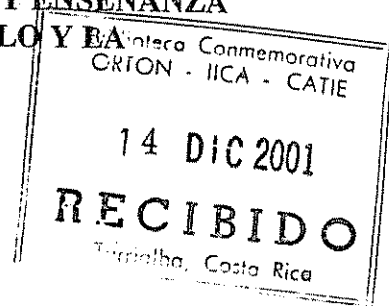


**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**



**EFECTO DE ESPECIES USADAS COMO ABONO VERDE EN EL
ENRIQUECIMIENTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO Y EN EL MANEJO DE
PLAGAS**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgraduados, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae

POR

ALANA DAS CHAGAS FERREIRA AGUIAR

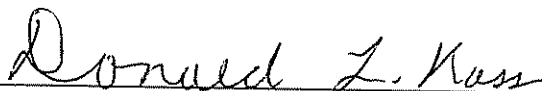
Turrialba, Costa Rica

2001

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgraduados del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGÍSTER SCIENTIAE

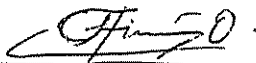
FIRMANTES:



Donald Kass, Ph.D.
Consejero Principal



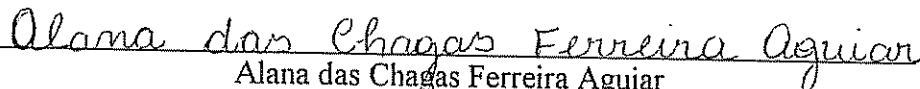
Luko Hilje, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Al Moslemi
Director y Decano de la Escuela de Posgraduados



Alana das Chagas Ferreira Aguiar
Candidata

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuela

Maria do Carmo Castro Ferreira,

por guiarme siempre, en corazón y alma.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su amor eterno y protección en las horas difíciles.

A KAS, Fundación Konrad Adenauer, por haber financiado mis estudios de maestría.

A Emanoel Gomes de Moura, por su amor y aportes importantes al trabajo.

A mi familia, por su apoyo incondicional en mis estudios.

A los productores de Río Guayabo, por su cariño y dedicación al trabajo.

Al Comité Asesor, en las personas de Dr. Donald Kass, Dr. Francisco Jiménez y Dr. Luko Hilje, por la asesoría y contribución al trabajo.

A los funcionarios de la Biblioteca Orton, con atención especial para Javier Brenes, por su ayuda con toda buena voluntad.

A Gustavo López, por su asistencia en el análisis estadístico. Asimismo al Dr. Gilberto Páez, por sus esclarecimientos.

Al Laboratorio de Suelos, en especial a Patricia Leandro, siempre preocupada por la calidad de los análisis.

A Arturo Ramírez (Arturito) y Alexis López, por su fundamental asistencia para la realización de los estudios.

A Pedro Jorge, mi “hermanito mayor”, contribuyendo con importantes aportes al trabajo.

A mis amigos, Alfonso Suárez, Ray, Claudia Muñoz, Claudia Restrepo, Beatriz Gallego por sus amistades, principalmente en los momentos de estrés.

AGUIAR, ACF. 2001. Efecto de especies usadas como abono verde en el enriquecimiento de la fertilidad del suelo y en el manejo de plagas. Tesis Mag. Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 93 p.

Palabras claves: reciclaje de nutrientes, fraccionamiento de fósforo, Investigación Participativa, maíz, *Bemisia tabaci*, Mosca blanca, Fagodisuasión, Ovidisuasión, Extractos vegetales.

RESUMEN

El primer estudio fue realizado bajo condiciones de invernadero para determinar la contribución de la incorporación de los residuos de las especies *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* y *Tephrosia vogelii* en el aumento de la disponibilidad de nutrientes, así como para cuantificar los cambios causados por estas especies en las fracciones de P. Cuatro suelos de Costa Rica fueron utilizados, un Andic Palehumult (Ultisol-Grecia), Acrudoxic Hydric Melanudand (Andisol), Plinthic Paleudult (Ultisol-San Isidro) y un Oxyaquic Argiudoll (Molisol). De la combinación de las cuatro especies y de los cuatro suelos, se hicieron 16 tratamientos en un diseño en bloques al azar en factorial 4x4, con ocho repeticiones. Fueron utilizadas macetas de 2 dm³. A los 60 días de la germinación, las plantas fueron cortadas y secadas, considerando solo su parte aérea. Luego, esta materia seca fue incorporada a cada uno de los suelos y después de 60 días de incubación, se sembró maíz, utilizando diez plantas por maceta, las cuales fueron cosechadas a los 45 días después de la germinación, para la determinación de la materia seca producida. Se realizó análisis de los suelos y análisis foliar de las especies de abono verde y del maíz. Todos los suelos del experimento presentaron una saturación por bases superior al 70% e una retención de P superior al 50%. Entre las especies, la *Tithonia* se muestra como la especie que produce mayor cantidad de biomasa. Cuanto al nivel de N en la materia seca, *Tephrosia* se mostró superior en todos los suelos, lo que reafirma la buena calidad de su residuo para el uso como abono verde. El maíz produce mayor cantidad de materia seca en el Ultisol-Grecia, cuando recibió los residuos de *Canavalia*, *Cajanus* y *Tephrosia*. Las especies usadas como abono verde no presentaron efecto estadísticamente significativo en las fracciones de P al final del experimento. En el grupo de suelos usados, la adición de abonos verdes in situ, afecta favorablemente la productividad del maíz. *Tephrosia* y *Canavalia* se mostraron más promisorias, principalmente para el reciclaje de N, P y Ca. Para el K, *Tithonia* se mostró más promisorio. Para mejorar la disponibilidad del P en estos suelos se detectó que el cultivo de *Tephrosia* resulta ser el más idóneo a corto plazo. Se debe dar preferencia a la combinación de abonos verdes con alta calidad de residuos con gran producción de materia seca, alcanzada por medio del aumento de la densidad de las especies en el campo.

El segundo estudio fue conducido en el asentamiento Río Guayabo, Turrialba, CR, se validó la efectividad de dos leguminosas en asocio con maíz. Las especies usadas fueron guandul (*Cajanus cajan*) y canavalia (*Canavalia ensiformis*), se realizaron observaciones de campo y un cuestionario para evaluar la apreciación de los productores sobre esta técnica de asocio. Fue utilizado un diseño de bloques completos al azar, con siete fincas como las repeticiones. Los tratamientos fueron: 1) Maíz + Guandul (porte alto), 2) Maíz +

Guandul (porte bajo), 3) Maíz + Canavalia, 4) Maíz (testigo). Como primera preferencia, el maíz + guandul de porte alto fue el escogido, con la canavalia como segunda preferencia. El maíz + guandul porte bajo fue el de menor preferencia. El número de mazorcas en los tratamientos no presentó diferencia significativa entre las fincas en estudio. Los productores se mostraron muy receptivos a la técnica de cultivo presentada. Todos sembrarían nuevamente sus cultivos asociados con leguminosas, aún con cambios en las parcelas de los tratamientos. Para los productores, este tipo de trabajo fue una buena experiencia para el manejo de malezas.

En el tercer estudio se evaluó la fago y ovidisuasión causadas por extractos vegetales de *Canavalia ensiformis*, *Tephrosia vogelii* y *Tithonia diversifolia* sobre adultos de *Bemisia tabaci*, en condiciones de invernadero. Se hicieron dos tipos de experimentos, uno de escogencia restringida y otro de escogencia irrestricta. En el de escogencia restringida, cada extracto se evaluó en cuatro dosis (0,1, 0,5, 1,0 y 1,5% v/v), y se comparó con un tratamiento testigo (aceite mineral Volck 100 Neutral). Se asperjaron plantas de tomate, colocadas dentro de jaulas de manga, donde se liberaron 50 adultos de *B. tabaci* 30 min después. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, y cada experimento se hizo dos veces. Para determinar si existía fagodisuasión, se utilizó el número de adultos y huevos de *B. tabaci* a las 48 h y para la mortalidad se contó el número total de adultos vivos en ese intervalo. Todos los extractos causaron fago y/o ovidisuasión a las dos dosis más altas (1,0 y 1,5%). En el experimento de escogencia irrestricta, se utilizaron ambas dosis de cada extracto, y se compararon con dos testigos (agua y Volck), mediante un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Se registró el número de adultos posados en las hojas asperjadas, a 1, 2, 8 y 15 días después de la aplicación del extracto, así como el número de ninfas a los 15 días. Ninguno de los extractos causó fago u ovidisuasión, a diferencia del Volck, lo cual posiblemente se debió a la volatilización de los principios disuasivos en el invernadero.

AGUIAR, ACF. 2000. Effects of species used as green manure in the enrichment of the fertility of the soil and in the management of pest. Tesis Mag. Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 93 p.

Key words: nutrient recycling, P fractionation, volcanic soils participatory research, maize, *Bemisia tabaci*, white fly, phagodeterrence, oviposition deterrence, plant extracts.

SUMMARY

A study was made under conditions of greenhouse to determine the contribution of the incorporation of the residues of the *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* and *Tephrosia vogelii* in the increase of the availability of nutrients, as well as to quantify the changes caused by these species in the fractions of P. Four soils of Costa Rica were used, a Andic Palehumult (Ultisol-Grecia), Acrudoxic Hydric Melanudand (Andisol), Plinthic Paleudult (Ultisol-San Isidro) and a Oxyaquic Argiudoll (Mollisol). Of the combination of the four species and four soils, 16 treatments were made in a complete design with randomized blocks in a factorial 4x4, with eight repetitions. Pots of 2 dm³ were used. Sixty days after germination, the above ground parts of the plants were cut and dried. The dry matter was incorporated to each one of soils and after 60 days of incubation, maize was sown, using ten plants per pot, which were harvested after 45 days after germination, to determine the dry matter produced. Soils, green manure and maize were analyzed for N, P, K, Ca and Mg. All the soils of the experiment presented base saturation over 70% and retention of P higher than 50%. Among species, *Tithonia* was the species that produced the greatest amount of biomass, even correcting for the biomass of the stakes. *Tephrosia* was superior in all soils, which reaffirms the good quality of its residues for the use as green manure. The maize produced the greatest amount of dry matter in Ultisol-Grecia, when it received the residues of *Canavalia*, *Cajanus* and *Tephrosia*. The species used as green manure did not present statistical significant effect in P fractions at the end of the experiment. In the soils used, the addition of green manure *in situ*, favorably enhance at the productivity of maize. *Tephrosia* and *Canavalia* were most promising, mainly for their ability recycle of N, P and Ca. For K, *Tithonia* was the most promising species. To improve the availability of P in these soils, *Tephrosia* in the short term would appear to be most suitable. A proper chance of green manure or perhaps a mixture of species was indicated to be most promissory for increasing.

The second study was in Rio Guayabo Settlement, Turrialba, CR. The validation of the effectiveness of two legumes associated with maize was evaluated for pigeon pea (*Cajanus cajan*) and jack bean (*Canavalia ensiformis*). Observations and a questionnaire were used to evaluate the appreciation of the producers of the association. A complete design in randomized blocks was used, with seven farms as repetitions. The treatments were: 1) Maize + pigeon pea (tall plant type), 2) Maize + pigeon pea (short plant type), 3) Maize + jack bean, 4) Maize (control). The first preference, maize + pigeon pea (tall plant type) was selected; jack bean was the second preference. Maize + pigeon pea (short plant type) was the one with the least preference. The number of maize in the treatments did not present significant difference among the farms in the study. The producers were very receptive to the innovation of association of maize with pigeon pea and jack bean. All the producers

would like to sow maize associated with legumes. The producers, also thought the association would help control weeds.

In the third study, the evaluation of phagodeterrent effect and oviposition deterrent action caused by plant extracts of *Canavalia ensiformis*, *Tephrosia vogelii* and *Tithonia diversifolia* on adults of *Bemisia tabaci* were investigated under greenhouse conditions, using two types of experiments, one with restricted choice and the another with unrestricted choice. For restricted choice experiment, each extract was evaluated at four doses (0.1, 0.5, 1.0 and 1.5% v/v), and compared with a control treatment (mineral oil Neutral Volck 100). Tomato plants were sprayed, placed within mesh cages, with 50 adults of *B. tabaci* released 30 minutes later. A complete randomized block design was used, with four repetitions, and replications in time. In order to determine if phagodeterrent effect existed, the number of adults and eggs of *B. tabaci* was counted after 48 h. For mortality the total number of alive adults was counted in that interval. All the extracts caused phagodeterrent effect and/or oviposition deterrent action to the two higher doses (1.0 and 1.5%). For the unrestricted choice experiment, both doses of each extract were used, and they were compared with two control treatments (water and Volck), in a complete randomized block design, with four repetitions. The number of adults found in the sprayed leaves after 1, 2, 8 and 15 days of extract application was recounted, as well as the number of nymphs after 15 days. None of the extracts caused phago or oviposition deterrent action, unlike the Volck, probably, because of the volatilization of the deterrent components under greenhouse conditions.

CONTENIDO

	p.
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
CAPÍTULO 1.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 HIPÓTESIS.....	3
1.4 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
1.4.1 Ciclaje de nutrientes.....	4
1.4.2 Especies arbóreas en el ciclaje de nutrientes.....	6
1.4.3 Contribución de los residuos de plantas para los cultivos.....	8
1.4.4 Dinámica del reciclaje de fósforo en los suelos y sus fracciones.....	10
1.4.5 Determinación y fraccionamiento del fósforo.....	13
1.4.6 La extracción del fósforo en el suelo por las plantas.....	15
1.4.7 Liberación de nutrientes por las especies usadas como abonos verdes.....	17
1.4.8 Uso de las leguminosas en asocio con los cultivos.....	19
1.4.8.1 <i>Cajanus cajan</i>	19
1.4.8.2 <i>Canavalia ensiformis</i>	21
1.4.9 Mosca Blanca.....	22
1.5 LITERATURA CITADA.....	24
CAPÍTULO 2.....	30
Artículo 1: EFECTO DE ESPECIES USADAS COMO ABONOS VERDES EN EL ENRIQUECIMIENTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN CONDICIONES DE INVERNADERO.....	30
INTRODUCCIÓN.....	31
MATERIAL Y MÉTODOS.....	32
Descripción del área de estudio.....	32
Especies y suelos utilizados.....	32

Procedimiento del experimento.....	32
Diseño experimental y análisis de los datos.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
Disponibilidad inicial de los nutrientes en los suelos.....	35
Fraccionamiento del P.....	36
Biomasa producida por las especies usadas como abono verde.....	37
Extracción de nutrientes por las especies usadas como abono verde.....	38
Contenido de nitrógeno y fósforo en la biomasa producida.....	39
Contenido de potasio, calcio y magnesio en la biomasa producida.....	40
Producción de biomasa y niveles de nutrientes en el maíz.....	43
Efecto de los tratamientos sobre la disponibilidad de nutrientes en los suelos estudiados.....	47
Efecto de los tratamientos en las fracciones del P.....	49
CONCLUSIONES.....	50
LITERATURA CITADA.....	51
CAPITULO 3.....	53
ARTICULO 2: EVALUACIÓN PARTICIPATIVA DEL USO DE LEGUMINOSAS COMO COBERTURA EN EL CULTIVO DE MAÍZ.....	53
INTRODUCCIÓN.....	53
MATERIALES Y MÉTODOS.....	55
Descripción del área de estudio.....	55
Procedimiento y diseño experimental.....	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
LITERATURA CITADA.....	61
CAPÍTULO 4.....	62
ARTÍCULO 3: FAGODISUASION Y OVIDISUASIÓN CAUSADAS POR TRES EXTRACTOS VEGETALES SOBRE LOS ADULTOS DE <i>Bemisia tabaci</i>	62
INTRODUCCIÓN.....	62
MATERIALES Y METODOS.....	62
Localización.....	62

Sustancias evaluadas.....	63
Tratamientos y diseño experimental.....	63
Plantas y aspersión.....	64
Manipulación de los insectos.....	64
VARIABLES DE RESPUESTA Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	65
Análisis.....	65
RESULTADOS.....	66
Escogencia restringida.....	66
Escogencia irrestricta.....	68
DISCUSION.....	70
LITERATURA CITADA.....	77
CAPÍTULO 5.....	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	83
Anexo 1.....	84
Anexo 2.....	85
Anexo 3.....	86
Anexo 4.....	87
Anexo 5.....	88
Anexo 6.....	89
Anexo 7.....	90
Anexo 8.....	91
Anexo 9.....	92
Anexo 10.....	93

LISTA DE CUADROS

Capítulo 2

Cuadros	p.
1 Niveles iniciales de nutrientes y algunas características químicas de los suelos estudiados.....	36
2 Fracciones de fósforo (P) y fósforo total promedio por suelo al inicio del estudio.....	37
3 Contenido de nutrientes (%) en las especies usadas como abono verde en los tratamientos.....	42
4 Cantidad de nutrientes (g) adicionada por las especies usadas como abono verde en los tratamientos.....	43
5 Contenido de nutrientes en la materia seca del maíz (%), después de la aplicación de la biomasa de las especies usadas como abono verde.....	45
6 Cantidad de nutrientes (g) en la materia seca del maíz, después de la aplicación de biomasa de las especies usadas como abono verde.....	46
7 Análisis química de los suelos después de la cosecha del maíz.....	48
8 Resultados del fraccionamiento del P, al final del experimento.....	50

Capítulo 4

1 Número promedio ($X \pm D.E.$) de adultos de <i>B. tabaci</i> posados a los 1, 2, 8 y 15 días después de la aplicación de extractos vegetales, así como el número de ninfas a los 15 días, en el experimento de escogencia irrestricta.....	70
---	----

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figuras	p.
1 Materia seca producida (g) por las especies usadas como abono verde (60 días después de la siembra).....	38
2 Contenido de fósforo (%) en la materia seca de las especies usadas como abono verde a distintos niveles de P resina en los suelos bajo estudio, después de 60 días de la siembra.....	40
3 Contenido de potasio (%) en la materia seca a distintas relaciones Ca + Mg/K, bajo los suelos en estudio.....	41
4 Producción de materia seca (MS) por el maíz.....	44

Capítulo 3

1 Aceptación expresada por los productores sobre las leguminosas asociadas al maíz (Primera preferencia).....	57
2 Aceptación expresada por los productores sobre las leguminosas asociadas al maíz (Segunda preferencia).....	57
3 Aceptación expresada por los productores de las leguminosas asociadas al maíz (Menor preferencia).....	58
4 Número de mazorcas por m ² en cada finca.....	59

CAPITULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Los mayores desafíos de la agricultura de los países en desarrollo consisten en la reducción de la pobreza y de las prácticas agrícolas insostenibles. La superación del primer desafío exige cada vez más la confirmación de la viabilidad de procesos tecnológicos que puedan ser adoptados por los agricultores más pobres. El segundo sería superado luego de que sean sustituidas, con éxito, las prácticas que dañan la naturaleza por los reiterados usos de productos y equipos inadecuados para los ambientes tropicales o subtropicales.

Entre las prácticas fundamentales para la promoción de una agricultura sostenible, el mantenimiento y/o enriquecimiento de la fertilidad del suelo y el control alternativo de plagas, sin la utilización de agroquímicos, son los más importantes, debido a que disminuyen los costos de producción y son más tolerables del punto de vista ambiental.

En los procesos de dinamizar el reciclaje de nutrientes, los efectos benéficos del asocio de especies de valor económico con leguminosas incluyen: aportes de nitrógeno por fijación directa, recuperación del fósforo recalitrante, aprovechamiento de la radiación solar por el cultivo principal para la producción de biomasa verde, reducción de la erosión al mantener una mayor cobertura del suelo, reducción en la incidencia de malezas, conservación y mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de los suelos (Gómez y Arana, 1994).

Asimismo, en la búsqueda de una agricultura sostenible y de la inclusión social de las mayorías, el manejo de la fertilidad del suelo y el manejo integrado de plagas como la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), que atacan gran número de cultivos y hortalizas, deberán ser abordados fuera de la práctica tradicional de aplicación indiscriminada de fertilizantes e insecticidas convencionales.

Para poder diagnosticar con aceptable exactitud el estado de fertilidad de un suelo y para cubrir las necesidades de una especie o variedad de planta, a fin de que puedan manifestar todo su potencial genético de producción, se requiere llevar a cabo un estudio lo

suficientemente cuidadoso tanto en laboratorio como en invernadero. Siendo los resultados obtenidos en el invernadero, una guía en la planificación de experimentos de campo, que servirán a su vez para hacer interpretaciones económicas (Días-Romeu y Hunter, 1978).

Entre los nutrientes más importantes para la fertilidad del suelo, el fósforo ha recibido últimamente gran parte de la atención de los investigadores, debido la complejidad de las relaciones que se establecen entre sus varias formas y los componentes del suelo. Para aumentar la disponibilidad de P en el suelo, el encalado y la aplicación del fosfato son las formas tradicionales utilizadas. Sin embargo, estas prácticas exigen recursos no siempre disponibles para la mayoría de los productores.

Alternativas más recientes, como la promoción y manejo de hongos micorríticos, para aumentar la absorción del P por las plantas, pues se han comprobado que alteran las cantidades de P disponibles totales, desde que interfieren en el balance de las formas de P solubilizadas y/o ligadas con el suelo, que es la causa principal de su baja disponibilidad en la mayoría de los suelos en las regiones tropicales y subtropicales.

Considerando que la mayoría del P aplicado a los suelos es adsorbido por la fase sólida, y que solamente de 10 a 20% estará disponible para las plantas (Otani y Ae, 1996), muchos esfuerzos deben ser realizados para aumentar las fracciones del P disponible, a partir de las reservas de P menos disponibles, generalmente existentes en los suelos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

➤ Desarrollar tecnologías para aumentar la fertilidad de los suelos y disminuir la incidencia de la mosca blanca, que sean atractivas para los agricultores.

1.2.2 Objetivos específicos

a) Determinar la contribución de la incorporación de los residuos de las especies *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* y *Tephrosia vogelii* en el aumento de la disponibilidad de nutrientes en sus formas asimilables.

