientos de P, Ca, y K y su tolerancias a excesos de Mn.

5.6. Consideraciones generales

Los datos obtenidos en los ensayos sugieren que la interferencia por alelopatía es uno de los posibles mecanismos de dominancia del pasto ratana, pero no permite afirmar que éste sea el principal mecanismo. La especie tiene también excelentes atributos que le confieren una habilidad competitiva alta, como la de ser un prolifero productor de semillas viables y de estolones aéreos con fototropismo y con abundantes nudos enraizadores (raíces aéreas) que al parecer le permiten invadir, cubrir y establecerse sobre una cubierta vegetal de porte bajo. Además, los resultados obtenidos en el presente trabajo son concordantes con las evidencias que indican la buena adaptación del pasto a condiciones de suelos con problemas de excesiva humedad, toxicidad de aluminio y/o Mn y bajos niveles de fósforo. Al parecer los suelos muy húmedos con problemas de acidez son relativamente comunes en la Zona Atlántica de América Central y constituyen un serio limitante para el desarrollo de los cultivos (Kass et al, 1984) y de muchas de las especies forrajeras denominadas mejoradas, como es el caso del pasto estrella africana, las cuales han sido sustituido paulatinamente por el pasto ratana (Hunter, 1987 y Villarreal, 1989).

La presencia de pasto ratana es especialmente crítica en aquella zona del trópico húmedo que presenta al menos dos y tres meses de sequía, pues bajo esas condiciones la tasa de crecimiento del pasto ratana se ve fuertemente afectado (Ortega y Rattray, 1986). Bajo esas condiciones se podría justificar económicamente su erradicación.

Al parecer, no existe mayor problema en su erradicación con el uso de herbicidas químicos, especialmente con herbicidas sistémicos que tienen acción sobre la semilla gámica, si la especie que la reemplaze va a ser establecida usando material vegetativo (Villarreal, 1989). Sin embargo, esta estrategia de control resultaría onerosa y poco segura sino se combina con el establecimiento de pastos bien adaptados a la zona y con buena habilidad competitiva.

De confirmarse, con nuevos ensayos, la acción alelopática del pasto ratana y su importancia sobre la interferencia total, sería necesario considerar la tolerancia al efecto alelopático como criterio de selección de los pastos. Para ello sería necesario realizar trabajos de identificación de los aleloquímicos presente en el pasto e identificar métodos sencillos que permitan evaluar la mayor cantidad de accesiones en el menor tiempo. Posiblemente las pruebas de germinación utilizando extractos o gases volátiles del pasto podrían ser de utilidad para identificar rápidamente accesiones tolerantes.

Otra posibilidad a explorar podría ser la identificación de especies forrajeras productivas que tengan mayor habilidad de interferencia que el pasto ratana. Para ello, sería de utilidad las pruebas de separación de raíces donde se evalúe el efecto cruzado de las especies (Sajise y Lale, 1975)

Por otra parte, sería de interés determinar el papel que juegan las condiciones de estrés prevalecientes en la interacción alelopática del ratana con otros pastos. Los trabajos de Anaya (1976) realizados en la zona cálida y húmeda de México resaltan la importancia de la interferencia por alelopatía en las condiciones de estrés.

En los casos en que se quiera prevenir la invasión del pasto ratana en pasturas establecidas, es importante considerar que la especie domina rápidamente la pradera cuando la misma, está sometida a una alta presión de pastoreo (Hunter, 1987; Whitte, 1957). En este caso la medida preventiva, para evitar su invasión podría ser un pastoreo frecuente pero con una presión de pastoreo baja. En general, las prácticas culturales como : buen manejo de potreros, evitar durante el período de floración el ingreso de animales de un potrero de ratana a uno no infestado, la fertilización adecuada y el encalado; combinado con el control químico oportuno de los brotes del pasto podrían ser de utilidad para prevenir la infestación e invasión en pasturas. Sin embargo, lo anterior podría resultar inefectivo si en la selección de las especies de pastos a ser establecidas no se considera su capacidad de adaptación a dichos ecosistemas y el que posean una habilidad competitiva alta.

Las especies del genero *Brachiaria* podrían ofrecer accesiones productivas tan bien o más adaptados a los ecosistemas del trópico húmedo de Costa Rica y Panamá, donde actualmente el pasto ratana constituye un problema serio para la actividad ganadera.

6. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio y bajo las condiciones en que se realizó el mismo, se establecen las siguientes conclusiones:

1. Los residuos de la parte aérea y de la raíz del pasto ratana tienen un potencial alelopático capaz de disminuir la germinación y el crecimiento radicular del *A. pintoii* CIAT 17434 y *O. sativa*.

2. Una de las formas de actuar de los aleloquímicos presentes en el lixiviado del pasto ratana parece ser la inhibición de la absorción del ión K^+ por la planta receptora, predisponiendo a ésta planta, especialmente el *A. pintoii* CIAT 17434, a ser más susceptible al efecto de competencia por este elemento.

3. El pasto *B. brizantha* CIAT 6780 es menos susceptible que el *O. sativa* y el *A. pintoii* CIAT 17434 al efecto alelopático de los residuos del pasto ratana.

4. Las emanaciones volátiles del pasto ratana tienen al parecer un sensible efecto alelopático sobre el crecimiento del *B. brizantha* CIAT 6780; mientras que el *A. pintoii* CIAT 17434 pareciera ser tolerante a dicho efecto.

5. Bajo las condiciones del ensayo, el *A. pintoii* CIAT 17434 fue la planta evaluada más susceptible al efecto de interferencia total del pasto ratana, tanto por competencia como por alelopatía.

6. El requerimiento externo de fósforo necesario para obtener el 95 % del rendimiento máximo fue similar en las dos gramíneas; siendo en el *I. indicum* ≤ 0.0139 ug de P/ml de suelo y en el *B. brizantha* CIAT 6780 ≤ 0.0131 ug de P/ml de suelo. Los mismos son considerados bajos en comparación a los requerimientos de fósforo de los pastos tradicionales utilizado en la zona.

7. La concentración de P en el tejido asociado con el 95 % del rendimiento máximo fue mayor en el *B. brizantha* CIAT 6780 (0.189 % de P); mientras que en el *I. indicum* fue de 0.151 % de P, la cual es considerado bajo en comparación con otros pastos.

8. El *B. brizantha* CIAT 6780 posee una mayor capacidad de absorción del fósforo disponible en el suelo; mientras que el *I. indicum* muestra una mayor capacidad de absorción del calcio disponible.

7. RECOMENDACIONES

1. Precisar con nuevos ensayos la caracterización del efecto alelopático del lixiviado y de los gases volátiles encontrado en el pasto ratana, lo cual incluya la identificación de los aleloquímicos responsables de dicho efecto.

2. Insistir en los ensayos de separación radicular con el objeto de evaluar la contribución de los distintos tipos de interferencia. Sin embargo, con las siguientes modificaciones:

a) prolongar el tiempo de evaluación a por lo menos un año con objeto de que se pueda expresar el efecto alelopático del pasto ratana.

b) utilizar como plantas receptoras más de una accesión de *A. pintoi* y de *B. brizantha* con el objeto de identificar si existe variabilidad genética entre accesiones en cuanto a su tolerancia a la interferencia del pasto.

3. Evaluar modificaciones en la metodología utilizada en el ensayo de tipos de interferencia que permitan aislar el efecto de los gases volátiles. Así mismo, mejorar las condiciones físicas de la planta donante para que ella pueda expresar su potencial alelopático, haciendolo más acorde a las condiciones naturales de campo.

4- Una posible alternativa metodológica al uso de las láminas de plástico es el utilizar cilindros de fibra de nylon, de forma que divida la maceta en dos compartimentos, uno interior que serviría de soporte a la planta receptora y otro exterior que serviría de soporte a la planta donante. Lo anterior debe permitir la interacción alelopática del lixiviado pero no la competencia radicular. Para el tratamiento con interferencia aérea y sin lixiviado ni contacto radicular se utilizarían cilindros de P.V.C. El

tratamiento libre de interferencia llevaría igualmente el cilindro con fibras de nylon. En el tratamiento de plena interferencia se podría utilizar la misma metodología utilizada en el presente estudio. Sería conveniente un quinto tratamiento para separar el efecto de los gases volátiles de la competencia por luz y sería con cilindro de P.V.C + control manual de la orientación física de los estolones de forma que no haya competencia por luz. La fertilización base sería igual para los dos compartimentos y debería ser con dosis baja. Las macetas deben estar espaciadas y ventiladas para evitar influencia de los gases volátiles sobre el tratamiento libre de interferencia .

5. La evaluación de la viabilidad de las modificaciones debe de contemplar el estudio de la conductividad de la solución de un compartimento a otro a través de la fibras de nylon. Para ello es necesario el uso de marcadores solubles detectables.

6. De confirmarse la importancia de la interferencia por alelopatía en la dominancia del pasto ratana, sería recomendable considerar la tolerancia al efecto alelopático como criterio de selección de los pastos.

7. Las pruebas de germinación utilizando extractos o gases volátiles podrían ser de utilidad para identificar rápidamente accesiones tolerantes.

8. BIBLIOGRAFIA

- ACHHIREDDY, N.; SINGH, M.; ACHHIREDDY, L.; NIGG, H.; NAGY, S. 1985. Isolation and partial characterization of phytotoxic compounds from Lantana (*Lantana camara* L.). Journal of Chemical Ecology (EE.UU.) 8: 874-898.
- AGUILA, F. ; PATIÑO, B. 1970. Situación actual de la ganadería de carne, pastos y forrajes en Panamá. Panamá, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín no. 10. 24 p.
- ALVARADO, A. 1984. Aluminio activo en suelos derivados de ceniza volcánica de Costa Rica y Guatemala. Turrialba (C.R.) 34: 396-398.
- ANAYA L, 1976. Estudio sobre el potencial alelopático de algunas plantas secundarias de una zona cálido-húmeda de México. Tesis Dr. Cienc. México, Universidad Nacional Autónoma de México. 296 p.
- ANGLADETTE, A. 1969. El arroz. Barcelona, Editorial Blume. 930 p.
- ARGEL, P.J.; DA VEIGA, J.B. 1988. Manejo de la competencia de malezas en el establecimiento y recuperación de pasturas. Presentado en la I Reunión de la RIEPT-CAC. Veracruz, México, 17-19 de Nov., 1988. 21 p. (mimeografiado).
- AROSEMENA, E.; 1981. Efecto de varios niveles de fertilización nitro-fosfatada en el rendimiento y la composición química del pasto Estrella Africana (*Cynodon plectostachyus*). Tesis Lic. Ing. Agr. Panamá, Universidad de Panamá. 133 p.
- BALKE, N.E. 1977. Inhibition of ion absorption in *Avena sativa* L. roots by diethylstilbestrol and other phenolic compounds. Ph.D. Thesis. Indiana, Purdue Univ., W. Lafayette. Dissertation Abstracts # 7813025.
- BATEMAN, J.V. 1970. Nutrición animal; manual de métodos analíticos. México. p 289-291.
- BHARUCHA, F.R.; SHANKARNARAYAN, K.A. 1958. Effects of overgrazing on the grasslands of the Western Ghats. Ecology (EE.UU.) 39: 152-153.