- b) Cuantificar el tipo y la magnitud de los cambios causados por estas especies en las fracciones de P extraíbles por resina y formas de P, ligadas al hierro, aluminio, calcio, así como las del fósforo orgánico.
- c) Comparar la capacidad de las cuatro especies en absorber y/o transformar el fósforo ligado en formas no disponibles en formas como P orgánico y P inorgánico disponibles.
- d) Efectuar una evaluación participativa con los productores para conocer su apreciación sobre las parcelas maíz en asocio con *Cajanus* y con la *Canavalia*.
- e) Evaluar la fagodisuasión y/o ovidisuasión de extractos vegetales de *Canavalia*, *Tephrosia* y *Tithonia* sobre *B. tabaci*, en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

1.3 Hipótesis

- a) En los suelos de Costa Rica, el cultivo y la incorporación de los residuos vegetales de *Cajanus*, *Tithonia*, *Canavalia* y *Tephrosia* aumentan la fertilidad del suelo principalmente por la adicción de N disponible y por la transformación de fracciones de P no disponible en P disponible.
- b) El cultivo de *Cajanus* y posiblemente con otras especies tropicales altera, en suelos con P ligado a formas de calcio y/o hierro y aluminio, las fracciones de P y pueden transformarlas en fracciones orgánicas disponibles.
- c) El uso de especies tropicales previo al establecimiento del cultivo de maíz, aumenta la dinámica del reciclaje de nutrientes y favorece la promoción de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

d) El asocio de *Cajanus* y *Canavalia* en cultivos de maíz tiene buena aceptación entre los productores, debido a un balance favorable de efectos benéficos detectado por los agricultores.

e) Los extractos vegetales de *Canavalia*, *Tithonia* y *Tephrosia* tienen acción fagodisuasiva u ovidisuasiva contra *B. tabaci*, impidiendo la infección temprana de las plantas de tomate, cuando son más susceptibles a los geminivirus.

1.4 Revisión de Literatura

1.4.1 Ciclaje de nutrientes

El aumento de los conocimientos sobre los aspectos ambientales de la calidad del suelo y la producción de cultivos en los años recientes, modificó la idea sobre el reciclaje y de los residuos vegetales. Muchos desechos orgánicos que antes eran eliminados por la quema, son ahora considerados importantes como medios idóneos para fines agrícolas y no agrícolas.

Sin embargo, la práctica formal de corregir las deficiencias de nutrientes simplemente por la adición de fertilizantes va perdiendo espacio ante el método de la producción de cultivos orgánicos. Un manejo de la fertilidad con bajas y moderadas cantidades de fertilizantes para maximizar la eficiencia, en combinación con métodos biológicos de manejo del suelo, debe ocupar lugar preponderante, para acelerar el proceso de reciclaje de nutrientes (Young, 1997).

La cantidad de elementos esenciales en el suelo, que pueden tornarse disponible para las plantas en una escala de tiempo de 10 años fue denominado por Sánchez *et al.* (1997), como "Capital Nutricional". La continua transferencia de estos elementos dentro y entre diferentes componentes del suelo de un ecosistema constituye el ciclaje de nutrientes que incluye procesos diversos como la absorción, descomposición y mineralización.

A la Agroforestería se le atribuye la capacidad de promover un ciclaje de nutrientes más eficiente que el que ocurre cuando se realiza la agricultura convencional. Este supuesto es basado en una mayor eficiencia de las raíces del componente leñoso en el ciclaje de

nutrientes en ecosistemas forestales naturales y en los sistemas agroforestales, cuando mediante su manejo se logra dinamizar la transferencia de nutrientes hacia los cultivos asociados. Sin duda, los árboles pueden tener un efecto en la fertilidad del suelo, pero se debe considerar también la relativa importancia de los efectos sobre otros factores como la estructura y materia orgánica del suelo, la competencia por luz, agua y nutrientes, los cuales deben también ser bien manejados antes del posible efecto positivo en la fertilidad del suelo en un sistema particular (Sánchez y Palm, 1996).

A pesar de que el estudio del ciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales tropicales presenta limitadas metodologías de investigación apropiadas para la comprobación de sus efectos, hay fuertes indicaciones de que la Agroforestería es operacional y que contribuye al aumento de la fertilidad del suelo y de la productividad. En los árboles se identifican como importantes para el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la fijación de N, la producción y descomposición de biomasa, y la absorción de nutrientes de horizontes más profundos (Nair *et al.*, 1999).

En el reciclaje de nutrientes de las plantas puede ocurrir una ruta corta, vía mineralización de los residuos de plantas, y una ruta a largo plazo, vía la humificación y el almacenamiento como materia orgánica del suelo.

En el trópico, la mineralización de los residuos ocurre durante el tiempo del crecimiento y desarrollo de un cultivo anual, o sea, en un tiempo de unos tres meses. En cambio, en la humificación, los nutrientes fijados en compuestos orgánicos son liberados gradualmente, al cabo de 10 años en los trópicos y en más de 50 años para la zona templada.

Las tasas de la descomposición y de la liberación de nutrientes de los materiales orgánicos son determinadas por los tipos de constituyentes orgánicos, por sus contenidos de nutrientes, por los organismos descomponedores presentes y por las condiciones ambientales (Palm y Rowland, 1997).

1.4.2 Especies arbóreas en el ciclaje de nutrientes

Las especies de plantas, así como genotipos dentro de las especies pueden diferir grandemente en la eficiencia en absorber P en condiciones de bajas cantidades de P. Sin embargo, la habilidad de las plantas en extraer P debe ser parte de un grupo de características deseables debido a que la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tiene como desafío primario, el aumento y el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Esto debe darse para todos los nutrientes esenciales, ya sea por vía procesos de las transferencias internas, del ingreso y la reducción de las pérdidas del ecosistema.

La eficiencia del sistema de ciclaje está ligada a la posibilidad de facilitar la tasa de reversión o la transferencia de nutrientes (Nair *et al.*, 1998). Sin embargo, para explotar las ventajas del ciclaje, es esencial una mayor comprensión del papel que ejercen los principales grupos de árboles mediadores de los procesos de ciclaje en los sistemas agroforestales. Estos grupos de árboles se categoriza por su función principal, tal como:

- (1) Aumento del ingreso de N a través de la fijación biológica de N₂;
- (2) Aumento de la disponibilidad de nutrientes resultantes de la descomposición de cantidades substanciales de biomasa de leñosas;
- (3) Mayor absorción y utilización de nutrientes de las capas más profundas del suelo.

Myers *et al.*, (1997) señalan que la profundidad de las raíces es más importante para los nutrientes móviles, mientras la intensidad de explotación y las micorrizas son particularmente importantes con los nutrientes inmóviles. La profundidad de las raíces es determinante cuando los nutrientes móviles están en riesgo de pérdida por lixiviación, o cuando los nutrientes están naturalmente presentes en subsuelos en concentraciones significantes.

Para el P no existe ningún proceso de fijación biológica, comparable con del N. También el retorno de P de los horizontes subsuperficiales del perfil por las perennes es típicamente insignificante, particularmente en suelos de bajo nivel de bases (Buresh, 1999). En este caso, las especies que tienen una descomposición rápida de su biomasa, deben ser

enfáticas, pues contribuyen al aumento de la disponibilidad de nutrientes, pero la extensión y los beneficios derivados dependerá de la cantidad y contenido de los nutrientes de la biomasa adicionada (Nair *et al.*, 1998).

Las cantidades de P en los residuos vegetales afectan fuertemente su mineralización y disponibilidad; donde cantidades muy pequeñas ($< 2.0 \text{ g kg}^{-1}$ de P) pueden resultar en una reducción por medio de la inmovilidad microbiana (Nzighuheba *et al.*, 2000).

Itoh (1997) comparó especies como garbanzo (*Cicer arietinum* L.), guandul y maíz en cuanto a la cinética de absorción y concluyó que los parámetros cinéticos evaluados no explicaron la mayor eficiencia del garbanzo para absorber el P, cuando se desarrolla en baja concentración en el suelo. Pero el autor no presentó resultados concluyentes que podrían ser responsables por la eficiencia de la especie, como son el desarrollo de pelos radiculares, las infecciones micorrízicas y la solubilización del P.

Muy importante fueron los resultados de Ae *et al.* (1990), que estudiaron los mecanismos que determinan la mayor eficiencia del guandul para la absorción de P, en comparación con otras especies, en dos suelos con fracciones de P ligadas al Ca (Vertisol) y al Fe y Al (Alfisol), donde esta especie presentó absorción hasta siete veces mayor que los otros cultivos. Los exudados colectados de las raíces del guandul demostraron que el ácido psídico fue el responsable por la gran capacidad de esta especie para solubilizar los complejos P-Fe.

Entre los cultivos estudiados por Otani y Ae (1996) para identificar la eficiencia en la absorción de P y la tolerancia al Al, se destacaron el guandul, el arroz y el maní. Este último, es el más eficiente en suelos encalados y el arroz en suelos con predominio de Al. Con base en estos resultados, los autores sugieren que estos cultivos tienen alta capacidad para absorber el Pi en las formas normalmente indisponibles, como P-Al y P-Fe.

La distinción entre las causas básicas de la mayor eficiencia de la absorción de P tiene importancia vital para el entendimiento del papel de esas especies para el ciclaje de

nutrientes. En ese sentido, el trabajo de Otani *et al.* (1996) demostró que las características cinéticas de la absorción no explicaron la más alta habilidad del guandul en absorber formas de P insolubles, en relación a otras especies. El mismo trabajo indicó que el ácido malónico fue el mayor componente de los exudados de las raíces del guandul, esto también produjo mayores cantidades del ácido oxálico y psídico. Para la liberación de P ligado al Fe y Al quedó evidenciado que el ácido oxálico es el más eficiente, el malónico es más eficiente para el P-Al que para el P-Fe. El ácido psídico es menos eficiente para el P-Al y su eficiencia, para el P-Fe, puede ser comparada al del malónico.

En una investigación sobre las cantidades de P en los residuos vegetales de seis especies y sus efectos sobre la productividad del maíz, evaluados por Nziguheba *et al.*, (2000), los resultados mostraron que la *Tithonia* sobresalió entre las otras cinco especies, *Calliandra calothyrsus*, *Senna spectabilis*, *Croton megalocarpus*, *Lantana camara* y *Sesbania seban*, con relación a las dosis de P adicionadas y tuvo un efecto positivo sobre la productividad del maíz. Se mostró que las cantidades de P-resina correlacionaron no solamente con las cantidades de P en el residuo, pero también con su relación C:P.

1.4.3 Contribución de los residuos de plantas para los cultivos

En la búsqueda de una mayor eficiencia para los sistemas agroforestales, los investigadores han promovido el uso de una gama de árboles y arbustos con diferentes características deseables, entre ellos el concepto de "calidad" de los residuos de planta se refiere a sus relativos contenidos de nutrientes, especialmente un alto contenido de N, bajo valor en la relación C/N y bajos niveles de lignina y polifenoles. El contenido de azúcares, celulosa y hemicelulosa pueden también ser considerados (Young, 1997).

La tasa de liberación de N y la calidad de los residuos difieren grandemente, donde se citan desde aquellos residuos con un 100% de mineralización a otros con una tasa de inmovilización bien alta. En general, solamente 10 a 20% del N liberado es absorbido por el primer cultivo y una larga porción pasa a formar parte en la materia orgánica del suelo, indicando que el beneficio del N por la adición de los residuos de planta ocurre a largo plazo.

Los efectos de los nutrientes aportados por residuos vegetales con diferentes calidades en las fracciones orgánicas del suelo y en su capacidad de suplemento de N no son conocidos completamente, habiendo la necesidad de más investigaciones (Palm, 1995).

Palm y Sánchez (1990) reportan que la descomposición y la liberación de N de hojas de leguminosas son influenciadas por la concentración de polifenoles de las hojas. Con bajo contenido de polifenoles se libera el N más rápidamente que en aquellas con alto contenido de polifenoles. Se piensa que esto ocurre debido a que los polifenoles forman complejos resistentes con el N que retardan su descomposición, o porque se inhibe la actuación de enzimas promotoras de la descomposición. En cambio, en las legumbres con bajo contenido de polifenoles, se promueve una rápida y abundante mineralización del N, por lo tanto, en general se consideran como una buena alternativa para el asocio con cultivos anuales que requieren grandes cantidades de N en cortos periodos de tiempo.

El rol que juega la lignina, como inhibidora de los procesos de la descomposición, es reconocido por muchos autores, que la consideran una sustancia recalcitrante, altamente resistente a la descomposición microbiológica y son pocos los microorganismos que pueden degradarla (Kumar y Goh, 2000).

Palm y Rowland (1997) consideraron el N total, la relación C/N y la relación lignina/N como variables indicadoras de las tasas de descomposición, por lo tanto, el N es incluido en los parámetros para caracterizar la calidad de los residuos vegetales.

El N es considerado importante para la descomposición debido a que es un nutriente esencial para el fomento de los microorganismos descomponedores del suelo, pero frecuentemente limitante para su desarrollo. La concentración de N en la biomasa vegetal menores de 1.7% a 2.0% son generalmente asociados con altas tasas de inmovilización. En cambio, el rol del fósforo en el control de la descomposición todavía no está claramente definido como para el nitrógeno.

En el cultivo en callejones, generalmente menos del 20% del N, (aproximadamente 40 kg de N ha⁻¹ o menos), que proviene de las podas de los árboles, terminan en el cultivo que sigue inmediatamente (Kang *et al.*, 1990). Sin duda, se detectaría una gran eficiencia en la recuperación de nutrientes de fuentes orgánicas en estos sistemas, si se considerarán los efectos residuales de la biomasa adicionada (Szott y Kass, 1994).

En ambientes tropicales subhúmedos, el mayor beneficio del cultivo en callejones usando *Cajanus* y *Leucaena* fue derivado de la fijación de N₂. Aún esto pueda ser alcanzado con otras legumbres usadas como abono verde, las cuales parecen ser más ventajosas en los siguientes aspectos:

- i) No hay necesidad de jornales extras para realizar podas regulares;
- ii) No hay sacrificio de aproximadamente un 20% del área de suelo;
- iii) La liberación de N es equivalente a la alcanzada en intercultivos debido a la distribución homogénea de las plantas a través del área;
- iv) Los productores están más familiarizados con este sistema que con el cultivo en callejones (Akondé *et al.*, 1996).

La *Tithonia*, aplicada sola o en combinación con superfosfato simple, aumentó el P del suelo en las fracciones lábiles y moderadamente lábiles durante un período de estudio de 16 semanas. Este aumento fue debido a la liberación de P del material vegetal, pero también a la reducción en la capacidad de adsorción del P (fijación). La adsorción del P por el suelo fue probablemente más reducida, debido a la competencia de aniones orgánicos por sitios de adsorción. Los aniones orgánicos se forman durante la descomposición del material vegetal de alta calidad (Nziguheba *et al.*, 1998).

1.4.4 Dinámica del reciclaje de fósforo en los suelos y sus fracciones

La dinámica del P en el suelo es compleja y en este campo es importante considerar el comportamiento en el tiempo de las fracciones de P orgánicas y inorgánicas. Las dificultades en estudiar la dinámica del P han sido principalmente metodológicas; las pruebas utilizadas actualmente para predecir la absorción del P por las plantas ignoran los

aportes de las formas orgánicas e inorgánicas menos disponibles y han sido insatisfactorias, particularmente para sistemas de producción de bajos ingresos (Beck y Sánchez, 1994).

El ciclo del P puede ser caracterizado como el flujo del P entre las plantas, los animales, los microorganismos y las fases sólidas del suelo. Los procesos mayores de este ciclo incluyen el P absorbido por las plantas, su regreso mediado biológicamente por reacciones de mineralización/inmovilización y de las reacciones de fijación/disolución químicas entre las fases líquidas y las sólidas (Iyamurenje y Dick, 1996).

Las cantidades totales del P en los suelos varían de poco más de cero, en los suelos arenosos, hasta valores de 2000 a 3000 $\mu\text{g g}^{-1}$ de P o más (0.2 a 0.3% de P), siendo el factor condicionante principal es el material de origen del suelo (Raij, 1991). Pero los minerales primarios como fuentes de P disminuyen en el suelo con el aumento de la meteorización y son relativamente poco importantes en los suelos altamente meteorizados (Buresh *et al.* 1997).

En la solución del suelo, el P se encuentra en la forma de iones ortofosfatos (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} y PO_4^{3-}), derivados del ácido ortofosfórico (H_3PO_4) (Van Raij, 1991). El P en estas formas puede ser absorbido por las plantas, por la biota del suelo y en estos casos será convertido en fósforo orgánico.

El P que no sigue la vía orgánica, se combina como ortofosfato con los minerales del suelo, a través de la adsorción o reacciones de precipitación, principalmente con los metales hierro, aluminio y calcio. La proporción relativa de cada una de estas combinaciones es condicionada por el tipo y cantidades de minerales de la fracción arcilla. En suelos ácidos, con predominio de caolinita y óxidos de hierro y aluminio, son más importantes las combinaciones de P con Fe y Al, mientras que en suelos neutros o calcáreos aparecen más fosfatos de calcio de baja solubilidad (Van Raij, 1991).

Durante la meteorización química de los suelos, los minerales secundarios son revestidos por óxidos de Fe y/o por formas de minerales hidróxidos. Los mecanismos incluyen

precipitación y deposición de minerales de Fe en los coloides de arcilla. Los suelos ricos en óxidos de Fe, como los ultisoles, son reconocidos por su baja disponibilidad de P.

Los mecanismos relacionados a la reducción de la disponibilidad de P incluyen la adsorción de H_2PO_4^- en la superficie del mineral de óxido de Fe y reacciones de precipitación de H_2PO_4^- con formas de Fe iónico en solución. La adsorción del ortofosfato puede ocurrir como la ligación covalente mono o binuclear de átomos de O_2 para minerales de Fe (Easterwood y Sartain, 1990). También es reportado que los ácidos orgánicos de la descomposición de trébol (*Trifolium repens* L.) se adhieren a la superficie de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y son capaces de reaccionar como compuestos con cationes.

Cuando se enfatiza la productividad de los cultivos, el P frecuentemente es dividido en diversas fuentes de reservas, basados en su potencial para proveer ortofosfato inorgánico para la absorción de las plantas. Estas fuentes de reservas son frecuentemente mencionadas como P solución, P lábil (disponible) y P no lábil (no disponible). El P lábil es definido como la reserva de P que puede restituir el P absorbido por las raíces de la solución de suelo. Inversamente el P no lábil tiene un efecto mínimo o inexistente sobre el ortofosfato de la solución del suelo, considerando una base anual. Ambos el P lábil y no lábil, contienen constituyentes orgánicos e inorgánicos (Iyamuremye y Dick, 1996).

Adepetu y Corey (1976), evidenciaron que el P_o constituye la mayor parte del P total del estrato arable de los suelos de las regiones tropicales y templadas. Los autores concluyeron también, que el P mineralizable, es el factor más importante en la determinación de la disponibilidad de P y puede ser estimado por la determinación del P_o de fuentes orgánicas. Entre las varias fracciones de P estudiadas por Beck y Sánchez (1994), en un Ultisol de la Amazonia, se detectó que las variaciones de P capturado por resina, en parcelas no fertilizadas, fueron debidas a la reserva del P_o y el P residual funcionó como "depósito" para P_o y P_i .

En suelos fertilizados y no fertilizados, el nivel de P disponible puede ser rápidamente restablecido por el P orgánico y por el P de los fertilizantes, ya sea como una función de la

actividad de la enzima fosfatasa de los microorganismos y de la máxima sorción de P, respectivamente. Aunque, la incorporación de residuos de planta en la superficie del suelo cause un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) no siempre puede resultar en un aumento directo del contenido de Po (Sharpley, 1985), pues la acumulación de P orgánico en el suelo es fundamentalmente el resultado de la actividad microbiana.

Dalal (1977) afirma que el Po está disponible para las plantas después de su mineralización dentro del Pi, aunque el Po de la solución del suelo puede ser absorbido directamente por las plantas, o ser desfosforizado por la acción de las enzimas fosfatasas próximas a la raíz.

1.4.5 Determinación y fraccionamiento del P

La mineralización de P y la descomposición de la materia orgánica deben ser examinadas usando escalas temporales y espaciales de medición apropiadas, así como fracciones significativas biológicamente. Los modelos conceptuales corrientes del ciclaje de P enfatizan la importancia de la geoquímica y de las reacciones basadas en la sorción, ocurriendo por encima de escalas pedogénicas de tiempo. Estos modelos frecuentemente usan las fracciones de P definidas arbitrariamente, por la falta de descriptores apropiados para procesos biológicos, y por lo tanto son inadecuados para el análisis de muchos procesos asociados con la perturbación antropogénica. En contraste, modelos basados biológicamente están todavía en estados de desarrollo, como están los métodos asociados con cuantificación de las fracciones de P más significantes (Gressel y McColl, 1997).

Separando el P del suelo dentro de fracciones caracterizadas por métodos de extracción, de manera que se remueven las fracciones más fácilmente extraíbles con reactivos más blandos, es posible identificar las fracciones del P en el suelo, las cuales son alteradas por prácticas agrícolas o experimentos de incubación. De esto, la dirección de la redistribución de P en los suelos puede ser: el Pi moviéndose para formas inmóviles de Pi y Po o la mineralización de formas inmóviles. Hedley *et al.* (1982) reportan que el Po del suelo en sitios ricos en P puede ser aumentado por adiciones de materia orgánica solamente y que más Po del suelo es formado con la adición de fertilizantes.

El P del suelo es suministrado por materiales parentales o por ingresos de fertilizantes. Muchos de los materiales parentales contienen principalmente fosfatos de Ca, los cuales hidrolizan durante el desarrollo del suelo para suplir P en la solución. Este P en solución puede tornarse adsorbido en las superficies del material, precipitar con varios cationes, o ser incorporado dentro de la biomasa y de la materia orgánica del suelo. Durante la meteorización de los suelos, las bases y la sílica son perdidas y los oxi-hidroxidos de Al y Fe son generados, alcanzando la formación de fosfatos secundarios de Al y Fe. En suelos no fertilizados, bajas solubilidades de fosfato natural e ingresos ambientales mínimos dentro del suelo resulta en un balance de P total muy estable durante tales transformaciones. Las abundancias relativas de Pi secundarios, primarios, ligados a Ca y Po pueden, por lo tanto, ser usados para seguir procesos de meteorización en los suelos.