- BLUNT, C.G.; HUMPHREYS, L.R. 1970. Phosphate response of mixed swards at Mt. Cotton, South-eastern Queensland. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry (A.C.T.) 10: 431-441.
- BOR, N.L. 1960. The grasses of Burma, Ceylon, India and Pakistan, New York, Pergamon Press. 767 p.
- BOREL, R. 1981. Uso de los fertilizantes en pasturas. In Producción y Utilización de forrajes en el trópico: Compendio. CATIE (C.R.). Serie Materiales de Enseñanza N°. 10: 58- 69.
- ADMINISTRATION REPORT of the Director of Agriculture for the year 1948. 1950. Georgetown, British Guiana. p 20.
- CATIE-COPEMONTENCILLOS. 1987. Informe Final: Encuesta técnica a ganaderos asociados a Coopemontecillos. 34 p. (mimeografiado).
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1979. Informe Anual 1978. Programa de Ganado de Carne. Cali, Colombia, CIAT. 188 p.
- _____. 1978. Informe anual 1977. Programa de Ganado de Carne. Cali, Colombia, CIAT. 124 p.
- _____. 1981. Síntomas de deficiencia de micronutrientes y toxicidades minerales en pastos tropicales; guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido científico: Salinas, J. y Sanz J. Cali, Colombia, CIAT. 28 p.
- _____. 1982. Informe anual 1981. Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia, CIAT. 302 p.
- _____. 1982. Manual para la evaluación Agronómica. Ed. por J. Toledo. Cali, Colombia. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. 70 p
- _____. 1984. Informe anual 1983. Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia, CIAT. 387 p
- _____. 1987. Investigaciones de apoyo para la evaluación de pasturas; memorias de la tercera reunión de trabajo del Comité asesor de la RIEPT, 15-18 de Octubre de 1985. Cali, Colombia. 196 P.
- CHANDLER, J.; ABRUÑA, F.; COSTAS, R.; SILVA SERVANDO 1983. Producción y utilización intensiva de las

- forrajeras en Puerto Rico. Boletín no. 271, Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico. 226 p.
- CHEANEY, R.; JENNINGS, P. 1975. Problemas en cultivos de arroz en América Latina. Cali, Colombia, CIAT. 90 p.
- CHOU, C.H. 1980. Allelopathic researches in the subtropical vegetation in Taiwan. Comparative Physiology and Ecology (India) 5: 222-234.
- _____; PATRICK, Z.A. 1976. Identification and phytotoxic activity of compounds produced during decomposition of corn and rye residues in soil. Journal of Chemical Ecology (EE.UU.) 2: 369-387
- _____; YOUNG, C.C. 1975. Phytotoxic substances in twelve subtropical grasses. Journal of Chemical Ecology (EE.UU.) 1: 183-193.
- DEL MORAL, R.L. 1972. On the variability of chlorogenic acid concentration. Oecologia (Francia) 9: 289-300.
- _____; MULLER, C.H. 1970. The allelopathic effects of *Eucalyptus camaldulensis*. American Midland Naturalist (EE.UU.) 83(1):254-282.
- DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químicos de suelo, y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- FENSTER, W. E.; LEON, L. A. 1978. Manejo de la fertilización con fósforo para el establecimiento y mantenimiento de pastos mejorados en suelos ácidos e infértiles de América Tropical. In Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Ed. por L. Tergas y P. Sanchez. Cali, Colombia, CIAT. p 119-133.
- FISHER, R.F. 1980. Allelopathy: A potential cause of regeneration failure. Journal of forestry (EE.UU.) 78(8): 346-350.
- FORSYTHE, W. M. 1975. Manual de laboratorio de física de suelos. San José, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Serie Libros y Materiales Educativos nº 25. 212 p.

- FOX, R. 1981. External phosphorus requirements of crops. In Chemistry in the soil environment. Ed. by H. Stelly; D. M. Kral; M. Kay Cousing. EE.UU. American Society of Agronomy. Special publication no. 40 p. 223-234.
- _____; KAMPRATH, E.J. 1970. Phosphorus sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 34:902-907.
- _____; NISHIMOTO, R.K.; THOMPSON, J.R.; PENA, R.S. 1974. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soil. Soil Science (EE.UU.) 4:232-239.
- _____; SAUNDERS, W.M.; RAJAN, S.S. 1986. Phosphorus nutrition of pasture species: Phosphorus requirement and root saturation values. Soil Science Society of American Journal (EE.UU.). 50: 142-148.
- GILLMAN, G; FOX, R. 1980. Increases in the cation exchange capacity of variable charge soils following super phosphate applications. Soil Science Society of American Journal (EE.UU.) 44: 934-938.
- GUENZI, W.D.; MCCALLAM, T.M. 1962. Inhibition of germination and seedling development by crop residues. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 26: 456-458.
- HARPER, J.R.; BALKE, N.E 1980. Inhibition of potassium absorption in excised oat roots by phenolic acids. In Plant Membrane Transport: Current Conceptual Issues. Ed. by W. Lucas and J. Dainty. New York, Elsevier. p 389-400.
- HAVARD-DUCLOS, B. 1969. Las plantas forrajeras tropicales. Barcelonam, Editorial Blume. 380 p.
- HOLDRIDGE, L. R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Trad. por H. Jimenez Saa. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- HOWELER, R. 1983. Análisis de tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales: algunos cultivos tropicales. Cali, Colombia, CIAT. 28 p.
- HUNTER, J.R. 1987. Some observations on *Ischaemum indicum* (Poaceae: Panicoideae: Andropogoneae) a recent aggressive introduction to Costa Rican pasture lands. Turrialba (C.R.) 37:71-76.