El análisis de los datos de P basado en conceptos del ciclo de P en el suelo presenta claramente que el P disponible, y por lo tanto, el P agrónomicamente importante, en suelos altamente desarrollados es estrechamente relacionado a las fracciones de Po. Esto puede explicar las muchas dificultades encontradas en pruebas de fertilidad de P en suelos tropical y subtropical e indica que el estudio de formas de Po lábil puede contribuir con ventajas en los procedimientos de pruebas de suelo (Tiessen *et al.*, 1984).

Gahoonia y Nielsen (1992) en un estudio de agotamiento de varios fracciones de P orgánico y inorgánico extraíbles secuencialmente con 0.5 M KHCO_3 (pH 8.5), 0.1 M NaOH y P residual extraíble con 6M H_2SO_4 de la rizosfera, se redujo el KHCO_3 -Pi en un 34%. Los agotamientos de fracciones de NaOH-Pi y NaOH-Po fueron mayores con pH constante o aumentado que con una disminución de pH. El P residual fue responsable por un 15 a 18% del agotamiento de P total en 1 mm de profundidad del suelo, esto demostró que el P no móvil puede tornarse móvil si las raíces agotan fuertemente la fuente de reserva de P móvil en la rizosfera. Así, la rizósfera parece ser el sitio clave para la renovación de Po nativo del suelo y Pi no móvil del suelo.

Hedley *et al.*, (1982), desarrollaron un método alternativo de fraccionamiento del P que permite cuantificar, tanto las formas lábiles como moderadamente lábiles y recalitrantes,

del P inorgánico y orgánico. Este método consiste en una extracción secuencial con resinas intercambiadoras de iones, bicarbonato de sodio, NaOH después de zonificar, HCl y una extracción final con $H_2SO_4-H_2O_2$. Se asume que con resinas se extraen las formas de P más disponibles biológicamente y con $NaHCO_3$ pH: 8.5 las formas lábiles del Pi adsorbido débilmente en la superficie de sesquióxidos, compuestos cristalinos de P o carbonatos y parte del P microbial.

Con NaOH se extraen formas moderadamente lábiles de P retenidas más fuertemente en la superficie de minerales de Fe y Al amorfos o poco cristalinos. El Po extraído con NaOH representaría formas orgánicas más estables, pero menos mineralizables que las extraídas con $NaHCO_3$ pH 8.5. El HCl extraería las formas de P ligadas al Ca, del tipo de la apatita, y en suelos muy meteorizados puede extraer parte del P ocluido. El residuo extraído por digestión-oxidación con $H_2SO_4-H_2O_2$ representaría una mezcla de Pi cubierto con sesquióxidos (ocluído), Pi incluido en otros minerales, y Po no extractable (Hedley *et al.*, 1982).

1.4.6 La extracción del fósforo en el suelo por las plantas

La absorción del P por las plantas ocurre después de que un anión es desorbido de la reserva de fosfato lábil y entra en la solución del suelo. La presencia de aniones orgánicos oxalato y malato, comúnmente presentes en la rizosfera y de fosfatos en sitios de adsorción en suelos tropicales, indica una reducción de la adsorción de fosfato por los suelos. La extensión de esta reducción dependerá de la vía por la cual el fosfato o el anión orgánico fueren adicionados en el suelo (Hernández *et al.*, 1986). Los aniones son adsorbidos más rápidamente en la superficie del suelo que los fosfatos, consecuentemente estos aniones, cuando existieren en la rizósfera, pueden aumentar el P del suelo.

Hedley *et al.* (1994) señalan que dos tipos de mecanismos pueden conferir la eficiencia en P: (a) mecanismos internos, que permiten alta productividad por unidad de P en el cultivo, y (b) mecanismos externos, que permiten mayor extracción de P del suelo. Los principales mecanismos externos son:

- Habilidad para desarrollar pelos radiculares largos y finos en las zonas del suelo conteniendo P disponible para la planta y la habilidad de asociación con micorrizas;
- Habilidad para utilizar P_o del suelo a través de la liberación de enzimas fosfatasa;
- Habilidad para solubilizar P_i del suelo a través de cambios de pH o por la liberación de agentes quelatantes.

Grinsted *et al.* (1982) reportan que en plantas de colza (*Brassica napus*) cultivadas bajo alta densidad de raíces (arriba de 450 cm.cm^{-3}) en un suelo deficiente en P con suministro de N exclusivamente por NO_3^- , en un intervalo de 14 a 28 días, el pH de la rizosfera del suelo disminuyó 2.4 unidades, lo cual resultaría en un aumento mínimo de 10 veces en el P liberado en la solución del suelo, comparado con la cantidad desorbida en la misma concentración de P en solución en el pH original de 6.1. La caída grande del pH también podría ser causada por la liberación de H^+ de las raíces para compensar la mayor absorción de cationes que aniones por las plantas, mediante la producción de ácidos orgánicos por los microorganismos de la rizosfera.

En un estudio de sorción de fosfato y subsiguiente ensayo con un cultivo con alto requerimiento de P como la lechuga (*Lactuca sativa* L.) se detectó que:

- 1) Los minerales del suelo controlaron la sorción de P. En Andisoles (materiales amorfos) hubo mayor sorción de P que en Ultisoles (caolinita, óxidos de Al y Fe);
- 2) Los ácidos málico y malato fueron más efectivos para reducir la sorción de P (Hue, 1991).

Hedley *et al.* (1982b) mostraron que la liberación de H^+ de las raíces, durante períodos que la absorción de cationes por las plantas exceden la de los aniones, siendo la causa más probable de la solubilización del P. Los mismos autores reportan que no hay evidencia de hidrólisis neta de P_o , ni que los aniones orgánicos quelatizados producidos por raíces o microorganismos en la rizósfera tiene algún efecto significativo en la liberación de P del suelo.

1.4.7 Liberación de nutrientes por las especies usadas como abonos verdes

En los ecosistemas naturales, la descomposición de los residuos está ajustada con el crecimiento de las plantas, donde el carbono fijado y otros nutrientes son utilizados en el sistema con la máxima eficiencia. Cualquier perturbación de estos sistemas pueden retardar o acelerar los procesos de descomposición y llevar al deterioro de algunos de los componentes del ecosistema. El entendimiento de estos procesos contribuye al manejo eficiente de este importante balance para la conservación de los recursos del suelo.

Los nutrientes que son liberados en la mineralización de los residuos se tornan disponibles para la inmediata absorción para las plantas. Al mismo tiempo, ellos son acarreados en formas móviles en la solución del suelo, pudiendo ser lixiviados por medio del agua de lluvia antes que el cultivo haya alcanzado la fase de mayor demanda de nutrientes. Una sincronía nutricional se basa en la hipótesis de que la liberación de los nutrientes procedentes de la biomasa vegetal aportada puede hacerse coincidente con la demanda de crecimiento de las plantas, reduciendo así pérdidas y aumentando la absorción por las plantas (Myers *et al.*, 1997).

Myers *et al.*, (1997) señalan que la falta de sincronía en la liberación de nutrientes se presenta en dos situaciones: la primera cuando la provisión ocurre muy tardía para la demanda, y la segunda cuando la provisión ocurre antes de la demanda. En ambos casos, los nutrientes disponibles están en exceso para la demanda imperante de la planta y pueden tornarse en un riesgo de pérdida del sistema o convertirse en formas indisponibles.

En los sistemas de producción agrícola con suficiencia de P disponible, se puede presentar problemas de sincronía, si el fertilizante es aplicado en suelos con gran poder de fijación y por donde existen grandes niveles de P total. La no sincronía entonces, se manifiesta como deficiencia.

El N y el P inorgánico en los sistemas agrícolas, donde los residuos de las plantas están concentrados en la superficie del suelo, pueden ser inmovilizados o, en el caso de N de urea, volatizados. De igual manera, las adiciones de los residuos orgánicos con altos contenidos de C pueden dar por resultado inmovilización y la disminución de N y P

inorgánico en la solución del suelo, causando una disponibilidad de nutrientes más baja. Sin embargo, en algunos casos la adición de residuos orgánicos puede dar por resultado la formación de compuestos complejos orgánicos con Al y Fe, causando una mayor disponibilidad de formas inorgánicas de P (Szott y Kass, 1994).

En general, plantas que crecen rápido, presentan contenidos de nutrientes muchas veces más bajos por el efecto de dilución, es decir, que los nutrientes absorbidos son distribuidos en mayor cantidad de materia seca, resultando en concentraciones más bajas. Otro factor que afecta los contenidos de los nutrientes es la interacción entre ellos mismos.

Se utilizan relaciones binarias entre los contenidos de nutrientes en las hojas. Se establece una relación gráfica entre la producción de una planta y la proporción de cualquier pareja de elementos esenciales. La gráfica siempre genera una curva convexa que alcanza un máximo bien definido en el punto de proporción óptima entre los dos nutrientes. Como existe una relación de causa-efecto entre el medio externo (elemento en el suelo) y medio interno (nutriente en la hoja), se admite que las proporciones binarias en las hojas que corresponden con las máximas producciones, constituyen unas "constantes nutritivas" para cada especie, ya que cada equilibrio viene establecido por el genotipo (Bertsch, 1995). De hecho, en función de la materia orgánica y los valores C/N/P-orgánico, muchos de los suelos deficientes en P son también deficientes en N (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Muchas especies, leguminosas o no leguminosas, producen suficiente biomasa y la misma contiene bastante nutrientes, que pueden tornarse disponibles de acuerdo con las necesidades de los cultivos, pero con menos posibilidades para el P, cuyas dinámicas en los suelos son más complejas, porque involucran procesos químicos y biológicos y los efectos a largo plazo de los procesos de sorción y desorción (Young, 1997). Por lo que, según Sánchez *et al.*, (1997), se consideran la deficiencia del P como la principal limitante para la producción de alimentos en extensas áreas de tierras agrícolas subhúmedas y semiáridas del trópico.

Según Hedley *et al.* (1982), la tasa de los procesos de fijación del P puede ser reducida por algunos materiales orgánicos, los cuales reaccionan con los sitios potenciales de fijación del fosfato en el suelo. También, vía el aumento de la densidad de raíces, aumentando la movilidad del P y el flujo de P por unidad de la longitud de las raíces.

Un tercer mecanismo biológico del suelo que puede aumentar la sincronía del P es la inmovilización-remineralización. En este último caso, los microorganismos atacan una fuente orgánica adicionada con una relación C/P adecuadamente alta, requiriendo una fuente externa de P, y así removería el P de la solución del suelo y reduciría la oportunidad del P de la solución del suelo para reaccionar con sitios de adsorción. Un cuarto mecanismo sería que los aniones orgánicos liberados pudiesen reducir el Al en la solución del suelo mediante la formación de complejos, y como consecuencia la toxicidad de Al disminuye, la mineralización de N aumenta, y la demanda de P aumenta debido al incremento del vigor de la planta.

1.4.8 Uso de las leguminosas en asocio con los cultivos

1.4.8.1 *Cajanus cajan*

Una de las leguminosas más importantes en los trópicos semiáridos es el guandul (*Cajanus cajan*). Su popularidad con los agricultores de pequeña escala se debe a la diversidad de sus variedades, la adaptabilidad a diversos suelos y las muchas formas en las que pueden ser usadas en sistemas agrícolas. Durante siglos ha sido utilizada en sistemas de cultivos intercalados y es una fuente ideal de forraje, alimento y leña en sistemas agroforestales (Beldt, 1988).

A nivel mundial, el guandul está recibiendo atención especial por su alto rendimiento en grano, el cual en promedio es de 1.5 ton ha⁻¹ de grano seco; además tiene alrededor del 21% de contenido de proteína en grano seco y 8% en grano verde (Apontes y Salas, 1984; Dubón y Sánchez, 1993).

El guandul es muy conocido como alimento humano. En India, el grano es una fuente importante de proteína y aporta un buen balance de todos los aminoácidos, excepto

metionina y cistina. Posee algunos factores antinutricionales, pero son destruidos con la cocción. En el Caribe y África oriental, el guandul es consumido como verdura y en las Antillas es cultivado comercialmente y enlatado. El contenido de vitamina A (470 mg/100g) y vitamina C (25 mg/100g) del guandul es 5 veces mayor que el de las alverjas verdes y cuando se le cultiva como planta perenne, las vainas pueden ser recolectadas ya sean maduras o verdes por un tiempo largo (Beldt, 1988).

Cajanus es una excelente especie para forraje. Sus hojas pueden ser usadas como forrajes para los animales de la granja. Se han obtenido rendimientos en forraje que oscilan entre 3.5 a 6.0 ton ha⁻¹ con 3 o 4 cortes y con alturas de 25 a 50 cm. Estudios preliminares de guandul demuestran que con riego se pueden producir de 10 a 15 t ha⁻¹ año⁻¹ de forraje verde, en tres cosechas. Usualmente hay disponibilidad de forraje de guandul durante la estación lluviosa. Sin embargo, el forraje de esta especie ha sido mezclado con forrajes de menor calidad para mejorar el valor nutritivo de éste último. Las hojas y vainas del guandul producen un forraje excelente y se considera con potencial como planta forrajera en Brasil, su uso es muy común en Colombia (Petit, 1994).

Los valores de proteína cruda del forraje fresco están entre 17-32% y la digestibilidad *in vitro* está entre 41-69%. Su excepcional valor nutritivo y alta productividad puede producir buenas ganancias en los pesos de los animales. En Hawaii, se reportaron ganancias de peso en ganado vacuno de 280 kg ha⁻¹ año⁻¹ con sólo guandul, comparado con 181 kg ha⁻¹ año⁻¹ en pasturas de forraje mezclado durante un período de 6,5 meses de pastoreo. El follaje permanece bien durante la estación seca. Aunque la producción de forraje depende del período de cultivo y las condiciones de crecimiento y manejo, se puede esperar un rendimiento de 3-15 t ha año de materia seca (Beldt, 1988).

A través de fijación de nitrógeno y abono verde/hojarasca, la fertilidad del suelo donde se ha cultivado *C. cajan* es generalmente mejorada, lo cual se refleja en altos rendimientos obtenidos en las cosechas posteriores. Su uso tradicional como cultivo de barbecho en África Oriental y como parte de la agricultura migratoria del sur-este de Asia merecen más atención (Beldt, 1988).

Además, el guandul es más eficiente en la utilización del fósforo fijado con hierro (Fe-P) en comparación con otras especies. Esta habilidad se atribuye a los exudados de la raíz, en particular el ácido psídico y sus derivados metil-O-*p*, los cuales liberan fósforo de Fe-P por quelatización del Fe⁺³. Aunque el guandul pueda ser utilizado para solubilizar fósforo Fe-P, los cereales en cultivos intercalados deberían de contar además con el fósforo fijado con calcio, el cual es más soluble. Esto sugiere que el cultivo de guandul aumenta la disponibilidad total de fósforo en sistemas de cultivos intercalados, donde el fósforo no se encuentra en la forma disponible (Ae *et al.*, 1990).

En la fijación de nitrógeno, el guandul tiene buen crecimiento sólo cuando existe *Rhizobium* en el suelo para inocular los árboles (Beldt, 1988). Hernández y Focht (1986) en experimentos de invernadero y campo, en suelos ácidos infértiles determinaron el efecto de fósforo, calcio y la inoculación sobre el rendimiento del guandul, reportando que a través de adiciones pequeñas de fósforo e inóculo, el guandul produce rendimientos comparables a los que se obtienen para un suelo más fértil, con rendimiento de grano de 1407 kg ha⁻¹. Onim *et al.* (1990) comparando la respuesta de maíz a la aplicación del abono verde proporcionado por *Cajanus*, *Leucaena* y *Sesbania*, encontró grandes cambios en el aporte de nutrientes al suelo, aumentando sustancialmente la fertilidad, aunque con mejores incrementos en la productividad al incorporar *Leucaena* y *Sesbania*.

Arias (1988), estudiando el follaje de algunas especies, señaló que el guandul puede ser utilizado de forma eficiente como fuente de nutrientes, debido a su descomposición rápida, lo cual permite sugerir que puede quedar a disposición de cultivos agrícolas, para aportes importantes de N, K, Ca y S.

1.4.8.2 *Canavalia ensiformis*

La canavalia (*Canavalia ensiformis*) es una leguminosa sumamente resistente a la sequía, provee cobertura de follaje para el suelo cuando los demás anuales ya se han secado y evita así la erosión y la evaporación de la humedad del suelo, además de aportar una gran cantidad de materia orgánica al suelo. Esta crece bien en suelos muy pobres y degradados (Huz, 1994).

El género *Canavalia* presenta una amplia distribución en las regiones tropicales, y su importancia para la alimentación animal radica en el alto contenido de proteínas asimilables (27%-29%) que posee en sus hojas, flores, frutos y semillas y en los diversos usos que se le han dado desde épocas muy antiguas. En los países tropicales, durante las últimas cuatro décadas, varias especies de este género han pasado de su condición de cultivo doméstico, a ser manejadas y evaluadas a escalas comerciales. En estos países, en donde la nutrición animal mediante forrajes de leguminosas se ha empleado como práctica agrícola se ha incrementado, para generar fuentes proteicas a ser utilizadas en las dietas diarias de pollos de engorde, becerros y vacas lecheras, principalmente. La especie más utilizada para estos fines ha sido *C. ensiformis* (Aymard y Cuello, 1991).

En este sentido, con el propósito de mejorar la alimentación del ganado durante la época seca, se recomienda la siembra de maíz en asocio con canavalia (Quirós *et al.*, 1998).

En un estudio realizado en Panamá, se encontró que hubo una respuesta altamente significativa por el efecto residual de *Canavalia*, presentando un rendimiento de 4.09 t ha⁻¹ de maíz (Gordón *et al.*, 1993). Alvarez *et al.*, (1995) señalan que cuando se intercaló la *Canavalia* con un cultivo principal, cubrió completamente el terreno, controlando el desarrollo de las malezas.

1.4.9 Mosca Blanca

B. tabaci causa un problema fitosanitario muy complejo, debido a su gran cantidad de biotipos y hospedantes silvestres, gran capacidad para desarrollar resistencia a los insecticidas, tener poblaciones altas y ser asociado a geminivirus. Estos últimos, por reproducirse en el floema, se diseminan rápidamente en la planta, resultando muy dañinos para los cultivos (Hilje, 1996).

La mosca blanca (*B. tabaci*) ha transmitido 17 geminivirus solamente en el cultivo del tomate en el continente americano. El efecto de los geminivirus sobre el rendimiento del tomate depende de la edad de planta en el momento de la infección, y es más serio en los

primeros dos meses del desarrollo de la planta, el cual se considera como el período crítico. Ya es muy frecuente las plantas de tomate infectadas por geminivirus en América Central y el Caribe, causando muy bajos rendimientos y grandes pérdidas económicas (Hilje y Stansly, 2000).

Los geminivirus transmitidos por mosca blanca se han convertido en el principal grupo de patógenos de las hortalizas en el subtropical y trópico del Hemisferio Occidental. Además del tomate, estos virus afectan otros cultivos como cucurbitáceas y los frijoles. Los genomas de estos geminivirus están compuestos de ADN circular de cadenas simples, encapsulado por múltiples subunidades, con una cápsula única de proteína. La mayoría son bipartitas con dos componentes genómicos del mismo tamaño, designados como A y B y encapsulados en forma separada en partículas geminadas. Por lo menos, uno de ellos es monopartita, con un componente de ADN único y un poco más grande (Polston y Anderson, 1999).

Las mismas autoras reportan que los síntomas de la infección por geminivirus varían de acuerdo al virus y a la cepa, el cultivar, la edad de la planta al momento de la infección y las condiciones ambientales. Los síntomas pueden ser combinaciones de: mosaico amarillo brillante, moteados cloróticos, márgenes foliares cloróticos, rizado de las hojas, deformación de las hojas, arrugas o pliegues en las hojas, reducción en el tamaño de las hojas, crecimiento menor de las plantas infectadas y abscisión de la flor. Por tanto, para su identificación precisa se requiere del uso de pruebas de diagnóstico.

Los insecticidas no han sido eficaces para mitigar los daños causados por los geminivirus transmitidos por *B. tabaci*; debido a esto, el uso de sustancias repelentes es deseable para evitar que el vector inocule los virus en las plantas. Usando un extracto de semilla de canavalia (*C. ensiformis*), a 7 g de extracto liofilizado por litro de agua, hubo efecto insecticida (Cubillo y Hilje, 1996), pero a dosis menores podría haber un efecto repelente.

Cubillo *et al.* (1999) reportan que, en sustancias como insecticidas (Biomel, True Stop y Trebon), derivados del árbol de nim (*Azadirachta indica*, Meliaceae) (Nim 20, Nim 80,

Nim-oil y Azatina), y extractos etanólicos del follaje, raíces o frutos de albahaca (*Ocimum basilicum*, Labitae), anisillo (*Tagetes filifolia*, Compositae), madero negro (*Gliricidia sepium*, Papilionaceae), pimienta negra (*Piper nigrum*, Piperaceae), y cinco fracciones de *Echinacia purpurea* (Compositae), fue obvia la ausencia de repelencia clara y fuerte sobre los adultos de *B. Tabaci*, al menos en la modalidad y dosis evaluadas. Los productos comerciales tuvieron efecto insecticida, excepto el Biomel, y de los derivados del nim solamente los que contienen aceite (Nim 80 y Nim-oil) lo mostraron. De los extractos vegetales, el anisillo y la fracción de *E. purpura* en éter causaron mortalidad, mientras que la pimienta causó baja oviposición.

Hilje *et al.*, s.f. reportan que los extractos metanólicos de hojas de "sorosi" (*Momordica charantia*) y frutos de "tabaco cimarrón" (*Sechium pittieri*), ambas cucurbitáceas, causaron una fuerte repelencia y/o ovidisuasión ($P < 0.05$) a las dosis 0.5, 1.0 y 1.5%, con una tendencia similar a la del aceite Volck. El efecto repelente del aceite Volck se confirma en el trabajo de Hilje *et al.*, s.f.