- JIMENEZ, F. 1987. Agrometeorología de la radiación solar. Turrialba, Costa Rica. 56 p. (mimeografiado)
- KASS, D.; JIMENEZ, M.J.; CAMPOS, W.; BERMUDEZ, W. 1984. Sistema de cultivo para suelos sujetos a inundación en el trópico húmedo. Managua, Nic. 15 p.
- Trabajo presentado Reunión Anual de Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (30, 1984, Managua, Nicaragua).
- LANTIGUA, A. 1989. Requerimiento externo e interno de fosforo en tres cultivares de maiz (*Zea mays* L.) y tres cultivares de soya (*Glycine max* Merr.). Tesis Mag. Sc., Turrialba, C. R., CATIE. 140 p.
- LEHLE, F.R.; FRANKS, R.; McCLELLAND, M. 1983. Allelopathic potential of hope white lupine (*Lupinus albus*) herbage and herbage extracts. Weed Science (EE.UU.) 31:513-519.
- LEMUS, R.; TOLEDO, J.M.; 1986. Competencia entre *Andropogon gayanus* y plántulas en desarrollo de *Stylosanthes capitata*. Pasturas Tropicales (Col.) 8(3): 9-13.
- LIANG, J.C.; SHEEN, S.S.; CHOU, C.H. 1983. Competitive allelopathic interaction among some subtropical pastures. In Seminar on Allelochemicals and Pheromones. (1982, Taipei, Taiwan). Proceedings. Ed. by C. Chou; G. Waller. Taipei, Taiwan, Academia Sinica. p 121-133.
- LITTLE, D.A. 1982. Utilization of minerals. In Nutritional limits to animal production from pastures. Ed. by J. HACKER. Sta Lucia. Queensland. Australia, 1981.
- MASA, A.R.; HERNANDEZ, M.; REYES, F.; AVILA, V. 1988. Niveles crítico de N, P y K en *Andropogon gayanus* c.v. CIAT 621. In Reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales-CAC (1988, Veracruz, México) (Trabajo Presentado). Ed. E. Pizarro. Cali, Colombia, CIAT. pp 431-433.
- MASA, A.R.; HERNANDEZ, M.; REYES, F.; AVILA, V. 1988. Niveles crítico de N, P y K en *Brachiaria brizantha*. In Reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales-CAC (1988, Veracruz, México) (Trabajo Presentado). Ed. por E. Pizarro. Cali, Colombia, CIAT. pp 428-430.

- MAZZARINO, M.; KASS, D.; JIMENEZ, M. 1985. Utilidad de distintas formas de evaluación de la isoterma de sorción de fósforo y de factores ligados a la retención del mismo en algunos suelos tropicales. *Ciencia del Suelo (Arg.)* 3:1-2.
- MULLER, C. H. 1969. Allelopathy as a factor in ecological process. *Vegetatio (Holanda)* 18: 348-357.
- MULLER, W.H.; LORBER, P.; HALEY, P. 1968. Volatile growth inhibitors produced by *Salvia leucophylla*: Effect on seedling growth and respiration. *Bulletin of the Torrey Botanical Club (EE.UU.)* 95:415-422.
- OBANDO, L. 1987. Potencial alelopático de *Gliricidia sepium*(Jacq.) Steud sobre los cultivos de maíz y frijol y las malezas predominantes. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., CATIE. 115 p.
- OLMSTED, C.E.; RICE, E.L. 1970 Relative effects of known plant inhibitors on species from first two stage of old field succession. *Southwestern Naturalist (EE.UU)* 15: 165-173.
- ORTEGA, C.M.; RATTRAY, J.M. 1986. Especies forrajeras en Panamá. In *Resúmenes analíticos de la investigación pecuaria en Panamá (1968-1985)*. Ed. por B. Pinzón; R. Montenegro. Panamá, IDIAP. p 3-4.
- PATRICK, Z.A. 1971. Phytotoxic substances associated with the decomposition in soil of plants residues. *Soil Science (EE.UU.)* 3: 13-18.
- PEECH, M. 1965. Hydrogen-Ion activity. In *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Ed. by C.A. Blac. (ASA. Agronomy no 9) Madison, ASA. pp. 914-926.
- PONNAMPERUMA, F. 1974. Limitaciones de microelementos en suelos ácidos arroceros. In: *Bornemisza y Alvarado, eds. Manejo de suelos en América Tropical. Consorcio de Universidades de Suelos Tropicales. North Carolina State University. Raleigh, N.C. p. 336-354.*

- PRIETO M., H.E. 1980. Níveis críticos de fósforo em *Brachiaria decumbens* (Stapf) Prain, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweikerdt, *Digitaria decumbens* Stent, *Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf, *Melinis minutiflora* Pal de Beauv, *Panicum maximum* Jacq e *Pennisetum purpureum* Schum. Tese Mag.Sc. Piracicaba-SP, Brasil, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de Sao Paulo. 97 p.
- PUTNAM, A.R. 1988. Allelopathy: Problems and opportunities in weed management. In Weed management in agroecosystems: Ecological approaches. Ed. by M. Altieri y M. Liebman. Florida, CRC Press, Inc. p 78-86.
- PUTNAM, A.R; DUKE, W.B. 1974. Biological suppression of weeds; Evidence for allelopathy in accessions of cucumber. Science (EE.UU.) 185: 370-372.
- RICE, E.L. 1984. Allelopathy. 2 ed. Orlando, Academic Press. 422 p.
- SAJISE, P.E.; LALES, J.S. 1975 Allelopathy in a mixture of congon (*Imperata cylindrica*) and *Stylosanthes guyanensis*. Kaliskasan Philippine. Journal of Biology (Filipina) 4: 155-164.
- SALINAS, G., SANCHEZ, P.A. 1975. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to Ion available soil phosphorus. Ciencia e Cultura (Bra.) 28 (2): 156-168.
- SANCHEZ, P: A.; SALINAS, J. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America. Advances in Agronomy (EE.UU) 34: 279-406.
- _____; ISBELL, R.F. 1978. Comparación entre los suelos de los trópicos de América Latina y Australia. In Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Ed. por L. Tergas; P. Sanchez. Cali, Colombia, CIAT. p 29-58.
- SERRAO, E.A.; FALESI, I.C.; DA VEIGA, J.B. y TEIXEIRA, J.F. 1978. Productividad de praderas cultivadas en suelos de baja fertilidad de la Amazonia de Brasil. In Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Ed. por L. Tergas; P. Sanchez. Cali, Colombia, CIAT. p 211-244.
- SMITH, A.E. 1989. The potential allelopathic characteristics of bitter sneezeweed (*Helenium anarum*). Weed Science (EE.UU.) 37: 665-669.

STACHON, W.J.; ZIMDAHL, R.L. 1980. Allelopathic activity of Canada thistle (*Cirsium arvense*) in Colorado. Weed Science (EE.UU.) 28(1): 83-86.

STOWE, L. 1979. Allelopathy and its influence on the distribution of plants in an Illinois old-field. Journal of Ecology (G.B.) 67: 1065-1085.

SWAIN, T. 1977. Secondary compounds and protective agents. Plants Physiology (EE.UU.) 28: 479-501

SZCZEPANSKI, A. 1977. Allelopathy as a means of biological control of water weeds. Aquatic Botany (Holanda) 3: 193-197.

TOLEDO, J.M. y MORALES, V.A. 1978. Establecimiento y manejo de praderas mejoradas en la amazonia peruana. In Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Ed. por L. Tergas; P. Sanchez. Cali, Colombia, CIAT. p 191-210.

TUKEY, H.B. 1969. Implications of allelopathy in agricultural plant science. Botanical Review (EE.UU.) 35 (1): 1-16.

UNAMMA, R.P., AKOBUNDU, I.O. 1989. Effects of tropical weeds on yield in white yam (*Discorea rotundata* Poir). Weed Research (G.B.) 29: 1-6.

VALENCIA, I.M. 1983. Root competition between *Andropogon gayanus* and *Stylosanthes capitata* in an Oxisol in Colombia. Ph. D. Thesis. Gainesville, University of Florida. 140 p.

* VILLARREAL, M. 1989. El uso de la especie *Ischaenun ciliare* (Ratana) como forraje. Un estudio comparativo de su comportamiento y alternativa para su control. San José, C. R., MAG. Dirección de Salud y Producción Pecuaria. 16 p. (mimeografiado)

Presentado en el curso modular en producción pecuaria (1989, Moravia, San José, C. R.)

* VILLARREAL, M. 1989. Restablecimiento de Praderas con vegetación dominante de Ratana (*Ischaenun ciliare*, Retz), a través de la sustitución con especies de gramíneas mejoradas. (Anteproyecto de Investigación). San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 13 p.

- WALKER, J.L.; BEJARANO, W. 1978. Uso práctico de los modelos discontinuos para interpretación rápida de la respuesta de cultivos a la aplicación de fertilizantes. Turrialba, C. R., CATIE. 84 p.
- WHITTAKER, R.H.; FEENY, P.P. 1971. Allelochemicals: chemical interactions between species. *Science (EE.UU.)* 171(3973): 757-770.
- WHYTE, R.H.; WORSHAM, D; BLUM, U. 1989. Allelopathic potential of legume debris and aqueous extracts. *Weed Science (EE.UU.)* 37: 674-679.
- WHYTE, R.O. 1957. The grassland and fodder resources of India, New Delhi, The Indian Council of Agricultural Research. 437 p.
- WOODHEAD, S. 1981. Environmental and biotic factors affecting the phenolic content of different cultivars of *Sorghum bicolor*. *Journal of Chemical Ecology (EE.UU.)* 7:1035-1047.
- YOUNG, C.C. 1983. Allelopathy in *Hemarthria attissima* and *Desmodium intortum* association. In Seminar on Allelochemicals and Pheromones (1982, Taipei, Taiwan). Proceedings. Ed. by C. Chou; G. Waller. Taipei, Taiwan, Academia Sinica. pp 87-96.

8. ANEXO

Cuadro 1A Resumen de análisis de varianza para el efecto de residuos de *I. indicum* sobre el porcentaje de emergencia de las tres especies receptoras.

Fuente de Variac	GL	Especies receptoras		
		<i>O. sativa</i>	<i>B. brizantha</i> P(F > Fo)	<i>A. pintoii</i>
Bloque	4	0.7694	0.3759	0.9464
Tratam	2	0.0006	0.2555	0.1326
Tiempo	3	0.0001	0.0001	0.0001
Tr*Ti	6	0.0001	0.5570	0.8659
C.V. parcelas %		9.65	19.46	20.22
C.V. subparcelas %		8.29	3.45	19.69

Cuadro 2A Resumen de análisis de varianza para el efecto de residuos de *I. indicum* sobre la biomasa radicular, parte aérea y total en tres especies receptoras.

Fuente de Variac	GL	Rendimiento de M.S.					
		Raiz		Parte Aérea		Total	
		planta maceta	planta maceta	planta maceta	planta maceta	planta maceta	planta maceta
P(F > Fo)							
<i>Oriza sativa</i>							
Bloque	4	0.59	0.42	0.16	0.23	0.29	0.28
Tratam.	2	0.43	0.02	0.16	0.19	0.50	0.07
C.V. %		12.3	13.2	8.5	11.2	9.0	11.0
<i>Brachiaria brizantha</i>							
Bloque	4	0.04	0.07	0.63	0.32	0.24	0.22
Tratam.	2	0.08	0.59	0.02	0.22	0.02	0.32
C.V. %		16.8	22.3	11.3	22.6	12.0	21.6
<i>Arachis pintoii</i>							
Bloque	4	0.03	0.18	0.46	0.55	0.36	0.49
Tratam.	2	0.005	0.10	0.34	0.76	0.17	0.56
C.V. %		12.2	25.0	16.6	27.7	14.8	26.4

Cuadro 3A Resumen de análisis de varianza para el efecto alelopático de *I. indicum* a través del suelo sobre el porcentaje de emergencia en tres especies receptoras.