1.5 LITERATURA CITADA

- Adepetu, JA; Corey, RB. 1976. Organic phosphorus as a predictor of plant-available phosphorus in soils of southern Nigeria. *Soil Science*. 122(3): 159-164.
- Ae, N; Arihara, J; Okada, K; Yoshihara, T; Johansen, C. 1990. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian Subcontinent. *Science*. 248: 477-480.
- Akondé, TP; Leihner, DE; Steinmuller, N. 1996. Alley cropping on an Ultisol in subhumid Benin. Part 1: Long-term on maize, cassava and tree productivity. *Agroforestry Systems* 34: 1-12.
- Alvarez, M; García, M; Treto, E. 1995. Los abonos verdes: una alternativa natural y económica para la agricultura. *Cultivos Tropicales* 16 (3): 9-24.
- Aponte, A., Salas, M. 1984. Descripción de cuatro variedades sobresalientes de quinchoncho (*Cajanus cajan*). *Agronomía Tropical*. 34 (1-3): 199-204.

- Aymard, GC., Cuello, NA. 1981. Catalogo y adiciones a las especies neotropicales del genero *Canavalia* (Leguminosae-Papilionoideae-Phaseoleae-Diocleinae). In Vargas, RE; León, A; Escobar, A. eds. *Canavalia ensiformis* (L.) DC, producción, procesamiento y utilización en alimentación animal. p. 45-64.
- Beck, MA; Sanchez, PA. 1994. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1424-1431.
- Beldt, RJ van den. 1988. *Cajanus cajan*, es mucho más que una legumbre. Waimanalo, Hawai, USA.
- Bertsch, F. 1995. Fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR. 157 p.
- Buresh, RJ; Smithson, PC; Hellums, DT. 1997. Building soil phosphorus capital in Africa. In *Replenishing Soil Fertility in Africa*. SSSA Special Publication Number 51. Madison, Wisconsin, USA. P. 111-149.
- Buresh, RJ. 1999. Agroforestry strategies for increasing the efficiency of phosphorus use in tropical uplands. *Agroforestry Forum* 9 (4): 8-13.
- Cubillo, D; Hilje, L. 1996. Repelentes. In *Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus*. CATIE (Serie Materiales de Enseñanza, no 37) p. 77-83.
- Cubillo, D; Sanabria, G; Hilje, L. 1999. Evaluación de la repelencia y mortalidad causada por insecticidas comerciales y extractos vegetales sobre *Bemisia tabaci*. *Manejo Integrado de Plagas* (Costa Rica) 53: 65-71.
- Dalal, RC. 1977. Soil organic phosphorus. *Advanced Agronomy*. 29: 83-117.
- Díaz-Romeu, R; Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, CR. 68 p.
- Dubón, A; Sánchez, J. 1993. Algunos cultivos anuales asociados con cacao en nuevo sistema de producción. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. p. 69-79 (Informe técnico no. 206).

- Fassbender, HW; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, CR. 2 ed. 420 p. (Colección Libros y Materiales Educativos No. 81).
- Gahoonia, TS; Nielsen, NE. 1992. The effects of root-induced pH changes on the depletion of inorganic and organic phosphorus in the rizosphere. *Plant and Soil* 143: 185-191.
- Gómez, S; Arana, VH. 1994. Inserción de leguminosas. *Revista Centroamericana Laderas* 2(6):5-8.
- Gordón, R; Franco, J; Garcia, N de; Martínez, L; González, A; Herrera, A de; Bolaños, J. 1993. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-93. *In* Bolaños, J; Saín, G; Urbina, R; Barreto, H. eds. Síntesis de resultados experimentales 1992. CIMMYT-PRM. Guatemala.
- Gressel, N, McColl, JG. 1997. Phosphorus mineralization and organic matter decomposition: a critical review. *In* Cadisch, G; Giller, KE. eds. Driven by nature: plant litter quality and decomposition. CAB INTERNATIONAL.
- Grinsted, MJ; Hedley, MJ; White, RE; Nye, PH. 1982. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. Emerald) seedling. I. PH change and the increase in P concentration in the soil solution. *New Phytol.* 91: 19-29.
- Hedley, MJ; Stewart, JWB; Chauhan, BS. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Am. J.* 46: 970-976.
- Hedley, MJ; Nye, PH; White, RE. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. Emerald) seedling. II. Origin of the pH change. *New Phytol.* 91: 31-44.
- Hedley, MJ; Nye, PH; White, RE. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. Emerald) seedling. III. Changes in *L* value, soil phosphate fractions and phosphatase activity. *New Phytol.* 91: 45-56.
- Hedley, MJ; Kirk, GJD; Santos, MB. 1994. Phosphorus efficiency and the forms of soil phosphorus utilized by upland rice cultivars. *Plant and Soil.* 158: 53-62.
- Hernández, B de; Focht, DD. 1986. Factores limitantes de la fijación de nitrógeno en el guandul (*Cajanus cajan*) en suelos ácidos. *Ceiba* 27(1):61-80.

- Hernández, DL; Siegert, G; Rodríguez, JV. 1986. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1460-1462.
- Hilje, L. 1996. Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. Turrialba, CR. CATIE (Serie Materiales de Enseñanza no 37). 150 p.
- Hilje, L; Stansly, PA. 2000. Coberturas vivas para el manejo de la mosca blanca en tomate. CATIE. Manejo Integrado de Plagas (CR), no 56, p. I-iv. (Hoja técnica. no 33).
- Hilje, L; Stansly, PA; Carballo, M. s.f. Repelencia y ovidisuaion de dos extractos de cucurbitaceas sobre *Bemisia tabaci*. (Resumen).
- Hilje, L; Stansly, PA; Carballo, M. s.f. Repelencia de un aceite mineral contra adultos de *Bemisia tabaci*. (Resumen).
- Hue, NV. 1991. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. *Soil Science* 152 (6): 463-471.
- Huz, M de J. 1994. El uso de la *Canavalia ensiformis* y otras leguminosas como coberturas muertas en la agricultura Yacateca. In Thurton, HD; Smith, M; Abawi, G; Kearl, S. eds. Tapado, los sistemas de siembra con cobertura. p. 217-219.
- IDA. 1999. Avaluo propiedad rural. Instituto de Desarrollo Agrario. Turrialba, Costa Rica.
- Itoh, S. 1997. Characteristics of phosphorus uptake of chickpea in comparison with pigeonpea, soybean, and maize. *Soil Sci. Plant Nutr.* 33(3): 417-422.
- Iyamuremye, F; Dick, RP. 1996. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Advances in Agronomy.* 56: 139-185.
- Jama, B; Swinkels, RA; Buresh, RJ. 1997. Agronomic and economic evaluation of organic and inorganic sources of phosphorus in western Kenya. *Agron. J.* 89: 597-604.
- Kumar, K; Goh, KM. 2000. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy* 68: 197-319.
- Marín, DCh. 1991. Algunos aspectos ecofisiologicos del cultivo de *Canavalia ensiformis* (L) DC. In Vargas, RE; León, A; Escobar, A eds. *Canavalia ensiformis* (L) DC, producción, procesamiento y utilización en alimentación animal. Venezuela, p. 65-76.
- Myers, RJK; van Noordwijk, M; Vityakon, P. 1997. Synchrony of nutrient release and plant demand: plant litter quality, soil environment and farmer management options. In Cadisch, G; Giller, KE eds. *Driven by nature: plant litter quality and decomposition.* CAB International. p. 215-229.

CAPITULO 2

ARTÍCULO 1

EFFECTO DE ESPECIES USADAS COMO ABONO VERDE EN EL
ENRIQUECIMIENTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN CONDICIONES DE
INVERNADERO

Alana Aguiar¹, Dr. Donald Kass²

¹M.Sc. en Agroforestería, CATIE, Turrialba, Costa Rica. ²Profesor/Investigador, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Palabras claves: reciclaje de nutrientes, abonos verdes, fraccionamiento de fósforo, suelos volcánicos.

Resumen

Un estudio fue realizado bajo condiciones de invernadero para determinar la contribución de la incorporación de los residuos de las especies *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* y *Tephrosia vogelii* en el aumento de la disponibilidad de nutrientes, así como para cuantificar los cambios causados por estas especies en las fracciones de P. Cuatro suelos de Costa Rica fueron utilizados, un Andic Palehumult (Ultisol-Grecia), Acrudoxic Hydric Melanudand (Andisol), Plinthic Paleudult (Ultisol-San Isidro) y un Oxyaquic Argiudoll (Molisol). De la combinación de las cuatro especies y de los cuatro suelos, se hicieron 16 tratamientos en un diseño en bloques al azar, con ocho repeticiones. Fueron utilizadas macetas de 2 dm³. A los 60 días de la germinación, las plantas fueron cortadas y secadas, considerando solo su parte aérea. Luego, esta materia seca fue incorporada a cada uno de los suelos y después de 60 días de incubación, se sembró maíz, utilizando diez plantas por maceta, las cuales fueron cosechadas a los 45 días después de la germinación, para la determinación de la materia seca producida. Se realizó análisis de los suelos y análisis foliar de las especies de abono verde y del maíz. Todos los suelos del experimento presentaron una saturación por bases superior al 70% e una retención de P superior al 50%. Entre las especies, la *Tithonia* se muestra como la especie que produce mayor cantidad de biomasa. Cuanto al nivel de N en la materia seca, *Tephrosia* se mostró superior en todos los suelos, lo que reafirma la buena calidad de su residuo para el uso como abono verde. El maíz produce mayor cantidad de materia seca en el Ultisol-Grecia, cuando recibió los residuos de *Canavalia*, *Cajanus* y *Tephrosia*. Las especies usadas como abono verde no presentaron efecto significativo en las fracciones de P al final del experimento. En el grupo de suelos usados, la adición de abonos verdes in situ, afecta favorablemente la productividad del maíz. *Tephrosia* y *Canavalia* se mostraron más promisorias, principalmente para el reciclaje de N, P y Ca. Para el K, *Tithonia* se mostró más promisorio. Para mejorar la disponibilidad del P en estos suelos se detectó que el cultivo de *Tephrosia* resulta ser el más idóneo a corto plazo. Se debe dar preferencia a la combinación de abonos verdes con alta calidad de residuos con grande producción de materia seca, alcanzada por medio del aumento de la densidad de las especies en el campo.

INTRODUCCIÓN

En la nutrición mineral de las plantas, los tres mayores nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio) son generalmente suministrados de manera limitada por muchos suelos. Los agricultores están concientes de los efectos severos del agotamiento de la fertilidad del suelo, pero algunas veces no utilizan fertilizantes en sus cultivos, porque estos son frecuentemente escasos y costosos. Aunque los fertilizantes químicos no son la única respuesta para esta inquietud, hay otros medios para lograr el incremento o mantenimiento de la fertilidad del suelo y una productividad sostenible de los cultivos en fincas de pequeños productores (Defoer *et al.*, 2000).

Hay muchas prácticas agroforestales para restaurar los niveles de formas de nitrógeno en el suelo, donde este nutriente está siendo agotado por cultivos previos. Una de estas prácticas es usar ciclos cortos de leguminosas de crecimiento rápido, como la *Tephrosia*, muy utilizada en barbechos. Otra práctica es traer residuos vegetales de otra parte, fuera de la finca, como es el caso de la especie *Tithonia* en el Occidente de Kenia, que produce 5 t ha⁻¹ de biomasa seca, la cual permite duplicar la productividad del maíz en esta región (Rao *et al.*, 1998; Lodoen, 1999), reducir la sorción de P y aumentar la biomasa microbiana del suelo (Jama *et al.*, 2000).

Estas prácticas son bastante promisorias para muchos países, en el caso de la *Tephrosia*, se ha aumentado la productividad de cultivos, cuando el nitrógeno es el mayor problema nutricional del suelo, pero donde nitrógeno y fósforo están en cantidades bajas, no hay resultado significativo en el aumento de productividad, a menos que fertilizantes fosfatados sean aplicados simultáneamente.

Según Ae *et al.*, 1990, Otani y Ae, 1996, Otani *et al.*, (1996) la identificación de plantas con alta habilidad para la absorción de fracciones de P consideradas no disponibles, como aquellas ligadas al hierro y al aluminio, abre una nueva perspectiva para aumentar la eficiencia del manejo de P en el suelo. *Cajanus cajan*, ya bastante utilizado en los sistemas agroforestales para producción de biomasa, ha demostrado la capacidad potencial para alterar positivamente el balance de las fracciones del P en los suelos, incrementando la proporción de las formas disponibles.

Adicionalmente, los ácidos orgánicos producidos durante la descomposición de materiales vegetales, adicionados al suelo, pueden competir con los aniones de P por puntos de adsorción existentes en el suelo, por lo que se presume se aumentó su disponibilidad en la solución del suelo (Hernández *et al.*, 1986). Con *Tithonia diversifolia*, la adsorción de P se redujo, acompañada del aumento de las fracciones de P medidas (P-resina, P-NaHCO₃ y P-NaOH), siendo estas mayores que la cantidad de P adicionado (Nzighuheba *et al.*, 1998).

Sin embargo, la incorporación de estas especies en un sistema de uso del suelo, con el objetivo de favorecer los cultivos subsecuentes, debe ser precedida de pruebas que demuestren su eficiencia en dinamizar el reciclaje de nutrientes mediante el aumento de su disponibilidad total en el suelo y por lo tanto, su capacidad de aumentar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El experimento fue realizado bajo condiciones de invernadero en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica. Este lugar está a 9°52'N y 83°38'O y 640 msnm, donde las variables climáticas son de 22°C, 2479 mm, 87% HR y 11,82 uJ/m², en promedio (Jiménez, 1994).

Especies y suelos utilizados

Las especies *Cajanus cajan* (guandul), *Tithonia diversifolia* (titonia), *Tephrosia vogelii* (tefrosia) y *Canavalia ensiformis* (canavalia) fueron seleccionadas para este estudio debido a sus potenciales características para el reciclaje de nutrientes y como fuentes de abonos verdes. Cuatro suelos de Costa Rica fueron utilizados, un Andic Palehumult - Ultisol (localidad de Grecia), Acrudoxic Hydric Melanudand - Andisol (localidad de Orieta), Plinthic Paleudult - Ultisol (localidad de San Isidro) y un Oxyaquic Argiudoll - Molisol (localidad de Guayabo) (Soil Survey Staff, 1999).

Procedimiento del experimento

Las especies *Cajanus*, *Tephrosia* y *Canavalia* fueron sembradas por semillas, con cuatro plantas por maceta. Para la *Tithonia* se utilizaron tres estacas por maceta. Una muestra de tres

estacas fueron secadas y pesadas, para la determinación de la materia seca y por lo tanto saber cuanto esta especie estaba aportando cuando fue sembrada. Fueron utilizadas macetas de 2 dm³. A los 60 días de la germinación, las plantas fueron cortadas y secadas en estufa a 65^o C de circulación forzada, considerando solamente su parte aérea. Luego, esta materia seca fue incorporada a cada uno de los suelos y después de 60 días de incubación, se sembró maíz, utilizando diez plantas por maceta, las cuales fueron cosechadas a los 45 días después de la germinación, para la determinación de la materia seca producida.

Se determinó la eficiencia de las especies para aumentar la fertilidad del suelo a través del análisis de los suelos y del análisis foliar de las especies de abono verde y del maíz. Para los tejidos vegetales fueron analizados:

- Nitrógeno (N): por método semimicro Kjeldhal (Jones y Case, 1990);
- Fósforo (P): por método colorimétrico del extracto de digestión nítrica-perclórica;
- Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg): determinación por absorción atómica (Díaz-Romeu y Hunter, 1978; Olsen y Sommers, 1982; Mills y Jones, 1996).

El muestreo de los suelos fue realizado dos veces, antes de la siembra de las especies usadas como abono verde y después de la cosecha del maíz. Los análisis de laboratorio incluyeron las siguientes determinaciones:

- Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), acidez: extracción en Olsen Modificado pH 8.5 y KCl 1N para fertilidad;
- Materia orgánica: por el método de Walkly y Black (Bornemiza *et al.*, 1979; Nelson y Sommer, 1982);
- pH en agua;
- Retención de Fósforo: por método de Nueva Zelanda;
- Fraccionamiento de fósforo, según Hedley *et al.* (1982), modificado en la extracción del P-resina, se utilizó membranas de intercambio de 2.5 x 2.5 cm.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1) *Cajanus* + Molisol
- 2) *Cajanus* + Ultisol-San Isidro
- 3) *Cajanus* + Ultisol-Grecia
- 4) *Cajanus* + Andisol

- 5) *Tithonia* + Molisol
- 6) *Tithonia* + Ultisol-San Isidro
- 7) *Tithonia* + Ultisol-Grecia
- 8) *Tithonia* + Andisol
- 9) *Tephrosia* + Molisol
- 10) *Tephrosia* + Ultisol-San Isidro
- 11) *Tephrosia* + Ultisol-Grecia
- 12) *Tephrosia* + Andisol
- 13) *Canavalia* + Molisol
- 14) *Canavalia* + Ultisol-San Isidro
- 15) *Canavalia* + Ultisol-Grecia
- 16) *Canavalia* + Andisol

Diseño experimental y análisis de los datos

Se usó un diseño en bloques completos al azar, con arreglo factorial 4 x 4 y ocho repeticiones. El modelo matemático fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + E_j + S_k + (ES)_{jk} + \epsilon_{ijk} \text{ donde,}$$

Y_{ijk} = variable de respuesta

μ = media general de la población

B_i = efecto de los bloques ($i = 1, 2, \dots, 8$)

E_j = efecto de las especies ($j = 1, 2, 3, 4$)

S_k = efecto de los suelos ($k = 1, 2, 3, 4$)

$(ES)_{jk}$ = interacción entre los efectos de las especies y de los suelos

ϵ_{ijk} = error experimental

Un análisis de varianza fue conducido usando el procedimiento GLM para determinar los efectos de los tratamientos en el reciclaje de nutrientes. Fue usada la prueba de Tukey para la comparación de tratamientos, con un alfa de 0.05. Para las determinaciones de los nutrientes en el suelo, como en la biomasa de las especies, se consideró sólo cuatro repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Disponibilidad inicial de los nutrientes en los suelos

Todos los suelos del experimento presentaron una saturación por bases superior al 70%, pero los niveles netos y la relación entre bases fueron no satisfactorios, exceptuando el suelo Ultisol-Grecia. En el caso del Molisol, el Ca y el Mg (14.20 y $7.02 \text{ cmol}^+ \text{ l}^{-1}$) se mostraron en niveles muy altos, en contraste con el K muy bajo ($0.07 \text{ cmol}^+ \text{ l}^{-1}$), lo que implica una relación $\text{Ca} + \text{Mg}/\text{K}$ (303.14) muy superior a los límites adecuados, sugiriendo posibilidades de desbalances nutricionales en las bases del suelo y una baja disponibilidad de K en este suelo.

Además de la interpretación de la saturación de bases, también se debe considerar la capacidad de intercambio catiónico (CICE), la cual es menor de $5.0 \text{ cmol}^+ \text{ l}^{-1}$. Esto es un indicador de suelos con características ácricas, indicando alto grado de meteorización y alto potencial de combinación P-Al y P-Fe (Cuadro 1). Los suelos Andisol, Ultisol-Grecia y Ultisol-San Isidro presentaron bajísimas densidades de cargas eléctricas negativas totales.

El Ultisol-Grecia presentó un gran nivel de P disponible (24.4 mg l^{-1}), superior dos veces al nivel crítico para este elemento en el suelo, mientras que los demás suelos presentaron niveles deficientes de P.

Todos los suelos presentaron una retención de P superior al 50%. En el Andisol la retención de P casi alcanzó un 100% (Cuadro 1). Entonces, aunque en el suelo Ultisol-Grecia presenta un nivel de P disponible alto, la retención de este elemento es muy alta, evidenciando la importancia de lograr cambios en el potencial de utilización de este elemento en todos los suelos del estudio, como el uso de especies que puedan cambiar fracciones poco asimilables de P en fracciones asimilables.

Cuadro 1. Niveles iniciales de nutrientes y algunas características químicas de los suelos estudiados.

Variables	Suelos			
	Ultisol-Grecia	Molisol	Andisol	Ultisol-San Isidro
Ca ($\text{cmol}^+ \text{l}^{-1}$)	4.28 (1.71)*	14.20 (5.68)	1.11 (0.44)	1.84 (0.74)
Mg ($\text{cmol}^+ \text{l}^{-1}$)	0.58 (0.14)	7.02 (1.68)	0.12 (0.03)	0.15 (0.04)
K ($\text{cmol}^+ \text{l}^{-1}$)	0.19 (0.15)	0.07 (0.05)	0.05 (0.04)	0.10 (0.08)
Ca + Mg/K	25.58	303.14	24.6	19.9
P (mg l^{-1})	24.4	2.5	1.5	3.3
Acidez extraíble ($\text{cmol}^+ \text{l}^{-1}$)	0.31	0.79	0.25	0.61
pH (agua)	5.6	5.4	5.4	5.4
Materia orgánica (%)	7.7	7.7	16.9	8.2
Suma de Bases ($\text{cmol}^+ \text{l}^{-1}$)	5.05	21.29	1.28	2.09
CICE ($\text{cmol}^+ \text{l}^{-1}$)	5.36	22.08	1.53	2.7
Retención de P (%)	81.5	62.3	98.5	80.3
Sat. de Bases (V%)	94	96	83	77

Obs.: Los datos del cuadro son valores de los suelos usados para el llenado de las muestras, sin el uso de repeticiones.

() * Niveles de nutrientes en g maceta^{-1} .

Fraccionamiento del P

Los resultados del fraccionamiento de P mostraron diferencias entre las diversas fracciones entre todos los suelos, pero apenas el Ultisol-Grecia presentó niveles satisfactorios de P fácilmente disponible (10.55 mg kg^{-1}).

El Andisol y el Ultisol-San Isidro, confirmando sus características ácricas, presentaron más de la mitad de su P total en la forma de P-NaOH. Cuando las fracciones de Pi-NaOH y Po-NaOH del Andisol son sumadas sobrepasan los valores de P total de cualquier otro suelo del experimento (Cuadro 2), lo que confirma la enorme capacidad de este suelo en combinar P-Al y P-Fe, principalmente en la forma Po, cuyos valores fueron tres veces superiores al Pi en esta fracción, probablemente debido al su alto contenido de materia orgánica (16.9%). Estos

resultados sugieren también que en estos suelos las especies con potencial para recuperar P recalcitrante podrían tener gran oportunidad de hacerlo.