Fuente de Variao	GL	Especies receptoras		
		<i>O. sativa</i>	<i>B. brizantha</i> P(F > Fo)	<i>A. pintoii</i>
Bloque	4	0.3331	0.503	0.1732
Tratam.	1	0.1385	0.331	0.007
Edad	3	0.0001	0.0226	0.001
Tr*Ed	3	0.0021	0.6788	0.105
C.V.(parc. compl.)		21.7	15.3	8.4
C.V.(subparcela)		8.2	4.8	10.8

cuadro 4A Resumen de análisis de varianza para el efecto alelopático a través del suelo de *I. indicum* sobre la biomasa radicular, parte aérea y total en tres especies receptoras.

Fuente de Variac	GL	Rendimiento de M.S.					
		Parte Aérea		Raiz		Total	
		planta maceta	planta maceta	planta maceta	planta maceta	planta maceta	planta maceta
P(F > Fo)							
<i>Oriza sativa</i>							
Bloque	4	0.49	0.26	0.77	0.24	0.62	0.25
Tratam.	1	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03
C.V. %		26.0	26.9	19.9	22.2	22.7	24.3
<i>Brachiaria brizantha</i>							
Bloque	4	0.68	0.58	0.73	0.33	0.58	0.45
Tratam.	1	0.06	0.10	0.18	0.27	0.26	0.20
C.V. %		29.3	44.1	29.7	26.1	22.7	31.9
<i>Arachis pintoii</i>							
Bloque	4	0.06	0.79	0.64	0.38	0.17	0.64
Tratam.	1	0.11	0.51	0.02	0.01	0.52	0.13
C.V. %		6.6	18.2	15.4	18.4	7.9	16.9

Cuadro 5A Resumen del análisis de varianza para el efecto alelopático de las emanaciones volátiles.

Fuente de Variación	GL	Variables dependientes						
		Emergencia (%)	Producción de MS					
			Raiz		Parte Aerea		Total	
			Pl ^a	Mac ^b	Pl	Mac	Pl	Mac
P(F > F ₀)								
<i>Brachiaria brizantha</i>								
Bloque	4	0.08	0.74	0.31	0.42	0.40	0.69	0.36
Tratam.	1	0.46	0.02	0.10	0.02	0.08	0.01	0.08
C.V. (%)		16.6	20.1	35.4	16.7	29.8	15.6	30.4
<i>Arachis pintoii</i>								
Bloque	4	0.63	0.01	0.86	0.17	0.72	0.08	0.78
Tratam.	1	0.62	0.69	0.46	0.09	0.20	0.12	0.24
C.V. (%)		39.0	9.13	42.5	11.5	34.4	10.6	36.0

^a g MS/planta ^b g MS/maceta

Cuadro 6A Resumen del análisis de varianza para el efecto del tipo de interferencia del *I. indicum* sobre el crecimiento de tres especies indicadoras.

Fuente de Variac	GL	Rendimiento de M.S.		
		Parte Aérea	Raiz	Total
P(F > Fo)				
<i>Oriza sativa</i>				
Bloque	5	0.403	0.005	0.196
Tratam.	3	0.0001	0.0001	0.0001
C.V. %		9.2	6.5	7.7
<i>Brachiaria brizantha</i>				
Bloque	5	0.880	0.826	0.908
Tratam.	3	0.012	0.0001	0.0001
C.V. %		14.6	10.3	10.7
<i>Arachis pintoii</i>				
Bloque	5	0.740	0.722	0.7643
Tratam.	3	0.0001	0.0001	0.0001
C.V. %		13.1	17.0	13.0

Cuadro 7A Resumen del análisis de varianza para los efectos del tipo de interferencia sobre el contenido de nutrientes en el tejido.

Fuente de Variación	GL	Contenido de nutrientes						
		P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe
P(F > Fo)								
<i>O. sativa</i>								
Tratam.	3	0.56	0.01	0.85	0.44	0.53	0.75	0.69
C. V. %		31	4	34	20	33	15	50
<i>B. brizantha</i>								
Tratam.	3	0.99	0.78	0.75	0.67	0.31	0.58	0.58
C. V. %		49	30	17	18	17	11	29
<i>A. pintoi</i>								
Tratam.	3	0.07	0.01	0.77	0.63	0.48	0.04	0.07
C. V. %		14	6	23	9	37	13	38

Cuadro 8A Resumen del análisis de varianza para el efecto de los niveles de fósforo y de especie sobre la biomasa total y sus componentes.

Fuente de Variac	GL	Biomasa				
		Hoja	Tallo	Parte Aérea	Raiz	Total
P(F > Fo)						
Bloque	2	0.001	0.036	0.006	0.004	0.0006
Especie	1	0.0001	0.0001	0.085	0.2216	0.3369
Fósforo	7	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
E*P	7	0.082	0.061	0.864	0.877	0.9576
C.V. %		10.27	15.32	11.8	26.97	12.56

Cuadro 9A Resumen del análisis de varianza para el efecto de los niveles de fósforo y de especie sobre los contenidos de nutrientes en el tejido.

Fuente de Variación	GL	Contenido de nutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg
$P(F > F_0)$						
Bloque	2	0.037	0.0156	0.0002	0.987	0.2856
Especie	1	0.181	0.0001	0.0019	0.0002	0.8719
Fósforo	7	0.0015	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
E*P	7	0.853	0.0001	0.4279	0.4904	0.0368
C. V. %		13.3	13.1	10.5	25.5	18.3

Fuente de Variación	GL	Contenido de nutrientes			
		Cu	Zn	Mn	Fe
$P(F > F_0)$					
Bloque	2	0.1740	0.2599	0.7942	0.1774
Especie	1	0.8905	0.7089	0.0001	0.0204
Fósforo	7	0.4771	0.6626	0.0019	0.6375
E*P	7	0.8050	0.7933	0.0002	0.2524
C.V. %		44.4	55.8	9.5	39.4

Cuadro 10A Efecto de los residuos de hojas, tallos, y material muerto del *I. indicum* sobre la biomasa radicular, parte aérea y total. Expresado en mg/maceta.

Tratamientos	Rendimiento de M.S.		
	Raiz	Parte Aérea	Integral
<i>Oriza sativa</i>			
Sin residuos	392 a	638 a	1030 a
Superficial	304 b	594 a	898 a
Incorporado	304 b	552 a	856 a
D.M.S. (P=0.05)	80	120	186
<i>Brachiaria brizantha</i>			
Sin residuos	150 a	282 a	432 a
Superficial	174 a	338 a	512 a
Incorporado	166 a	370 a	536 a
D.M.S. (P=0.05)	86	134	193
<i>Arachis pintoii</i>			
Sin residuos	662 a	1460 a	2122 a
Superficial	516 a	1280 a	1796 a
Incorporado	454 a	1378 a	1832 a
D.M.S. (P=0.05)	246	687	915

Medias con distintas letras son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Cuadro 11A Efecto alelopático del *I. indicum* a través del suelo sobre la biomasa radicular, aérea y total. Expresado en mg/maceta.

Tratamientos	Rendimiento de M.S.		
	Raiz	Parte Aérea	Integral
<i>Oriza sativa</i>			
Suelo sin raíces	418 a	474 a	892 a
Suelo con raíces	250 b	280 b	530 b
D.M.S. (P=0.05)	130	178	303
<i>Brachiaria brizantha</i>			
Suelo sin raíces	188 a	206 a	394 a
Suelo con raíces	152 a	384 a	536 a
D.M.S. (P=0.05)	77	228	260
<i>Arachis pintoi</i>			
Suelo sin raíces	712 a	1516 a	2228 a
Suelo con raíces	428 b	1396 a	1824 a
D.M.S. (P=0.05)	185	466	599

Medias con distintas letras son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Cuadro 12A Efecto de especie sobre la biomasa total y sus componentes.

Especie de gramínea	Rendimiento de MS					Total
	Raíz	Hoja	Tallo g / maceta	P. aérea	H:T	
<i>I. indicum</i>	3.45	3.94 b	7.04 a	10.98	0.58 b	14.43
<i>B. brizantha</i>	3.11	5.78 a	4.60 b	10.38	1.36 a	13.49

Medias con distintas letras en cada columna para cada especie son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Cuadro 13A Efecto de los niveles de fósforo sobre la biomasa total y sus componentes.

Niveles de Fósforo kg/ha	Rendimiento de MS (65°C)				
	Raíz	Hoja	Tallo g / maceta	P. aérea	Total
<i>Ischaenun indicum</i>					
0	0.64 b	0.56 c	0.80 c	1.36 d	2.0 d
75	2.93 ab	3.22 b	5.18 c	8.40 c	11.3 c
150	2.80 ab	3.23 b	6.48 bc	9.71 bc	12.5 bc
300	3.51 a	4.21 ab	8.47 ab	12.68 ab	16.1 abc
600	4.08 a	4.63 a	8.71 ab	13.33 a	17.4 ab
1200	3.61 a	4.75 a	8.23 ab	12.98 ab	16.6 ab
1800	3.46 a	5.50 a	9.11 a	14.61 a	18.0 a
2400	3.95 a	5.54 a	9.84 a	15.38 a	19.3 a
<i>Brachiaria brizantha</i>					
0	0.72 b	1.08 d	0.51 c	1.59 d	2.3 d
75	2.73 ab	4.79 c	3.58 b	8.36 c	11.1 c
150	3.49 a	5.50 bc	4.42 ab	9.22292 bc	13.4
300	3.83 a	6.31 b	4.81 ab	11.22 abc	15.2 abc
600	3.74 a	6.55 b	5.39 ab	11.94 ab	15.7 abc
1200	3.83 a	6.83 ab	5.28 ab	12.10 ab	15.9 abc
1800	4.32 a	7.27 ab	6.02 a	13.28 a	17.6 ab
2400	4.87 a	7.89 a	6.72 a	14.61 a	19.5 a

Medias con distintas letras en cada columna para cada especie son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Cuadro 14A Efecto de los niveles de fósforo sobre el contenido de macroelementos en el tejido.

Niveles de Fósforo kg/ha	Contenido de nutrientes				
	N	P	K (%)	Ca	Mg
<i>Ischaemum indicum</i>					
0	3.7 a	0.12 c	2.7 a	0.23 b	0.48 a
75	3.0 a	0.14 bc	2.6 a	0.22 b	0.46 a
150	3.1 a	0.15 bc	2.3 ab	0.28 a	0.55 a
300	2.8 a	0.15 bc	2.3 ab	0.28 ab	0.51 a
600	2.6 a	0.18 bc	2.1 ab	0.33 ab	0.62 a
1200	2.6 a	0.22 ab	1.8 b	0.39 ab	0.61 a
1800	2.5 a	0.29 a	1.9 b	0.41 ab	0.65 a
2400	2.1 a	0.30 a	1.9 b	0.44 a	0.64 a
<i>Brachiaria brizantha</i>					
0	3.5 a	0.13 d	3.0 ab	0.12 b	0.24 c
75	2.9 a	0.17 d	3.1 a	0.17 b	0.42 bc
150	3.3 a	0.17 d	2.5 abc	0.18 b	0.61 ab
300	2.9 a	0.18 d	2.3 c	0.28 ab	0.75 a
600	2.9 a	0.28 c	2.4 bc	0.17 b	0.56 ab
1200	3.0 a	0.42 b	2.2 c	0.30 ab	0.64 ab
1800	2.7 a	0.52 a	1.9 c	0.28 ab	0.83 ab
2400	2.6 a	0.56 a	2.0 c	0.38 a	0.69 ab

Medias con distintas letras en cada columna para cada especie son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Cuadro 15A Efecto de los niveles de fósforo sobre el contenido de microelementos en el tejido.