En el Ultisol-San Isidro, los niveles de P fácilmente disponible no serían ideales, a menos que se sumase la fracción $P_o NaHCO_3$. Este presentó, también, los valores de P total más bajos entre los suelos estudiados (con 385.8 mg kg^{-1}), siendo la mitad del P en la forma P_o-NaOH , lo que sugiere que las especies exigentes en P, difícilmente mostrarán sus potencialidades, sin la adición de fertilizantes fosfatados.

Cuadro 2. Fracciones de fósforo (P) y fósforo total promedio por suelo al inicio del estudio.

Fracciones de P (mg kg^{-1})	Tipos de suelos usados			
	Ultisol-Grecia	Molisol	Andisol	Ultisol-San Isidro
Pi resina	10.55	6.71	0.19	0.19
Pi $NaHCO_3$	89.36	12.09	9.03	8.28
Po $NaHCO_3$	22.13	38.55	62.72	11.87
Pi NaOH	500.6	85.24	349.6	49.86
Po NaOH	174.7	218.6	980.5	109.9
Pi HCl	11.87	27.46	128.6	0.76
P residual	503.5	701.2	783.3	240.6
P total	1294.0	1051.0	2005.0	389.8

Obs.: Los datos del cuadro son valores de los suelos previo al llenado de las macetas, sin el uso de repeticiones.

Biomasa producida por las especies usadas como abono verde

Entre las especies, la *Tithonia* se muestra como la especie que produce mayor cantidad de biomasa y la de mayor respuesta a la fertilidad del suelo. Para esta se detecta una diferencia de prácticamente el doble de la producción de biomasa en el Molisol comparada al Andisol.

Por otro lado, la *Canavalia*, la segunda más productiva, presentó una producción prácticamente similar en todos los suelos, confirmando su alta plasticidad, resultante de su gran adaptabilidad a las condiciones edáficas contrastantes, la cual ha sido reportado anteriormente por Huz, 1994.

La producción de materia seca del *Cajanus* y de la *Tephrosia* fue representativamente menor, variando entre 1/3 a 1/7 con relación a la *Canavalia* y a la *Tithonia* (Figura 1). Estos resultados, junto con aquellos relativos a la calidad de los residuos pueden ser importantes en la definición de la especie para un sistema donde el reciclaje de nutrientes sea el foco principal en el manejo del suelo.

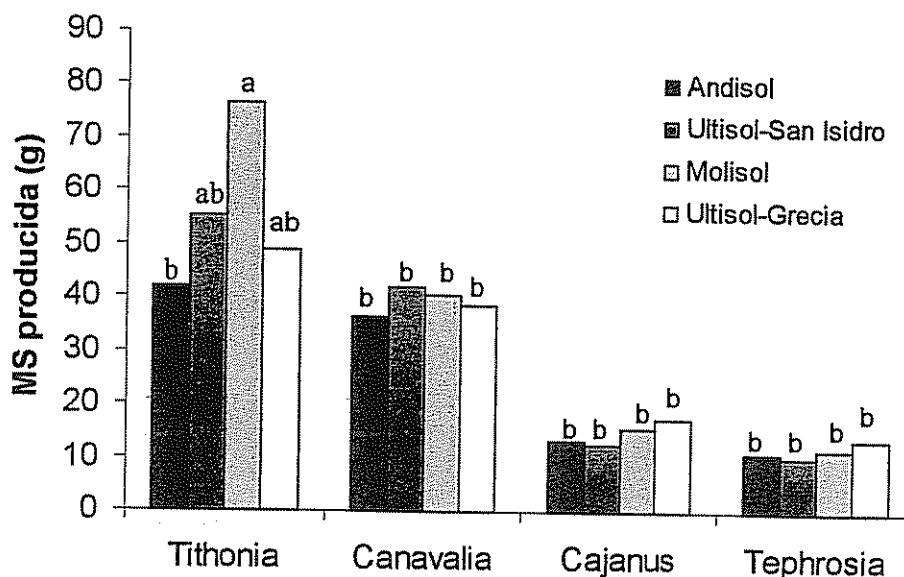


Figura 1. Materia seca producida (g) por las especies usadas como abono verde (60 días después de la siembra)

Extracción de nutrientes por las especies usadas como abono verde

Se observó una relación positiva entre los niveles de nutrientes en el suelo y el contenido en la biomasa de la planta para todas las especies, lo que significa que ninguna de ellas puede crecer favorablemente en suelos con una menor disponibilidad de nutrientes y/o capturar mas nutrientes donde prevalecen las formas recalcitrantes del P.

Los menores contenidos de nutrientes en la biomasa presentados por la *Tithonia* deben ser debido más al efecto de dilución que a su menor eficiencia extractora, dado que los nutrientes extraídos se distribuyen en una mayor cantidad de biomasa. Aunque la adición total de nutrientes reincorporada al suelo fue siempre menor en los otros tratamientos (Cuadro 3). Aunque en la cantidad total de nutrientes aportados, la *Canavalia* y la *Tithonia* presentaron mayor aporte, si se considera cantidades iguales de biomasa aportada a los suelos, la especie

que tenga mayor concentración de un nutriente en su biomasa, es la más eficiente en el reciclaje (Cuadro 4).

El mismo efecto, pero en el sentido contrario, ocurrió con la *Tephrosia* cuyas concentraciones de nutrientes fueron siempre superiores a las demás especies, pero con cantidades de materia seca siempre menores. De todos modos, esta alta concentración de nutrientes sugiere gran potencialidad para el reciclaje, si las condiciones de producción de biomasa en el campo, son perfeccionadas mediante prácticas como cultivos más densos y podas controladas.

Contenido de nitrógeno y fósforo en la biomasa producida

Cuanto al nivel de N en la materia seca, *Tephrosia* se mostró superior en todos los suelos, lo que reafirma la buena calidad de su residuo para el uso como abono verde. La gran estabilidad de la *Canavalia* para producir materia seca, en las diversas condiciones de fertilidad del suelo, se manifestó en mayores cantidades de N adicionados en todos los suelos (Cuadro 4).

Por lo tanto, en optar por una u otra especie, para el reciclaje de N, debe ser considerado los niveles de la fertilidad del suelo y la posibilidad de adensar el cultivo de *Tephrosia*, para la producción de cantidades mayores de materia seca.

Con relación al P, hubo una relación positiva entre el P resina y la concentración de P en todas las especies y para todos los suelos (Figura 2), lo que sugiere que las especies utilizadas responden favorablemente a la formas de P fácilmente disponibles, como era de esperarse. Entonces, ninguna de las especies pudo recuperar el P menos disponible, que hace parte en los suelos menos fértiles, como el Andisol, donde tenía mucho P-HCl.

Entre las especies, la *Canavalia* se mostró superior en relación a la cantidad de P adicionada y por lo tanto, más promisorio, principalmente considerando su menor producción de materia seca, en relación a la *Tithonia* (Cuadro 4).

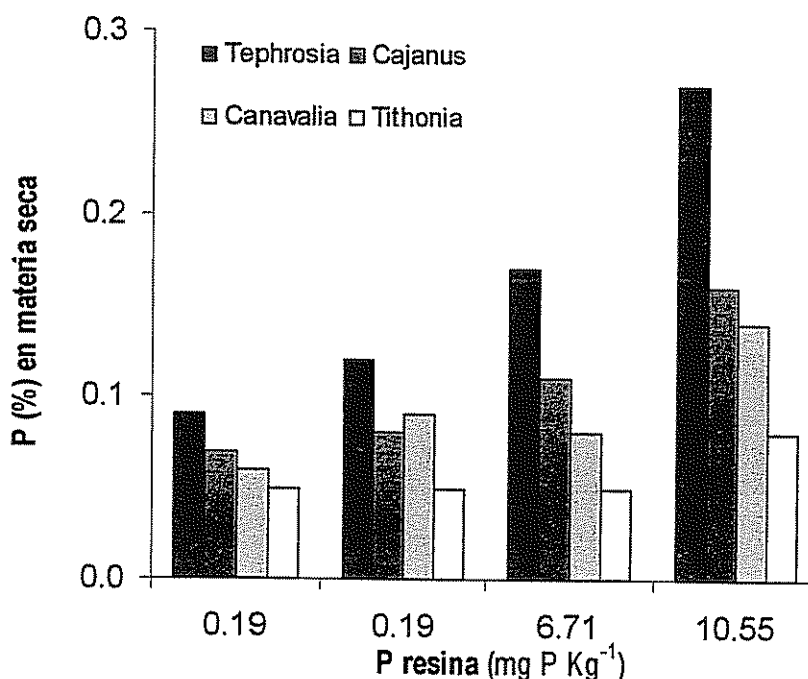


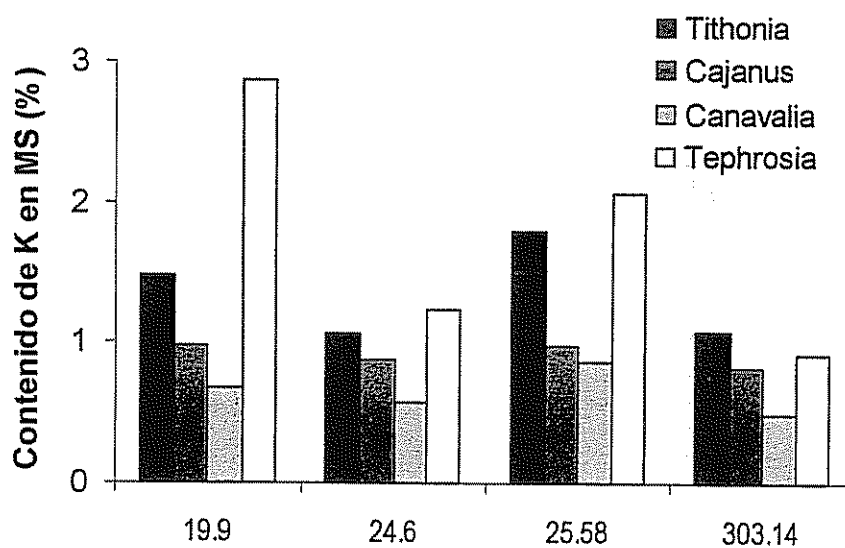
Figura 2. Contenido de fósforo (%) en la materia seca de las especies usadas como abono verde a distintos niveles de P resina en los suelos bajo estudio, después de 60 días de la siembra.

Según los análisis de varianza al contenido de N en la biomasa, se detectó que la fuente mayor de variación fue explicada por el efecto de las especies. Para el contenido de P en la biomasa, tanto el efecto de las especies, como el efecto de los suelos, explicaron la variación de este elemento, siendo que la *Tephrosia* presentó mayor contenido de P en su biomasa, cuando sembrada en el Ultisol-Grecia (0.27%) (Cuadro 3).

Contenido de potasio, calcio y magnesio en la biomasa producida

Todas las especies se mostraron sensibles a la alta relación Ca + Mg/K (Figura 3). En el Molisol, las especies *Canavalia* y *Cajanus* presentaron menores niveles de K en su biomasa, lo que puede dificultar una mayor riqueza de K en la biomasa que se pueda utilizar en el reciclaje de K en estas condiciones (Cuadro 3).

Para el K, la *Tithonia* se mostró muy superior en relación a las demás, principalmente en lo que se refiere a las cantidades adicionadas (Cuadro 4).



Ca+Mg/K

Figura 3. Contenido de potasio (%) en materia seca a distintas relaciones Ca + Mg/K, bajo los suelos en estudio.

Los resultados relativos al Ca (Cuadros 3 y 4), apuntan para una mayor eficiencia de la *Canavalia*, en el reciclaje de este elemento, en comparación con las otras especies, si se considera conjuntamente las concentraciones del elemento y la cantidad de materia seca producida, lo que ayuda a explicar su buena producción, aún en suelos más pobres, como ya fue visto anteriormente. Con relación al Mg, hubo destaque para la *Tithonia*, que logró absorber niveles satisfactorios, aún en los suelos que presentan niveles más bajos, si se considera también la cantidad de materia seca producida por esta especie.

Cuadro 3. Contenido de nutrientes (%) en las especies usadas como abono verde en los tratamientos

Nutrientes (%)	Tipos de suelos	Especies			
		Tephrosia	Cajanus	Canavalia	Tithonia
N	Ultisol-Grecia	3.49 A* a**	2.55 B a	1.78 C a	1.11 D a
	Molisol	3.44 A a	2.24 B a	1.90 B a	0.68 C b
	Ultisol-San Isidro	2.58 A a	1.95 AB a	1.52 BC a	0.99 C ab
	Andisol	3.27 A a	2.12 B a	1.54 C a	0.85 D ab
P	Ultisol-Grecia	0.27 A a	0.16 B a	0.14 BC a	0.08 C a
	Molisol	0.17 A b	0.11 B ab	0.08 BC b	0.05 C a
	Ultisol-San Isidro	0.09 A c	0.07 AB b	0.06 B b	0.05 B a
	Andisol	0.12 A bc	0.08 AB b	0.09 AB b	0.05 B a
K	Ultisol-Grecia	2.07 A ab	0.97 A a	0.86 A a	1.79 A a
	Molisol	0.92 A b	0.82 A a	0.49 A c	1.07 A a
	Ultisol-San Isidro	2.87 A a	0.98 B a	0.68 B b	1.48 AB a
	Andisol	1.23 A ab	0.87 B a	0.58 C c	1.06 AB a
Ca	Ultisol-Grecia	1.93 A a	1.05 B a	2.02 A a	0.47 C a
	Molisol	1.68 A ab	1.37 AB a	1.21 B bc	0.47 C a
	Ultisol-San Isidro	1.35 A b	1.32 A a	1.34 A b	0.53 B a
	Andisol	1.38 A b	1.15 B a	1.08 B c	0.46 C a
Mg	Ultisol-Grecia	0.27 A b	0.17 B b	0.27 A b	0.24 A a
	Molisol	0.43 A a	0.31 B a	0.42 A a	0.27 B a
	Ultisol-San Isidro	0.17 A c	0.16 A b	0.20 A bc	0.24 A a
	Andisol	0.19 A c	0.16 A b	0.15 A c	0.22 A a

*Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente), letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente).

**Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

Cuadro 4. Cantidad de nutrientes (g) adicionada por las especies usadas como abono verde en los tratamientos

Nutrientes (%)	Tipos de suelos	Especies			
		<i>Tephrosia</i>	<i>Cajanus</i>	<i>Canavalia</i>	<i>Tithonia</i>
N	Ultisol-Grecia	47.12 B* a**	44.43 B a	69.00 A ab	53.97 B a
	Molisol	40.42 C a	34.45 C b	77.45 A a	52.27 B a
	Ultisol-San Isidro	26.78 B b	24.38 B c	63.66 A ab	54.94 A a
	Andisol	35.65 B ab	28.32 C bc	55.62 A b	35.80 B a
P	Ultisol-Grecia	3.65 B a	2.84 B a	5.53 A a	4.21 AB a
	Molisol	1.96 B b	1.74 B b	3.25 A b	3.82 A a
	Ultisol-San Isidro	0.97 B c	0.92 B b	2.79 A b	3.12 A a
	Andisol	1.34 BC c	1.11 C b	3.25 A b	2.25 AB a
K	Ultisol-Grecia	28.04 B a	16.97 B a	33.21 B a	87.35 A a
	Molisol	10.89 B a	12.72 B a	20.04 B b	82.10 A a
	Ultisol-San Isidro	29.86 B a	12.33 C a	28.48 B a	81.76 A a
	Andisol	13.42 C a	11.73 C a	20.95 B b	44.79 A a
Ca	Ultisol-Grecia	26.05 B a	18.36 B ab	78.01 A a	22.69 B a
	Molisol	19.74 B b	21.12 B a	49.29 A b	35.69 AB a
	Ultisol-San Isidro	14.05 C c	16.50 C ab	56.12 A b	29.39 B a
	Andisol	15.09 C c	15.47 C b	39.13 A c	19.24 B a
Mg	Ultisol-Grecia	3.64 B a	2.95 B b	10.30 A b	11.83 A b
	Molisol	5.05 B a	4.87 B a	17.20 A a	20.65 A a
	Ultisol-San Isidro	1.76 C c	2.00 C b	8.37 B bc	13.26 A b
	Andisol	2.07 C c	2.14 C b	5.42 B c	9.27 A b

*Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente), letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente).

**Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

Producción de biomasa y niveles de nutrientes en el maíz

El análisis de los datos de la materia seca del maíz (Figura 4) indica que las mayores producciones de biomasa seca fueron alcanzadas en los suelos Ultisol-Grecia, cuando recibieron los residuos de *Canavalia*, *Cajanus* y *Tephrosia*. En cambio en los otros suelos la biomasa de *Tithonia* aplicada produce mayores efectos en el maíz.

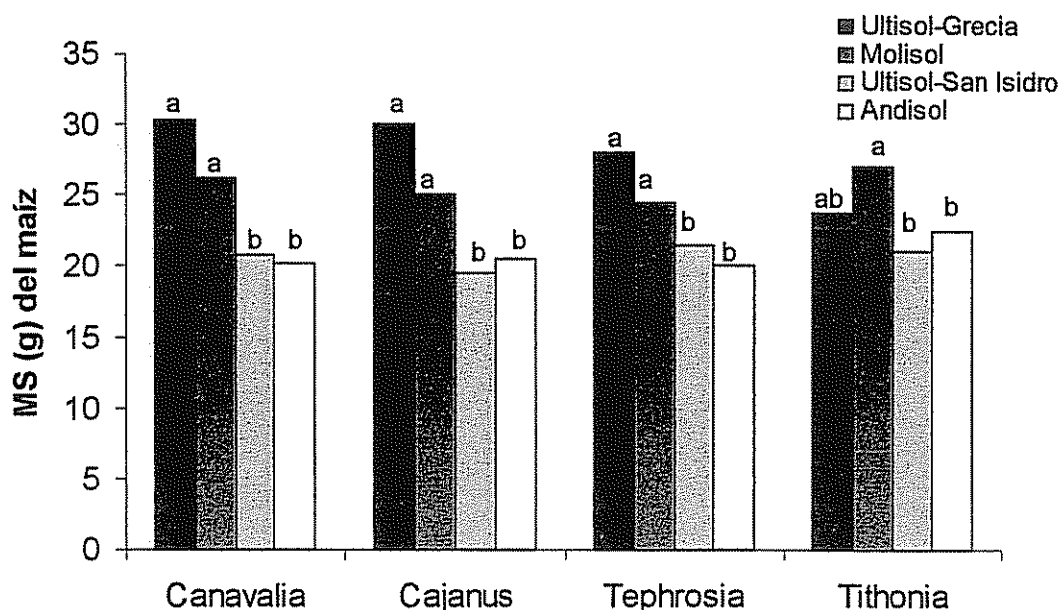


Figura 4. Producción de materia seca (MS) por el maíz.

A corto plazo son muy importantes los niveles de N de la especie destinada a la aplicación en el suelo y por lo tanto, se debe considerar las especies como *Tephrosia*, *Cajanus* y *Canavalia* para usos por más tiempo, la utilización de la *Tithonia* puede ser interesante, por el nivel de K en su biomasa, que suple la demanda de este nutriente en el cultivo del maíz; pero en ambos casos, los niveles de P resina serán determinantes para la mayor sostenibilidad del sistema con menores ingresos de N.

Los contenidos de N y P en la biomasa del maíz (Cuadro 5) no alcanzaron los niveles adecuados que este cultivo exige, que son 3.5-5.0% para el N y 0.3-0.5% para el P (Bertsch, 1995). Por lo tanto, las especies usadas como abono verde en el estudio, no tuvieron suficiente impacto en incrementar y/o mantener por si mismas la fertilidad de los suelos, en relación a estos dos nutrientes.

Con el K, la *Tithonia* proporcionó un nivel adecuado al maíz, confirmando su eficiencia para suplir este elemento a través de su biomasa. Para los niveles de Ca y Mg, la biomasa de maíz mostró sus contenidos dentro del ámbito adecuado para estos nutrientes, evidenciado por el aporte dado en Ca y Mg en la biomasa incorporada por estas especies (Cuadro 6).

Cuadro 5. Contenido de nutrientes en la materia seca del maíz (%), después de la aplicación de biomasa de las especies usadas como abono verde

Nutrientes (%)	Tipos de Suelos	Especies			
		Tephrosia	Cajanus	Canavalia	Tithonia
N	Ultisol-Grecia	0.99 A* b**	1.04 A ab	1.06 A a	1.03 A a
	Molisol	1.34 A a	1.15 A a	1.40 A a	1.31 A a
	Ultisol-San Isidro	0.90 B b	0.95 AB b	1.22 AB a	1.31 A a
	Andisol-Orieta	1.25 A a	1.12 A a	1.26 A a	1.12 A a
P	Ultisol-Grecia	0.17 AB a	0.16 B a	0.18 A a	0.18 A a
	Molisol	0.10 A b	0.10 A b	0.09 A b	0.09 A b
	Ultisol-San Isidro	0.08 A b	0.08 A b	0.08 A b	0.08 A b
	Andisol	0.09 A b	0.08 A b	0.08 A b	0.08 A b
K	Ultisol-Grecia	1.37 B a	1.26 B ab	1.35 B a	3.47 A ab
	Molisol	0.55 B b	0.67 B c	0.61 B b	3.19 A b
	Ultisol-San Isidro	1.11 B a	1.31 B a	1.65 B a	4.10 A a
	Andisol	0.46 B b	0.71 B bc	0.70 B b	3.85 A ab
Ca	Ultisol-Grecia	0.63 A b	0.58 A b	0.62 A b	0.66 A a
	Molisol	0.74 AB ab	0.71 AB ab	0.85 A a	0.60 B ab
	Ultisol-San Isidro	0.63 A b	0.72 A a	0.73 A ab	0.67 A a
	Andisol	0.84 A a	0.77 A a	0.82 A ab	0.50 B b
Mg	Ultisol-Grecia	0.44 A c	0.42 A c	0.47 A b	0.28 B b
	Molisol	0.85 AB a	0.75 B a	0.86 A a	0.42 C a
	Ultisol-San Isidro	0.44 A c	0.44 A c	0.46 A b	0.27 B b
	Andisol	0.68 A b	0.57 A b	0.66 A ab	0.29 B b

*Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente), letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente).

**Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

Cuadro 6. Cantidad de nutrientes (g) en la materia seca del maíz, después de la aplicación de biomasa de las especies usadas como abono verde

Nutrientes (%)	Tipos de Suelos	Especies			
		Tephrosia	Cajanus	Canavalia	Tithonia
N	Ultisol-Grecia	27.72 AB* b**	31.05 A a	32.06 A ab	24.52 B a
	Molisol	32.83 A a	28.75 A a	36.68 A a	35.23 A a
	Ultisol-San Isidro	19.25 AB c	18.48 B c	25.21 AB b	27.40 A a
	Andisol	24.95 A b	22.96 A b	25.62 A b	25.20 A a
P	Ultisol-Grecia	4.76 AB a	4.65 B a	5.44 A a	4.28 B a
	Molisol	2.58 A b	2.50 A b	2.43 A b	2.50 A b
	Ultisol-San Isidro	1.83 A c	1.66 A c	1.66 A b	1.78 A b
	Andisol	1.75 A c	1.64 A c	1.67 A b	1.80 A b
K	Ultisol-Grecia	38.43 B a	37.88 B a	40.76 B a	82.41 A a
	Molisol	13.42 B c	16.81 B b	16.08 B b	86.06 A a
	Ultisol-San Isidro	23.92 B b	25.60 B ab	34.29 B a	86.15 A a
	Andisol	9.30 B c	14.61 B b	14.12 B b	86.68 A a
Ca	Ultisol-Grecia	17.71 A ab	17.32 A a	18.68 A ab	15.68 A a
	Molisol	18.20 AB a	17.75 B a	22.31 A a	16.33 B a
	Ultisol-San Isidro	13.54 A b	14.00 A b	15.10 A b	14.07 A ab
	Andisol	16.75 A ab	15.84 A ab	16.50 A b	11.20 B b
Mg	Ultisol-Grecia	12.46 A b	12.75 A b	14.22 A b	6.77 B b
	Molisol	20.89 AB a	18.69 B a	22.44 A a	11.27 C a
	Ultisol-San Isidro	9.41 A c	8.63 A c	9.60 A c	5.62 B b
	Andisol	13.55 A b	11.64 A b	13.42 A bc	6.52 B b

*Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente), letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente).

**Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

Efecto de los tratamientos sobre la disponibilidad de nutrientes en los suelos estudiados

En el análisis química de los suelos después del corte del maíz (Cuadro 7), los niveles de P no presentaron una gran diferencia, en comparación con los niveles de disponibilidad del P al inicio del experimento. No hubo gran diferencia entre los suelos, sin embargo el Ultisol-Grecia continuó con alto nivel de P total entre todas las especies (promedio de 20.91 mg l^{-1}).

En el caso del K, hubo un aumento de su nivel en todos los suelos, cuando se les adicionó la biomasa de *Tithonia*, llegando a superar cinco veces su contenido en el Andisol (de 0.05 a $0.28 \text{ cmol}^+ \text{ l}^{-1}$). La biomasa de esta especie es reconocida por suplir efectivamente la demanda de K y de ese modo puede ayudar a superar la deficiencia de K, aumentando el rendimiento del cultivo (Jama *et al.*, 2000).

Los niveles de Ca presentaron un aumento en relación a su status al inicio del experimento, para todos los suelos, principalmente para el Ultisol-San Isidro (de $1.84 \text{ cmol}^+ \text{ l}^{-1}$ a un nivel superior al $2 \text{ cmol}^+ \text{ l}^{-1}$) y para el Andisol (de $1.11 \text{ cmol}^+ \text{ l}^{-1}$ a un nivel superior al $1.4 \text{ cmol}^+ \text{ l}^{-1}$). Lo mismo ocurrió con el nivel de Mg, aún en el Molisol no hay logros de aumento de este elemento, en relación al inicio del experimento (Cuadro 7).

Luego hay que considerar que podría haberse registrado una disminución de los nutrientes en las formas disponibles, debido a que gran parte de estos nutrientes fueron tomados por el maíz.

Cuadro 7. Análisis química de los suelos después de la cosecha del maíz

Variables	Suelos	Especies			
		Tephrosia	Cajanus	Canavalia	Tithonia
P mg/l	Ultisol-Grecia	22.45 A* a**	21.00 A a	19.20 A a	21.00 A a
	Molisol	2.62 B bc	2.42 B b	3.12 A b	3.22 A b
	Ultisol-San Isidro	3.58 A b	3.12 A b	3.30 A b	3.55 A b
	Andisol	1.35 A c	1.22 A b	1.62 A b	1.80 A b
K cmol(+)/l	Ultisol-Grecia	0.05 B a (0.04)***	0.06 B a (0.05)	0.06 B a (0.05)	0.27 A a (0.21)
	Molisol	0.06 B a (0.05)	0.06 B a (0.05)	0.07 B a (0.05)	0.15 A a (0.12)
	Ultisol-San Isidro	0.03 B b (0.02)	0.03 B b (0.02)	0.05 B b (0.04)	0.38 A a (0.30)
	Andisol	0.04 B ab (0.03)	0.04 B ab (0.03)	0.06 B a (0.05)	0.28 A a (0.22)
Ca cmol(+)/l	Ultisol-Grecia	4.89 A b (1.95)	4.88 A b (1.95)	4.77 A b (1.91)	4.69 A b (1.88)
	Molisol	15.67 A a (6.27)	14.72 A a (5.89)	15.42 A a (6.17)	15.12 A a (6.05)
	Ultisol-San Isidro	2.18 A c (0.87)	2.12 A c (0.85)	2.25 A c (0.90)	2.24 A c (0.89)
	Andisol	1.49 C c (0.59)	1.74 B c (0.70)	1.81 A c (0.72)	1.71 B c (0.68)
Mg cmol(+)/l	Ultisol-Grecia	0.70 B b (0.28)	0.63 B b (0.15)	0.72 B b (0.17)	1.02 A b (0.24)
	Molisol	6.97 A a (1.67)	6.40 A a (1.53)	6.70 A a (1.61)	7.00 A a (1.68)
	Ultisol-San Isidro	0.32 B b (0.07)	0.24 B b (0.06)	0.43 B b (0.10)	0.64 A b (0.15)
	Andisol	0.20 C b (0.05)	0.32 B b (0.07)	0.38 B b (0.09)	0.74 A b (0.18)

*Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente), letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente).

**Medias seguidas de la misma letra no difieren entre si ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

()***Niveles de nutrientes en g maceta⁻¹.

Efecto de los tratamientos en las fracciones del P

El P resina es directamente cambiable con la solución del suelo y el $P_i NaHCO_3$ constituye el P adsorbido débilmente, estas dos fracciones representan el P_i lábil. Los suelos Ultisol-Grecia y Molisol presentaron niveles satisfactorios del P_i lábil (Cuadro 8). Sin embargo, en los suelos Andisol y Ultisol-San Isidro, aún sumando estas dos fracciones de P fácilmente disponible, no cumpliría en la demanda del P por un cultivo, a pesar de las adiciones de los abonos verdes.

El $P_o NaHCO_3$ contiene compuestos lábiles, que son fácilmente mineralizables para formar parte en el P disponible para las plantas. El contenido de P en esta fracción en el Andisol fue superior a todos los otros suelos (6 veces mayor que el Ultisol-San Isidro).

El $P_i NaOH$ aumenta su presencia con el aumento de la meteorización del suelo, debido al aumento de la formación de óxidos de Fe y de Al y la sorción del P. El $P_o NaOH$ representa una lenta fuente de reserva de P, la cual es un importante fuente de P_o mineralizable dentro de un intervalo de 2 a 10 años en los suelos tropicales. En los suelos Andisol y Ultisol-San Isidro, las fracciones orgánicas se presentaron superior 2 a 3 veces en comparación con su fracción inorgánica, esto indica la importancia de esta fuente de P para los microorganismos del suelo, especialmente cuando el P_i lábil es bajo, como es el caso de estos suelos (Cuadro 8).

El $P_i HCl$ representa el P ligado a compuestos de fosfatos de calcio y comprende una gran porción del P_i total en los suelos jóvenes, pero son relativamente sin importancia en los suelos altamente meteorizados y lavados, como en nuestro caso. El Andisol fue el suelo que presentó el mayor nivel de P ligado a calcio (Cuadro 8). Esto puede ser debido a su característica de gran retención de P.

Se observó que más del 85% del contenido total del P está en las fracciones indisponibles de P (por lo menos a corto plazo), lo que lleva a considerar estas fracciones como muy importantes en este estudio.

Las especies usadas como abono verde no presentaron efecto significativo en las fracciones de P al final del experimento. La razón podría haber sido el período de incubación de 60 días, insuficiente para proporcionar cambios representativos en las fracciones de P (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultados del fraccionamiento del P, al final del experimento

Fracciones de P mg kg ⁻¹	Suelos				Especies Prueba F
	Ultisol-Grecia	Molisol	Andisol	Ultisol-San Isidro	
Pi resina	18.52 a*	7.72 b	0.65 c	0.42 c	ns**
Pi NaHCO ₃	100.38 a	11.85 b	9.58 b	4.58 c	ns
Po NaHCO ₃	38.90 b	46.72 b	81.15 a	13.78 c	ns
Pi NaOH	498.75 a	87.88 c	320.25 b	56.15 d	ns
Po NaOH	231.50 b	206.25 b	969.00 a	114.00 c	ns
Pi HCl	23.32 b	32.92 b	139.50 a	0.95 c	ns
P residual	468.00 c	657.25 b	823.50 a	232.25 d	ns
Suma Fracciones	1379.37	1050.59	2343.63	422.13	

*Medias seguidas de la misma letra no difieren entre si ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

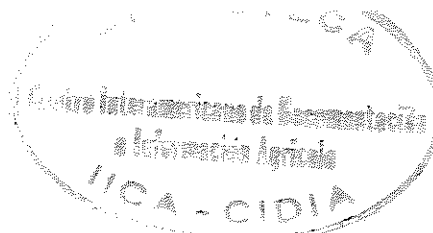
**ns = no significativo ($P > 0.05$).

CONCLUSIONES

a) En el grupo de suelos usados en este estudio, la adición de abonos verdes in situ, afecta favorablemente la productividad de los cultivos subsecuentes, debido a la calidad del material adicionado. Y en este caso, *Tephrosia* y *Canavalia* se mostraron más promisorias, principalmente para el reciclaje de N, P y Ca. Para el K, *Tithonia* se mostró más promisorio.

b). Para mejorar la disponibilidad del P en estos suelos se detectó que el cultivo de leguminosas con alta calidad de residuos como *Tephrosia* resultan ser los más idóneos a corto plazo. Lo que puede permitir la disminución del P a ser adicionado, pero que debe ser confirmado con experimentos de más largo plazo.

c) Para mayor eficiencia del sistema se debe dar preferencia a la combinación de abonos verdes con alta calidad de residuos con grande producción de materia seca, alcanzada por medio del aumento de la densidad de las especies en el campo.



LITERATURA CITADA

- Ae, N; Arihara, J; Okada, K; Yoshihara, T; Johansen, C. 1990. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian Subcontinent. *Science*. 248: 477-480.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR. 157 p.
- Bornemiza, E. et al, 1979. Organic Carbon Determination by the Walkley Black and dry combustion methods in surface soils and andept profiles from Costa Rica. *Soil Sci. Soc. Amer. Jour.* 43: 78-83.
- Defoer, T; Budelman, A; Toulmin, C; Carter, SE. 2000. Building common knowledge. Participatory learning and action research (Part 1). In Defoer, T; Budelman, A. (eds). *Managing soil fertility in the tropics. A Resource Guide for participatory learning and action research.* Amsterdam, The Netherlands: Royal Tropical Institute. 208 p.
- Díaz-Romeu, R; Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, CR. 68 p.
- Hedley, MJ; Stewart, JWB; Chauhan, BS. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Am. J.* 46: 970-976.
- Hernández, DL; Siegert, G; Rodríguez, JV. 1986. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1460-1462.
- Huz, M de J. 1994. El uso de la *Canavalia ensiformis* y otras leguminosas como coberturas muertas en la agricultura Yacateca. In Thurton, HD; Smith, M; Abawi, G; Kears, S. eds. *Tapado, los sistemas de siembra con cobertura.* p. 217-219.
- Jama, B; Palm, CA; Buresh, RJ; Niang, A; Gachengo, C; Nziguheba, G; Amadalo, B. 2000. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. *Agroforestry Systems* 49: 201-221.
- Jiménez, O.F. 1994. Resumen acumulado de datos agroclimáticos. CATIE. Turrialba, Costa Rica. s.p. (Mimeografiado).
- Jones, J.B.; Case V. Soil testing and Plant Analysis. SSSA Book Series 3. 3rd Ed. Wisconsin:1990.p.414).
- Lodoen, D. 1999. Two Agroforestry innovations for richer soils and bountiful harvests. *Agroforestry Today.* Jan-Jun p. 22-23.
- Mills, HA; Jones. JB. 1996. *Plant Analysis Handbook II.* MicroMacro Publishing, Georgia,U.S.A.

- Nelson, DW; Sommer, LE. 1982. Total Carbon and Organic Matter. In A.L. Ed. Methods of Soil Analysis Chemical and Microbiological Properties. 2nd. Ed. Agronomy Series No.9, Part 2, pp 539-594.
- Nziguheba, G; Palm, CA; Buresh, RJ; Smithson, PC. 1998. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. *Plant and Soil* 198: 159-168.
- Olsen, SR; Sommers, LE. 1982. Phosphorous, et.al. Eds. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd. Ed. AASA. Madison, Wisconsin. pp. 403-430.
- Otani, T; Ae, N. 1996. Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. I. Screening of crops for efficient P uptake. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42(1): 155-163.
- Otani, T; Ae, N; Tanaka, H. 1996. Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. II. Significance of organic acids in root exudates of pigeonpea. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42(3): 553-560.
- Rao, MR; Niang, A; Kwesiga, F; Duguma, B; Franzel, S; Jama, B; Buresh, R. 1998. Soil fertility replenishment in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Today*. April-June: 3-8.
- Soil Survey Staff. 1999. Keys to Soil Taxonomy. 8 ed. Blacksburg, EUA, 600 p.

CAPÍTULO 3

ARTÍCULO 2

EVALUACIÓN PARTICIPATIVA DEL USO DE LEGUMINOSAS COMO COBERTURA ASOCIADAS CON EL CULTIVO DE MAÍZ

Alana Aguiar¹, Dr. Donald Kass²

¹M.Sc. en Agroforestería, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

²Profesor/Investigador, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Palabras claves: Investigación Participativa, leguminosas, cobertura, asocio, maíz.

Resumen

Un estudio fue conducido en el asentamiento Río Guayabo, Turrialba, CR, para validar la efectividad de dos leguminosas en asocio con maíz. Las especies usadas fueron guandul (*Cajanus cajan*) y canavalia (*Canavalia ensiformis*), se usó observaciones de campo y un cuestionario para evaluar la apreciación de los productores sobre esta técnica de asocio. Fue utilizado un diseño de bloques completos al azar, con siete fincas como las repeticiones. Los tratamientos fueron: 1) Maíz + Guandul (porte alto), 2) Maíz + Guandul (porte bajo), 3) Maíz + Canavalia, 4) Maíz (testigo). Como primera preferencia, el maíz + guandul de porte alto fue él escogido, con la canavalia como segunda preferencia. El maíz + guandul porte bajo fue el de menor preferencia. Todos los productores sembrarían nuevamente sus cultivos asociados con leguminosas, aún con cambios en las parcelas de los tratamientos. Para los productores, este tipo de trabajo fue una buena experiencia para el manejo de malezas. El número de mazorcas en los tratamientos no presentó diferencia significativa entre las fincas en estudio. Los productores se mostraron muy receptivos a la técnica de cultivo presentada.

INTRODUCCIÓN

Existe la necesidad de continuar en el desarrollo de una agricultura viable y de sistemas de cultivo para las tierras de laderas de los trópicos, particularmente en áreas con suelos de fertilidad marginal, para que puedan asegurar una producción sostenible con un mínimo de degradación ambiental. En la conservación de los suelos, una práctica alternativa es el uso de leguminosas como especies de cobertura.

La importancia del asocio de leguminosas con el cultivo de maíz en regiones altamente pobladas es muy reconocida, debido al efecto de la estabilidad de asocio en la seguridad alimentaria, permitiendo alcanzar una mayor eficiencia de uso del suelo. El sector

campesino se ve forzado a servirse de los recursos naturales disponibles y de conocimientos locales para poder adaptar los sistemas de producción al cambio de las condiciones.

En México, como en otros países de la región, se han ejecutado muchos proyectos, con los campesinos, que promueven prácticas sostenibles para el uso de la tierra, como la utilización de cultivos de cobertura (*Mucuna pruriens* y *Canavalia ensiformis*), asociados con maíz, donde los campesinos involucrados adoptaron el concepto de cultivos de cobertura para el control de malezas y protección del suelo (Gündel, 1999).

El *Cajanus* es una de las especies promisorias para uso en asocio con maíz, donde la tierra es escasa, porque continua su crecimiento aún después de la cosecha del maíz y puede producir, potencialmente, una gran cantidad de biomasa y ha mostrado tener una considerable ventaja para uso en sistemas de cultivos de alta densidad.

La *Canavalia* también se ha utilizado como cultivo asociado con el maíz para aminorar la erosión hídrica en suelos con alta pendiente cuando es sembrada en franjas en contorno. Y contra la erosión eólica, aprovechando su resistencia a la sequía y que por su ciclo largo, esta planta puede permanecer más tiempo en el campo (Ramis *et al.*, 1994). Presenta un rápido crecimiento cuando compite con plantas invasoras, pues produce una excelente cobertura al suelo, aunado a un efecto supresor alelopático, principalmente en el difícil control del coyolillo (*Cyperus rotundus*) (Quirós *et al.*, 1998).

Hay una gran aceptación por una investigación integrada a las herramientas de extensión rural, a través de procesos de investigación básica, para lo cual es requerida una amplia divulgación en finca (Snapp *et al.*, 1998). La Evaluación Participativa es un proyecto de trabajo donde las comunidades y/o beneficiarios toman la dirección. Ellos son estimulados y apoyados en la responsabilidad y en el control planeados, realizando y reportando los resultados de la evaluación. Cuando los productores se ven involucrados a través del proceso de evaluación, es más probable que medidas correctivas sean implantadas en el futuro, porque ellas son descubiertas y entendidas por la comunidad (Davis-Case, 1990).

En el asentamiento Rio Guayabo, el principal problema de uso de la tierra son la erosión, drenaje y la productividad baja de los cultivos. Estos problemas están relacionados a

factores físicos y socio-económicos (Shin, 2000). Para enfrentar estos problemas, la introducción de técnicas como el asocio de maíz con leguminosas en fincas de pequeños productores ha atraído considerable atención recientemente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio fue conducido en el asentamiento Guayabo, localizado en Turrialba, Costa Rica. Ubicado a 8 km de Turrialba, cuyas las coordenadas geográficas son: 83° 38' Longitud Oeste y 9° 56' Latitud Norte. La zona de vida corresponde a bosque muy húmedo premontano (Holdridge, 2000). Posee una altitud que varía de 560 a 630 m.s.n.m. El asentamiento tiene precipitación promedio anual entre 2000 a 4000 mm y una temperatura de 17 a 24°C. El área total del asentamiento es de 41.5 ha (IDA, 1999).

El asentamiento tiene una topografía irregular y ondulada. Los suelos, en general, son poco profundos con textura margosa y arcillosa. La pedregosidad es alta en la superficie y en el perfil y los suelos son muy susceptibles a la erosión, debido a su pendiente (mayor que 20%). Además, esta región tiene gran inestabilidad geológica relacionada por los efectos de terremotos y actividad volcánica (IDA (1999).

Procedimiento y diseño experimental

Las leguminosas utilizadas fueron guandul (*Cajanus cajan*) y canavalia (*Canavalia ensiformis*). Las leguminosas se sembraron 15 días después de la siembra del maíz (híbrido H5) en surcos a lo largo de las hileras del maíz, distantes a 30 cm. Para validar la efectividad de guandul y de canavalia en asocio con maíz, fueron utilizadas observaciones en campo y un cuestionario para la evaluación participativa y el conteo del número de mazorcas en los tratamientos.

Los productores fueron seleccionados a partir de su disponibilidad e interés en participar en ese proyecto. Ellos evaluaron el ensayo, hicieron sus observaciones, sacaron conclusiones y dieron recomendaciones sobre la tecnología que se estuvo validando. Se utilizó las herramientas de captura de información de Obando y Mendoza (1997), donde fueron aplicadas preguntas orientadas al final del estudio.

El diseño experimental fue establecido en bloques al azar, con cuatro tratamientos y con siete fincas como las repeticiones. El área total de la unidad experimental fue de 40 m² (10 x 4 m) y el área útil fue de 16 m². Los tratamientos fueron:

- 1) Maíz + Guandul (variedad de porte alto);
- 2) Maíz + Guandul (variedad de porte bajo);
- 3) Maíz + Canavalia;
- 4) Maíz (testigo).

El modelo matemático usado fue es siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

donde:

- Y_{ij} = Variable de respuesta para el i -ésima repetición, bajo el j -ésimo tratamiento.
 μ = Media general del experimento
 β_i = Observación en el i -ésimo bloque
 τ_j = Efecto del j -ésimo tratamiento
 ε_{ij} = Error experimental

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan siguiendo la guía de preguntas orientadas:

1. ¿Cuál de las parcelas le gusta más? ¿Cuál es su segunda opción? ¿Cuál le gusta menos?
¿Por qué?

Se detectó que el maíz asociado con el guandul de porte alto obtuvo la mayor preferencia con 57%, dejando como segunda opción el maíz asociado con la Canavalia. Se observa que la parcela que menos le gustó fue la del maíz asociado con el guandul de porte bajo. Sobre esta parcela, ellos opinaron que el guandul de porte bajo es muy delicado en su manejo, aún presentando una rápida producción, en comparación con las otras leguminosas del estudio (Figuras 1, 2,3).

PRIMERA PREFERENCIA

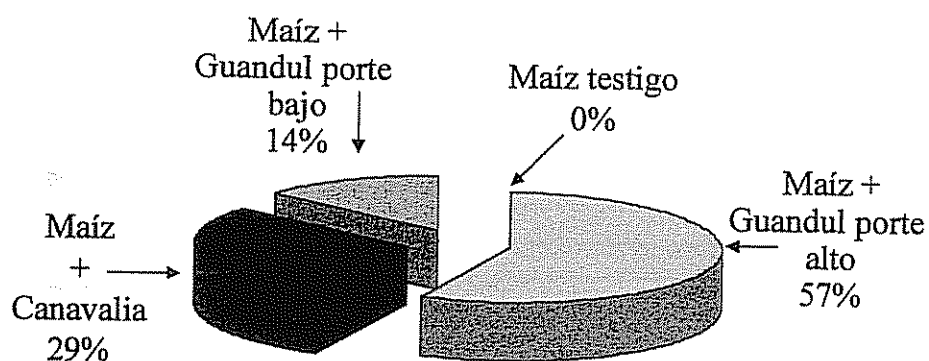


Figura 1. Aceptación expresada por los productores sobre las leguminosas asociadas al maíz (Primera preferencia).

Las razones de la preferencia por el guandul de porte alto fueron las siguientes:

- Mayor cobertura del suelo;
- Mejor combate a las malezas;
- Gran producción de biomasa;
- Aporte de nutrientes;
- Sirve como alimento humano y animal.

SEGUNDA PREFERENCIA

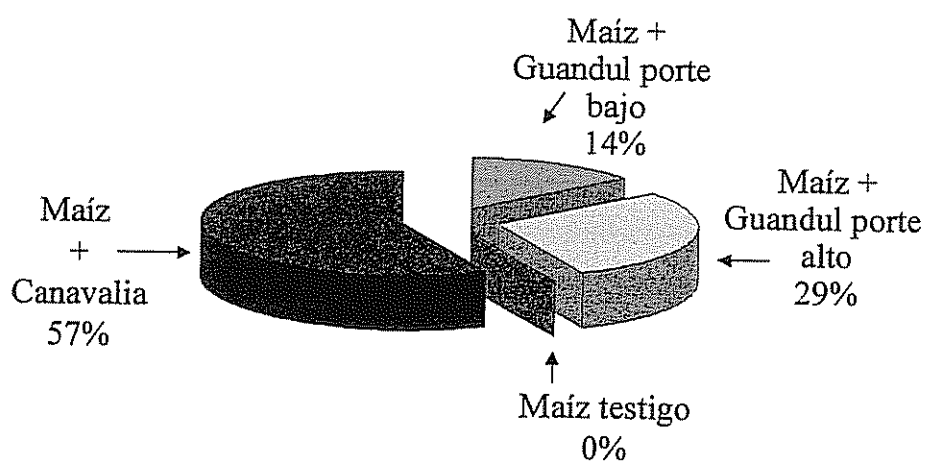


Figura 2. Aceptación expresada por los productores sobre las leguminosas asociadas al maíz (Segunda preferencia).

Los criterios predominantes para la selección de la segunda opción que corresponde a la parcela de maíz asociado con Canavalia fueron:

- Rápido crecimiento de la Canavalia;
- La Canavalia es agresiva, hace competencia con las malezas por espacio;
- La Canavalia alcanza una buena cobertura del suelo;
- Combate a las malezas;
- No afecta los rendimientos del maíz, debido a su menor competencia por luz con el cultivo principal
- Protección del suelo, por su buena cobertura del terreno.

MENOR PREFERENCIA

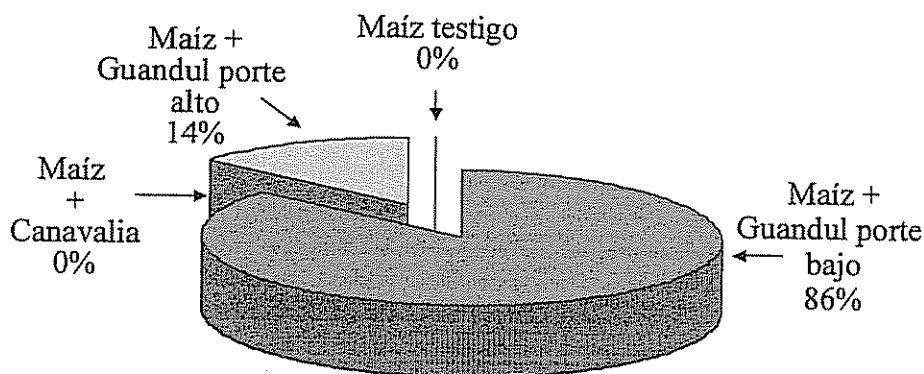


Figura 3. Aceptación expresada por los productores de las leguminosas asociadas al maíz (Menor preferencia).

2. ¿Hubiera sembrado usted estas parcelas de otra forma?

Un 29% de los productores expresaron que encontraban bien las parcelas con leguminosas y no harían ningún cambio. Un 14% sembraría las leguminosas de acuerdo con la pendiente de su terreno. Otro 14% sembraría el guandul de porte bajo al mismo tiempo que el maíz y otro grupo con el mismo porcentaje haría el tratamiento de las semillas de este guandul, debido a que este presentó problemas con hongos. Un 14% hubieran hecho cambios en las parcelas: sembrar cuatro surcos de maíz en combinación con solamente uno de canavalia.

El 14% restante de los productores evaluados sembraría solamente maíz asociado con canavalia.

3. ¿Sembraría sus cultivos asociados con leguminosas?

Todos respondieron que sembrarían nuevamente sus cultivos asociados con leguminosas.

4. ¿Qué opina sobre estos trabajos?

La mayoría de los productores opinó que es una buena experiencia para un sistema nuevo de manejo y les gustaría seguir con el sistema. Para ellos, las leguminosas compensan los nutrientes que el maíz necesita. El estudio contribuyó en el aprendizaje del manejo de malezas, usando coberturas vivas.

Número de mazorcas en los tratamientos

Con el conteo de las mazorcas de maíz producidas por cada finca evaluada, no se obtuvo diferencia significativa entre los tratamientos ($P > 0.05$). El guandul de porte alto fue el tratamiento que produjo mayor número de mazorcas en todas las fincas y el maíz testigo fue el que produjo la menor cantidad (Figura 4).

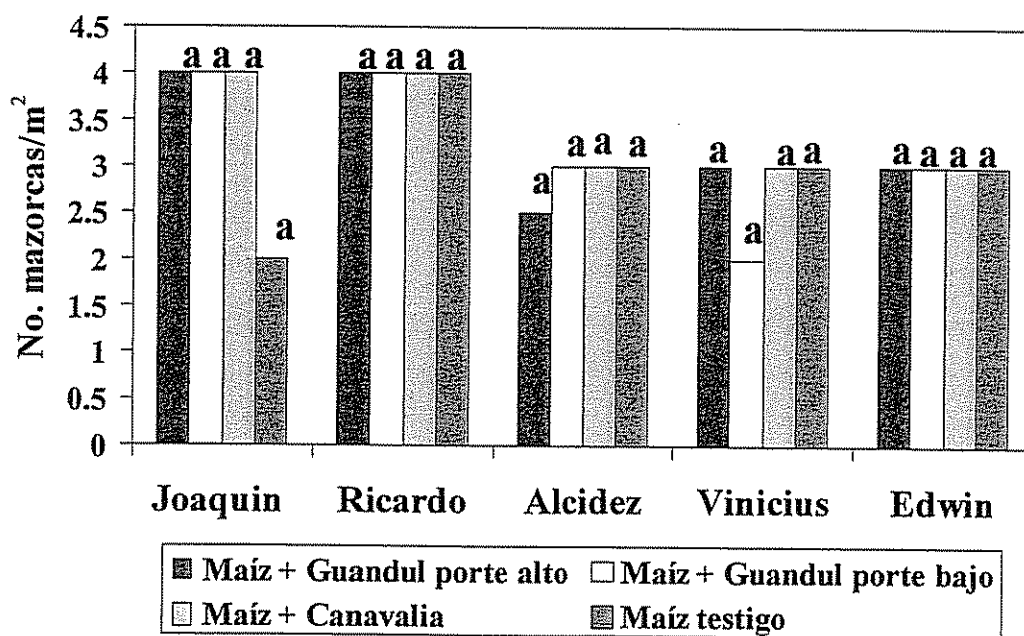


Figura 4. Número de mazorcas por m^2 en cada finca

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La erosión es uno de los problemas principales del Asentamiento Río Guayabo, además de la baja productividad y de los problemas socio-económicos. En el control de la erosión, hubo una tendencia por los productores hacia la utilización de Canavalia sola como cultivo de cobertura, aunque ella haya sido considerada como segunda opción, donde esta especie fue sembrada, el suelo se presentaba con mejor estructura, según la visión de los productores. También esta preferencia se debió a la menos competencia por luz con el maíz, con respecto al asocio guandul de porte alto y maíz. Los productores de Río Guayabo demostraron estar conscientes del problema del deterioro del suelo por erosión y fueron muy receptivos a la técnica presentada.

En cuanto a la baja productividad de los cultivos, el uso de leguminosas se presenta provechoso, por generar una fuente adicional de la canasta familiar, aún que sea solamente para consumo propio. Fue detectado un interés por los diversos usos que poseen estas leguminosas, como coberturas, abono verde y como alimento humano y animal, donde el guandul se destacó, por presentar mayor utilidad, principalmente como alimento humano, uso de los granos, y alimento animal, como forraje.

Además los productores presentaron el interés de generar un arreglo de las leguminosas en el campo, que fuera más aceptable a su realidad, lo que evidencia su aceptación para el establecimiento de leguminosas en sus fincas. Los productores están interesados en un mejor uso del suelo, pero les falta conocimiento sobre este tipo de técnicas o una asistencia técnica capacitada, para aminorar errores de manejo en sus fincas, porque algunos de estos pueden ser influenciados por técnicas de manejo del suelo erróneas. Por esto, hay que dar seguimiento en este tipo de trabajo participativo y el investigador debe tener una actitud responsable.

Y por último, para los técnicos y sobre todo los agricultores, el valor de cualquier experimento particular, en un determinado año, puede parecer poco, mientras que el valor de la experiencia acumulada es de mayor trascendencia.

LITERATURA CITADA

- Davis-Case, D. 1990. The community's toolbox: the idea, methods and tools for participatory assessment, monitoring and valuation in community forestry. Bangkok, Thailand, FAO.
- Gündel, S. 1999. Innovación, desarrollo y difusión participativas: adopción y adaptación de leguminosas introducidas en el sistema agrícola tradicional de roza – tumba y quema en Yucatán, México. 73 p.
- Holdridge, LR. 2000. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216p.
- Quirós, E; Meneses, D; Cervantes, C; Urbina, L. 1998. Abonos verdes – una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo. PRIAG – Programa Regional de reforzamiento a la investigación agronómica sobre los granos en Centroamérica. 36 p.
- Ramis, C; Viera, J; Vargas, R. 1994. Un Nuevo cultivo: canavalia. UCV – Fundación Polar. 93 p.
- Shin, JH. 2000. Participatory research for validation and dissemination of Agroforestry technologies to small farmers. Thesis Mg. Sci. Turrialba, Costa Rica. 73 p.
- Snapp, SS; Mafongoya, PL; Waddington, S. 1998. Organic matter technologies for integrated nutrient management in smallholder cropping systems of southern Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71: 185-200.

CAPITULO 4

ARTÍCULO 3

**FAGODISUASION Y OVIDISUASIÓN CAUSADAS POR TRES EXTRACTOS
VEGETALES SOBRE LOS ADULTOS DE *Bemisia tabaci***

Alana Aguiar¹, Donald C. Kass², Gerardo A. Mora³ y Luko Hilje⁴

¹ M.Sc. en Agroforestería, CATIE, Turrialba, Costa Rica, ² Área de Agroforestería, CATIE, Turrialba, Costa Rica, ³ Centro de Investigaciones en Productos Naturales (CIPRONA) y Facultad de Farmacia, Universidad de Costa Rica, ⁴ Unidad de Fitoprotección, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Palabras claves: *Bemisia tabaci*, Mosca blanca, Fagodisuasión, Ovidisuasión, Extractos vegetales.

Resumen

En Turrialba, Costa Rica, se evaluó la fago y ovidisuasión causadas por extractos vegetales de *Canavalia ensiformis*, *Tephrosia vogelii* y *Tithonia diversifolia* sobre adultos de *Bemisia tabaci*, en condiciones de invernadero. Se hicieron dos tipos de experimentos, uno de escogencia restringida y otro de escogencia irrestricta. En el de escogencia restringida, cada extracto se evaluó en cuatro dosis (0,1, 0,5, 1,0 y 1,5% v/v), y se comparó con un tratamiento testigo (aceite mineral Volck 100 Neutral). Se asperjaron plantas de tomate, colocadas dentro de jaulas de manga, donde se liberaron 50 adultos de *B. tabaci* 30 min después. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, y cada experimento se hizo dos veces. Para determinar si existía fagodisuasión, se utilizó el número de adultos y huevos de *B. tabaci* a las 48 h y para la mortalidad se contó el número total de adultos vivos en ese intervalo. Todos los extractos causaron fago y/o ovidisuasión a las dos dosis más altas (1,0 y 1,5%). En el experimento de escogencia irrestricta, se utilizaron ambas dosis de cada extracto, y se compararon con dos testigos (agua y Volck), mediante un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Se registró el número de adultos posados en las hojas asperjadas, a 1, 2, 8 y 15 días después de la aplicación del extracto, así como el número de ninfas a los 15 días. Ninguno de los extractos causó fago u ovidisuasión, a diferencia del Volck, lo cual posiblemente se debió a la volatilización de los principios disuasivos en el invernadero.

INTRODUCCION

La mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) afecta al menos 23 cultivos en el continente americano, entre los que destacan el tomate y frijol, que son severamente afectados por varios geminivirus transmitidos por ella (Hilje 1996). Para ambos cultivos es común que todas las plantas se infecten, aunque se usen insecticidas y las densidades del vector sean bajas. Por ejemplo, en tomate ello sucede con apenas 0,3 adultos/planta, en promedio (Hilje 2001) y, por lo tanto, se debería evitar que *B. tabaci* inocule los virus en la planta cuando ésta es más susceptible (período crítico), es decir, durante las primeras seis semanas después de la germinación (Schuster *et al.* 1996).

Ello podría lograrse mediante la aspersión de sustancias repelentes, complementadas con otras prácticas, dentro de la noción del manejo integrado de plagas (Hilje 1993). Hasta ahora se ha documentado o sugerido que varias sustancias, incluyendo aceites vegetales, aceites minerales e insecticidas sintéticos (Veierov 1996), así como extractos vegetales (Coudriet *et al.* 1985, Gómez *et al.* 1997b, Nardo *et al.* 1997, Hilje y Stansly 2001), pueden repeler o disuadir a *B. tabaci* o a otros Aleyrodidae. Sin embargo, ninguna parece hacerlo con suficiente eficacia, lo cual justifica profundizar en su búsqueda, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar la fago y ovidisuasión de tres extractos vegetales crudos, de las familias Fabaceae y Compositae (Asteraceae), sobre los adultos de *B. tabaci*.

MATERIALES Y METODOS

Localización. Los experimentos se realizaron en un invernadero de la Unidad de Fitoprotección, en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica. Este lugar está a 9°52'N y 83°38'O y 640 msnm, donde las variables climáticas son de 22°C, 2479 mm, 87% HR y 11,82 uJ/m², en promedio (Jiménez 1994).

Sustancias evaluadas. Se evaluó la actividad fago u ovidisuasiva de los siguientes tres extractos metanólicos de follaje: canavalia (*Canavalia ensiformis*, Fabaceae), tefrosia

(*Tephrosia vogelii*, Fabaceae) y titonia (*Tithonia diversifolia*, Asteraceae). Todas son especies silvestres, y existen referencias anecdóticas de su efecto sobre insectos y otros animales invertebrados. Las muestras se recolectaron en San Juan Sur, Turrialba.

La preparación de los extractos se realizó en el Centro de Investigaciones en Productos Naturales (CIPRONA), de la Universidad de Costa Rica. El follaje se secó en un horno de convección (Mem Mert ®), a 40°C. Se tomó una muestra de 100 g de follaje, molido, y se maceró en metanol al 70% por 24 h, a temperatura ambiente. La disolución obtenida se filtró y el material sólido se extrajo de nuevo con metanol al 70%, para aumentar el rendimiento de la extracción. La disolución obtenida se filtró a través de papel Whatman No. 4. Los extractos se mezclaron y concentraron al vacío, en un baño de agua a 40°C, utilizando un evaporador rotatorio. Posteriormente, el residuo se liofilizó, para eliminar el agua remanente y evaluar la masa extraída.

Tratamientos y diseño experimental. Se efectuaron dos tipos de experimentos, uno de *escogencia restringida* (dos opciones: planta tratada con una sola concentración vs. testigo, en un espacio cerrado) y otro de *escogencia irrestricta* (plantas tratadas con varias concentraciones vs. testigos, en espacio abierto). En ambos se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar.

Escogencia restringida. Cada extracto se evaluó en cuatro dosis (0,1, 0,5, 1,0 y 1,5% v/v), para cuya preparación se pesó la cantidad del extracto en polvo (0,1, 0,5, 1,0 o 1,5 g) en 100 ml de agua. Cada uno se evaluó por separado, y se le comparó con un tratamiento testigo, el aceite mineral Volck 100 Neutral (1,5% v/v) (Chevron Chemical Co., California), de repelencia demostrada (Hilje y Stansly 1999). En todos los tratamientos, las sustancias se mezclaron con un agente tensoactivo (Citowett, 0,025%) (BASF, Alemania), para mejorar su adherencia al follaje. Cada experimento se repitió una vez, para obtener mayor confiabilidad. La preparación de las disoluciones se hizo el mismo día de su aplicación, en agua destilada.

Escogencia irrestricta. Para este experimento se seleccionaron las dosis más eficaces (1,0 y 1,5%) en los experimentos previos. Se realizó en el invernadero, en macetas descubiertas, para exponer a las plantas a la colonia de *B. tabaci* allí presente. Las macetas, cada una con una planta de tomate, se colocaron sobre una mesa rodeada por plantas infestadas por ninfas y adultos del insecto. Dentro de cada bloque, cada planta recibió el tratamiento respectivo (las dosis pertinentes de cada extracto), incluyendo un testigo relativo (Volck) y uno absoluto (agua). Se colocaron sobre la mesa 30 min después de asperjadas. En este caso, la preparación de las disoluciones también se hizo el mismo día de su aplicación, en agua destilada.

Plantas y aspersión. Los extractos se asperjaron en plantas de tomate (var. Hayslip) con tres hojas verdaderas, mediante un atomizador DeVilbiss 15, de punta ajustable (The DeVilbiss, Somerset, PA, EE.UU.), conectado a una bomba de vacío (Cubillo y Hilje 1996), con una presión constante de 10 kg/cm². Las plantas de cada tratamiento se asperjaron en forma separada, en una sala para aplicaciones, para lo cual se colocaron sobre una mesa y se rociaron por el envés y el haz del follaje.

Para el experimento de escogencia restringida, las plantas se introdujeron, 30 min después de asperjadas, en jaulas de manga de 30 x 30 x 45 cm, las cuales tienen paredes de madera, malla fina y vidrio (Serra 1996); en cada caja se colocaron dos macetas, una asperjada con el tratamiento respectivo y la otra con agua destilada. Para el de escogencia irrestricta, las macetas que contenían las plantas se expusieron a los adultos de *B. tabaci* presentes en el invernadero.

Manipulación de los insectos. Los adultos de *B. tabaci*, de edad desconocida y sin sexar, se capturaron con un succionador manual, de una colonia criada en tomate y berenjena, en un invernadero. Para el experimento de escogencia restringida, dentro de cada jaula se liberaron 50 adultos.

VARIABLES DE RESPUESTA Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO. En el experimento de *escogencia restringida*, para determinar si existía *fagodisuasión* se utilizó como criterio el número de adultos de *B.*

tabaci posados sobre cada una de las tres plantas (tratada vs. testigo), 48 h después de aplicado cada extracto. Estos se contaron entre las 10-12 h, cuando la actividad del insecto es menor (Jovel 2000). El criterio para la *ovidisuasión* fue el número de huevos depositados en una hoja de cada planta, hasta las 48 h, lo cual se hizo con un estereoscopio. La *mortalidad* se determinó contando el número total de adultos vivos dentro de cada jaula, hasta las 48 h, y la comparación se hizo entre jaulas, independientemente de la planta donde estuvieran posados los adultos.

En el experimento de *escogencia irrestricta*, se registró el número de adultos posados en las hojas asperjadas, a 1, 2, 8 y 15 días después de aplicado cada extracto. El número de ninfas grandes (3° y 4° instar) se contó a los 15 días en una cuadrícula de 1 cm² de una de las dos hojas, utilizando un estereoscopio.

Análisis. Para determinar la fago u ovidisuasión, los números de adultos o huevos presentes en cada planta dentro de cada jaula se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA), y las medias de cada tratamiento se compararon mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0,05%, utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute 1985). Para determinar la mortalidad, el número total de adultos vivos en cada jaula (en ambas plantas) se sometieron a un ANDEVA, y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey. Para el análisis, cuando fue pertinente, los datos se transformaron a $\sqrt{(x+50)}$.

El modelo estadístico para los dos experimentos fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

donde:

- Y_{ij} = Variable de respuesta para el i -ésima repetición, bajo el j -ésimo tratamiento.
- μ = Media general del experimento
- β_i = Observación en el i -ésimo bloque
- τ_j = Efecto del j -ésimo tratamiento
- ε_{ij} = Error experimental

RESULTADOS

Escogencia restringida

Canavalia. En los dos experimentos, las plantas tratadas con el extracto de canavalia siempre tuvieron menos adultos de *B. tabaci* posados, pero las diferencias entre la planta tratada y sin tratar no siempre fueron significativas, mientras que con el Volck fueron muy grandes ($p < 0,01$), en todos los casos (Fig. 1, 2; Anexo 1,2). Aunque en el experimento I, dicho extracto no causó fagodisuasión a ninguna de las dosis ($p > 0,01$), en el experimento II lo hizo fuertemente ($p < 0,01$) a las dos dosis mayores (1,0 y 1,5%).