Niveles de Fósforo kg/ha	Contenido de nutrientes			
	Cu	Zn ug g ⁻¹	Mn	Fe
<i>Ischaemum indicum</i>				
0	18.2	75.8	247 a	234
75	15.0	71.8	260 a	303
150	18.3	62.7	246 a	432
300	11.2	56.6	231 a	329
600	15.5	61.5	277 a	327
1200	18.7	66.4	233 a	368
1800	17.2	62.4	266 a	303
2400	11.7	47.9	240 a	298
<i>Brachiaria brizantha</i>				
0	19.0	90.6	310 d	393
75	15.5	52.5	327 cd	169
150	19.5	30.9	338 cd	258
300	16.8	47.6	398 abc	235
600	21.6	65.3	386 bcd	181
1200	13.4	89.2	423 ab	264
1800	12.7	85.6	399 abc	173
2400	9.7	75.0	471 a	285

Medias con distintas letras en cada columna para cada especie son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

Cuadro 16A Coeficientes de correlacion de Pearson
entre las diferentes variables observadas.

\.Ii Bb\	Trat P	Rend H+T	Rend Raiz	N	P	K	Ca	Mg	Mn	
Trat P		0.74 ***	0.45 *	-0.6 **	0.92 ***	-0.7 ***	0.79 ***	0.70 ***	-0.0 N.S.	I S.
Rend H+T	0.70 ***		0.80 ***	-0.8 ***	0.67 ***	-0.8 ***	0.62 **	0.69 ***	0.13 N.S.	C H A
Rend Raiz	0.57 **	0.89 ***		-0.8 ***	0.43 *	-0.6 ***	0.37 N.S.	0.43 *	-0.0 N.S.	E M U N
N	-0.5 **	-0.7 ***	-0.7 ***		-0.5 *	0.74 ***	-0.6 **	-0.5 *	-0.0 N.S.	I N D
P	0.96 ***	0.89 ***	0.53 **	-0.5 *		-0.6 **	0.81 ***	0.69 ***	0.0 N.S.	I C U M
K	-0.7 ***	-0.8 ***	-0.7 ***	0.66 ***	-0.6 ***		-0.6 **	-0.7 ***	-0.0 N.S.	M
Ca	0.67 ***	0.66 ***	0.62 **	-0.5 **	0.64 ***	-0.6 **		0.84 ***	0.11 N.S.	
Mg	0.43 *	0.66 ***	0.56 **	-0.5 *	0.40 *	-0.5 *	0.47 *		0.34 N.S.	
Mn	0.75 ***	0.70 ***	0.64 ***	-0.4 *	0.7 ***	-0.5 **	0.66 ***	0.57 **		
	Trat P	Rend H+T	Rend Raiz	N	P	K	Ca	Mg	Mn	

BRACHIARIA BRIZANTHA

Cuadro 17A Comparación del R^2 de diferentes modelos para las variables de rendimientos evaluado en el ensayo de requerimiento externo e interno de fósforo.

Modelos* de Regresión	Rendimientos		
	Raíz	Parte aérea	Planta integral
$Y = a + b \cdot \log(X)$	0.58	0.90	0.87
$Y = a + b \cdot \sqrt{X}$	0.36	0.68	0.64
$Y = a + b \cdot X - c \cdot X^2$	0.33	0.61	0.58
$Y = a + b \cdot (1 - \exp(-c \cdot X))$	0.58	0.87	0.85
Discontinuo Rectilíneo (Bartholomew, 1972)	0.55	0.83	0.82

* ajustado con todos los niveles de fósforo.

Cuadro 18A Comparación del R² de diferentes modelos para las variables de rendimientos evaluado en el ensayo de requerimiento externo e interno de fósforo.

Modelos* de Regresión	Rendimientos		
	Raíz	Parte aérea	Planta integral
<i>I. indicum</i>			
Y= a + b*log(X)	0.58	0.90	0.87
Y= a + b*√X	0.33	0.68	0.64
Y= a + b*(1-exp(-c*x))	0.58	0.90	0.87
Discontinuo Rectilíneo (Bartholomew, 1972)	0.63	0.84	0.85
<i>B. brizantha</i>			
Y= a + b*log(X)	0.62	0.92	0.87
Y= a + b*√X	0.46	0.68	0.64
Y= a + b*(1-exp(-c*x))	0.64	0.92	0.87
Discontinuo Rectilíneo (Bartholomew, 1972)	0.64	0.89	0.85

* ajustado con los niveles de fósforo (0-1200 kg de P /ha)

Cuadro 19A Rendimiento relativo de la planta, concentración de fósforo en la solución suelo y en el tejido foliar, asociado con diferentes tratamientos de fertilización fosfatada.

P-Aplicado (kg/ha)	Rendimiento Relativo (%)	P-Solución (Ug/ml)	P-Tejido (mg/g)	
			Aj	Ob
<i>Brachiaria brizantha</i>				
0	15.3	0.009	0.14	0.13
75	68.7	0.010	0.16	0.17
150	88.4	0.012	0.18	0.17
300	98.4	0.015	0.21	0.18
600	99.9	0.024	0.26	0.28
<i>Ischaemun indicum</i>				
0	13.5	0.009	0.13	0.12
75	68.7	0.010	0.14	0.14
150	88.4	0.012	0.14	0.15
300	98.4	0.015	0.15	0.15
600	99.9	0.024	0.18	0.18