Por su parte, las plantas tratadas con el extracto casi siempre tuvieron menos huevos, pero las diferencias entre la planta tratada y sin tratar tampoco fueron significativas ($p > 0,01$), exceptuando las dosis igual o superior al 0,5% en el experimento II, que fueron muy grandes ($p < 0,01$) (Fig. 1, 2; Anexo 1 y 2); en el experimento I, las plantas tratadas con el Volck no difirieron de las no tratadas en cuanto a la cantidad de huevos (Fig. 2; Anexo 2).

En relación con la mortalidad, no hubo diferencias entre ningún tratamiento ($p > 0,01$) en el experimento I (Fig. 1; Anexo 1), mientras que en el experimento II solo hubo diferencias entre la dosis del 1,0% y el Volck (Fig. 2; Anexo 2).

Tefrosia. En ambos experimentos las plantas tratadas con el extracto de tefrosia siempre tuvieron menos adultos posados, pero las diferencias entre la planta tratada y sin tratar no siempre fueron significativas, mientras que con el Volck fueron muy grandes ($p < 0,01$) (Fig. 3, 4; Anexo 3,4). Aunque en el experimento I dicho extracto causó fagodisuasión en todas sus dosis (excepto al 0,5%), al igual que lo hizo el Volck ($p < 0,01$) (Fig. 3; Anexo 3), dicho fenómeno desapareció para la dosis de 0,1% en el experimento II (Fig. 4; Anexo 4), por lo que lo hizo solamente, y de manera muy fuerte ($p < 0,01$), a las dos dosis mayores (1,0 y 1,5%).

Las plantas tratadas con el extracto siempre tuvieron menos huevos, pero las diferencias entre la planta tratada y sin tratar no siempre fueron significativas ($p > 0,01$), exceptuando las dos dosis mayores (1,0 y 1,5%) en ambos experimentos, en que fueron muy grandes ($p < 0,01$), al igual que sucedió con el Volck (Fig. 3, 4; Anexo 3, 4).

En cuanto a la mortalidad, en ninguno de los experimentos hubo diferencias entre los tratamientos ($p > 0,01$) (Fig. 3, 4; Anexo 3, 4).

Titonia. En ambos experimentos, las plantas tratadas con el extracto de titonia siempre tuvieron menos adultos posados, pero las diferencias entre la planta tratada y sin tratar no siempre fueron significativas, mientras que con el Volck fueron muy grandes ($p < 0,01$) (Fig. 5, 6; Anexo 5, 6). Aunque en el experimento II dicho extracto no causó fagodisuasión a ninguna de las dosis ($p > 0,01$), en el experimento I lo hizo fuertemente ($p < 0,01$) a las dos dosis mayores (1,0 y 1,5%).

Las plantas tratadas con el extracto siempre tuvieron menos huevos, excepto a la dosis de 0,5% en el experimento II. No obstante, las diferencias entre la planta tratada y sin tratar no siempre fueron significativas ($p > 0,01$), exceptuando las dos dosis mayores (1,0 y 1,5%) en el experimento I, en que fueron muy grandes ($p < 0,01$). Las plantas tratadas con el Volck se diferenciaron fuertemente ($p < 0,01$) de las no tratadas, en ambos experimentos (Fig. 5, 6; Anexo 5,6).

En relación con la mortalidad, no hubo diferencias entre ningún tratamiento ($p > 0,01$) en ninguno de los experimentos (Fig. 5, 6; Anexo 5, 6).

Escogencia irrestricta

En el primer recuento de adultos posados, a las 24 h de asperjadas las sustancias, solamente el testigo relativo (Volck) mostró un fuerte efecto disuasivo ($p < 0,05$), con un promedio (11,50 adultos) muy contrastante con el testigo absoluto (agua) (107 adultos) (Cuadro 1,

Fig. 7; Anexo 7). El Volck fue cercanamente seguido por el extracto de tefrosia, a ambas concentraciones ($p > 0.05$), pero éstas, a su vez, no difirieron de los demás tratamientos, excepto de la titonia al 1%. Ninguna de las concentraciones de titonia ni canavalia difirieron ($p > 0.05$) del testigo absoluto.

Para el segundo recuento, a las 48 h, los números de adultos posados aumentaron en todos los tratamientos. Las diferencias entre el Volck y el testigo absoluto se acentuaron mucho (Cuadro 1, Fig. 7; Anexo 7), y los valores del Volck fueron cercanamente seguido por ambas concentraciones del extracto de tefrosia y la menor concentración de canavalia ($p > 0.05$). Sin embargo, ningún extracto, a ninguna de sus concentraciones, difirió ($p > 0.05$) del testigo absoluto.

Para el tercer recuento, una semana después, los números de adultos posados aumentaron aún más en todos los tratamientos. Las diferencias entre el Volck y el testigo absoluto no fueron significativas ($p > 0.05$), y solamente la mayor concentración de titonia y ambas de canavalia difirieron ($p < 0.05$) del Volck (Cuadro 1, Fig. 7; Anexo 7).

Para el cuarto recuento, dos semanas después, los números de adultos posados disminuyeron en todos los tratamientos. No hubo diferencias entre el Volck y ninguno de los tratamientos ($p > 0.05$), incluyendo al testigo absoluto, excepto la titonia al 1,5%, la cual no difirió de ninguno de los tratamientos ni del testigo absoluto.

Por su parte, la cantidad de ninfas difirió fuertemente ($p < 0,01$) entre el Volck y todos los tratamientos, incluyendo al testigo absoluto, y no hubo diferencias entre éste y todos los tratamientos con extractos ($p > 0.05$) (Cuadro 1, Fig. 8; Anexo 8).

Cuadro 1. Número promedio ($X \pm D.E$) de adultos de *B. tabaci* posados a los 1, 2, 8 y 15 días después de la aplicación de extractos vegetales, así como el número de ninfas a los 15 días, en el experimento de escogencia irrestricta.

Tratam	No. adultos				No. Ninfas
	1 día	2 días	8 días	15 días	
Volck	11,50 \pm 7,05 a*	36,25 \pm 12,63 a	239,00 \pm 29,36 a	102,75 \pm 16,01 a	188,00 \pm 73,94 a
Tef 1,0%	42,50 \pm 8,22 ab	134,75 \pm 25,32 ab	376,25 \pm 92,72 ab	126,00 \pm 18,67 ab	444,25 \pm 128,67 b
Tef 1,5%	45,75 \pm 9,84 ab	124,00 \pm 54,78 ab	422,75 \pm 147,44 ab	118,00 \pm 54,01 ab	575,75 \pm 171,39 b
Tit 1,0%	105,25 \pm 41,05 c	182,75 \pm 106,27 b	450,25 \pm 87,48 ab	125,00 \pm 31,80 ab	631,25 \pm 95,96 b
Tit 1,5%	67,75 \pm 17,40 bc	170,25 \pm 64,79 b	553,25 \pm 162,60 b	202,75 \pm 72,60 b	503,00 \pm 156,58 b
Can 1,0%	70,00 \pm 30,78 bc	149,00 \pm 60,02 ab	511,75 \pm 101,72 b	174,00 \pm 25,92 ab	580,50 \pm 25,03 b
Can 1,5%	84,75 \pm 25,46 bc	188,75 \pm 60,12 b	506,75 \pm 115,94 b	151,50 \pm 15,00 ab	605,00 \pm 152,54 b
Agua	107,00 \pm 22,70 c	235,75 \pm 81,44 b	342,00 \pm 83,71 ab	109,75 \pm 53,52 ab	596,50 \pm 16,01 b

* Las medias con la misma letra no difieren ($P < 0,05$), según la prueba de Tukey.

DISCUSION

Los extractos evaluados en estos experimentos se seleccionaron según la importancia de estas especies vegetales en varios sistemas agroforestales tropicales (Rao *et al.*, 1998; Lodoen, 1999; Jama *et al.*, 2000). Dichos sistemas representan alternativas viables para las comunidades rurales, principalmente de pequeños productores, que viven en áreas que poseen condiciones adversas de topografía, fertilidad del suelo y otras, en cuanto a satisfacer las necesidades elementales de alimentación y condiciones de vida de la población rural, de manera sostenida, bajo disímiles formas de adopción, según las características naturales que el medio geográfico le ofrezca al hombre.

En realidad, titonia, canavalia y tefrosia son bastante usadas en sistemas agroforestales, ya que contribuyen en la conservación del suelo, como cobertura y como abonos verdes

(Febres y Ruiz 1996, Buresh y Nang 1997). Pero, además, ellas tienen posibles efectos adversos sobre algunas especies de insectos y otros animales (Grainge y Ahmed 1988, NAPRALERT 2001). Por ejemplo, tefrosia se utiliza para envenenar peces (barbasco) y tiene propiedades insecticidas, particularmente contra áfidos, larvas de mosquitos, etc. (Geilfus 1994). Por ejemplo, la mezcla de un extracto de tefrosia con jabón en agua contra varias especies de áfidos, fue más eficaz que el jabón solo, y el uso del extracto (sin jabón) fue tan eficaz como el malatión (ECHO 1999).

Por tanto, aunque sus efectos sobre los adultos de *B. tabaci* se desconocían *a priori*, salvo para canavalia, que en experimentos preliminares mostró que podría matar o disuadir a los adultos (Gómez *et al.* 1997b), se pretendió discriminar entre tres tipos de efectos, que podrían manifestarse solos o combinados: fagodisuasión, ovidisuasión y toxicidad.

Un disuasivo o supresor es una sustancia que inhibe ciertas actividades, como la alimentación y la oviposición, una vez que el insecto hace contacto con la sustancia (Matthews y Matthews 1978), en lo cual contrasta con un repelente, que actúa a distancia. En cuanto a la respuesta de *B. tabaci*, se sabe que, antes de insertar su estilete en la planta, los adultos palpan la superficie del follaje o la frotan con la punta del labio, donde poseen setas sensoriales pequeñas, cuya ultraestructura sugiere que son receptores químicos (quimiorreceptores), o químicos y mecánicos a la vez (mecano-quimiorreceptores) (Walker y Gordh 1989). En el caso de la toxicidad, la muerte de *B. tabaci*, por contacto, ingestión o inhalación, se puede detectar rápidamente, como se ha demostrado para el endosulfán y otros insecticidas comerciales en este tipo de experimentos (Cubillo *et al.* 1994, 1999, Gómez *et al.* 1997 a, 1997b).

Para determinar si un extracto disuade o repele a los adultos de *B. tabaci*, es necesario efectuar varios tipos de experimentos, que sean complementarios. Los experimentos convencionales al respecto, han sido de escogencia irrestricta (Butler *et al.* 1988, 1989, Butler y Henneberry 1990, 1991a, 1991b, Larew y Locke 1990, Liu y Stansly 1995), en los cuales se exponen las plantas a los adultos que vuelan libremente en un invernadero. Sin embargo, su mayor limitante es que no se puede diferenciar con exactitud si el menor número

de adultos posados en las plantas obedece a fagodisuasión/repelencia o a toxicidad. Por tanto, es necesario efectuar también experimentos de escogencia restringida, pues así se pueden controlar mejor los factores y variables.

Por ejemplo, la combinación de ambos tipos de experimentos ha permitido comprobar que el aceite mineral Volck 100 Neutral es un fuerte repelente de *B. tabaci* (Hilje y Stansly 1999), por lo cual aquí se utilizó como testigo. Puesto que el aceite se aplica antes de liberar los adultos dentro de las jaulas de manga, el aceite no puede causar mortalidad directa como insecticida físico. Los bajos números de adultos posados en plantas tratadas con Volck, tanto en experimentos previos como en éstos, sustenta la hipótesis de que la mortalidad observada obedece a estrés térmico, agotamiento de las reservas de energía o la deshidratación (Veierov 1996).

En todos los experimentos de escogencia restringida, fue claro que las plantas tratadas con cualquiera de los tres extractos siempre tuvieron menos adultos de *B. tabaci* posados, lo cual sugiere que hubo fagodisuasión. Asimismo, la menor cantidad de huevos depositados podría deberse a ovidisuasión *sensu stricto* o a que al haber menos hembras posadas, la oviposición en esas plantas fuera menor. En ambos casos, el hecho de que las diferencias entre las plantas tratada y sin tratar no siempre fueran significativas en términos estadísticos, puede explicarse por la variabilidad entre las repeticiones. Fue por esto que, para aumentar la confiabilidad de los datos, desde el inicio se decidió efectuar dos experimentos para cada extracto (cada uno con cuatro repeticiones).

Para distinguir el efecto disuasivo/repelente de la mortalidad directa, en prácticamente ningún caso hubo diferencias estadísticas con respecto al Volck (en cuanto al número de adultos sobrevivientes hasta las 48 h). La mortalidad observada podría atribuirse a las mismas causas sugeridas por Veierov (1996) para el Volck, aunque no puede descartarse algún nivel de toxicidad en individuos más susceptibles. El hecho de que la mortalidad fuera independiente de la dosis, es decir, que no aumentara conforme lo hizo la dosis, refuerza la idea del efecto fagodisuasivo de los extractos. Podría ser que la inanición fuera consecuencia de una primera experiencia desagradable al contactar el extracto, lo cual a su

vez podría desestimular al adulto para alimentarse incluso en la planta alternativa no tratada, o a una sobreestimulación que induzca al adulto a volar, causando su muerte por el agotamiento de sus reservas o por deshidratación.

Sin embargo, este tipo de diseño experimental no permitió hacer comparaciones en cuanto a la eficacia relativa de cada extracto, para lo cual se debió efectuar el experimento de escogencia irrestricta, en el invernadero. Los resultados de este experimento indican que los tratamientos con extractos vegetales no sobresalieron por su efecto fagodisuasivo o repelente, aunque el Volck sí lo hizo. Solamente el extracto de tefrosia, a ambas concentraciones, mostró fagodisuasión, pero su efecto se desvaneció rápidamente, y ya a las 48 h de aplicado no se diferenció del testigo absoluto (agua).

Tephrosia vogelii, al igual que algunas otras fabáceas, contiene rotenona. En su follaje aparecen otros compuestos que son rotenoides, como la deguelina, rotenolona, rotenona y sus derivados hidroxilados en las posiciones 5 y 6 (NAPRALERT 2001). El efecto de estos compuestos es muy conocido, e interfieren en el sistema de transporte electrónico, lo cual provoca interrupción del proceso de respiración. Además, aparecen mencionados varios flavonoides (Alliptona, 3-O-arabinopiranosido de la quercetina, isoquercetina, rutina y tephrosina) (Morgan y Mandava 1990), a los que se asocia con efectos repelentes y estimulantes de la oviposición en algunas especies de insectos. Estos compuestos se encuentran en toda la planta y no solamente en las semillas.

La falta de eficacia observada no se podría explicar por la calidad de los extractos, pues se encontraban en refrigeración, y su disolución en agua se hizo el mismo día en que se aplicaron a las plantas. Por tanto, quizás más bien los principios fagodisuasivos presentes en el extracto se volatilizaron, debido a la alta temperatura en el invernadero. La rotenona (y posiblemente todos los rotenoides) son inestables a la luz y al aire, lo cual es una desventaja con respecto a los piretroides, por ejemplo (Dewick 1997). Es posible que lo que se haya observado es el efecto inicial de los compuestos, el cual se perdió por la acción de la luz y el aire sobre los rotenoides. Es muy arriesgado extender esta explicación a otros flavonoides, ya que aunque algunos son inestables, otros no lo son tanto. Aunque esto

también habría ocurrido dentro de las jaulas en los experimentos de escogencia restringida, es posible que la condición algo hermética de las jaulas contribuyera a mantener la eficacia de dichos principios activos.

Asimismo, los datos indican que la residualidad de todos los extractos, e incluso del Volck, fue muy baja, pues a la semana de asperjados las cantidades de adultos posados fueron tan altas como las del testigo absoluto. Solamente el Volck, dos semanas después, causó un efecto en la disminución de la cantidad de ninfas de *B. tabaci*, lo cual no parece ser un efecto directo del producto *per se* sobre las ninfas, sino de la menor oviposición ocurrida en los primeros días, en las plantas tratadas con Volck

Por tanto, es claro que los extractos de canavalia, tefrosia y titonia poseen sustancias que pueden causar fagodisuasión y/o ovidisuasión en los adultos de *B. tabaci*, como se demostró en los experimentos de escogencia restringida. Puesto que cada extracto contiene un amplio complejo de sustancias, es difícil o imposible determinar cuáles de ellas provocan estos efectos. Por ejemplo, canavalia contiene triterpenos y alcaloides, tefrosia posee flavonoides, y titonia contiene sesquiterpenos y monoterpenos (NAPRALERT 2001).

Morgan y Mandava (1990) indican que algunas de estas sustancias pueden ser estimulantes de la oviposición. En el caso de la *C. ensiformis* no está claro cuáles sustancias podrían ser activas pues, en realidad, no ha habido estudios al respecto sobre insectos (NAPRALERT 2001); más bien, los extractos de semillas de *C. macropleura* y *C. virosa* no mostraron actividad insecticida ni inhibición de la oviposición.

En las hojas o las partes aéreas, o en toda la planta, se menciona la presencia de flavonoides, como la rotenona (NAPRALERT 2001), algunos de los cuales podrían ser tóxicos para especies de insectos. Es probable, sin embargo, que los efectos de mayor toxicidad en extractos acuosos frescos se deban a lectinas, como la concanavalina A y otras, categorizadas como "proteidos", que son glicoproteínas normalmente presentes en las semillas, pero que podrían estar presentes en el follaje.

La extracción con etanol no justificaría atribuir el efecto a este tipo de sustancias, debido a la desnaturalización que se provocaría. Sin embargo, la l-canavanina, que puede actuar como fagodisuasivo (Morgan y Mandava 1990), es un péptido pequeño, que no se degradaría fácilmente y que es extraíble con etanol. Por su parte, la rutina es un flavonoide que estimula la oviposición (Morgan y Mandava 1990).

Es interesante que tanto canavalia como tefrosia (Fabaceae, en la antigua familia Leguminosae), así como titonia (Compositae) pertenecen a dos de las familias cuyos miembros son más apetecidos por *B. tabaci* como hospedantes, pues entre más de 500 especies reportadas mundialmente como tales, sobresalen Leguminosae (96 especies), Compositae (56), y Malvaceae, Solanaceae y Euphorbiaceae (32-35 especies) (Greathead 1986). En América, se le ha hallado en cuatro especies de Leguminosae y en 17 especies de Compositae, incluyendo a *Tithonia* sp. (girasol) (Hilje 1995).

Es importante destacar que cuando los compuestos fagodisuasivos puros se estudian individualmente, a la misma concentración en que ocurren en las plantas, son menos activos que en la planta en sí, y que tales sustancias siempre son disuasivas, pero a alta dosis. Sin embargo, cuando todos los componentes individuales se combinan, hay un efecto aditivo que produce una disuasión comparable al efecto causado por la planta misma (Warthen 1990). Fue interesante que, al sembrar plantas de *T. diversifolia* en el invernadero, hubo una gran afluencia de adultos hacia éstas, lo cual indica que los principios disuasivos o repelentes no actúan en la planta viva, aunque sí en el extracto. Esto podría deberse a que los principios bioactivos presentes en el extracto no sean los mismos que se encuentran en la planta, sino el producto de una degradación o transformación, por ejemplo de un glicósido a la glicona libre. También podría obedecer a una distribución diferencial de estos principios en los distintos órganos de la planta, o incluso a factores como diferencias fisiológicas causadas por la edad de la planta o una respuesta diferente de las plantas silvestres en comparación con las plantas de invernadero.

El caso de *T. diversifolia* es más complejo. Los estudios de actividad insecticida que han dado resultados positivos se refieren a extractos de flores, tanto polares como no polares, sobre

algunas especies de cucarachas; en algunos casos se informa de actividad molusquicida, que podría ser afín a una posible actividad insecticida. Los extractos del follaje contienen citronelal, en el aceite esencial, así como limoneno, linalool, nerolidol, alfa y beta pinenos, y verbenona, todos los cuales son repelentes de varias especies de insectos (Morgan y Mandava 1990). Asimismo, algunos, como los cadinenos, óxido de cariofileno, citronelal, limoneno, linalool, alfa y beta pinenos, espatulenol, tagitininas, terpinen-4-ol y alfa terpineol pueden actuar como fagodisuasivos sobre otros insectos (Morgan y Mandava, 1990). Algunos de estos también funcionan como atrayentes, lo cual podría explicar la afluencia de insectos hacia las plantas de invernadero.

En cuanto a la aplicabilidad de estos resultados en términos prácticos, en primer lugar sería necesario clarificar si el efecto de los extractos es repelente o disuasivo, lo cual se podría hacer mediante investigaciones detalladas del comportamiento de alimentación y oviposición de *B. tabaci*, mediante dispositivos electrónicos (Walker y Perring 1994). En el primer caso, prácticamente no habría posibilidad de que, como vector, *B. tabaci* inoculara los geminivirus a los cultivos de importancia, mientras que en el segundo caso siempre existiría tal posibilidad.

En realidad, los estudios en las jaulas y en el invernadero no son totalmente representativos de la realidad del campo, pues en ambos las plantas estaban expuestas directamente a los adultos de *B. tabaci*. En cambio, en el campo, se esperaría que la colonización de los cultivos fuera lenta y gradual, y el repelente o disuasivo tendría mejor oportunidad para ejercer su efecto. Por tanto, desde el punto de vista práctico, se recomienda realizar experimentos de campo con los extractos crudos, para determinar si efectivamente ellos pueden impedir que *B. tabaci* inocule los geminivirus en las plantas de los cultivos de interés, y éstas aporten rendimientos satisfactorios.

No obstante, aunque existiría la opción de que los agricultores de escasos recursos los utilizaran en forma artesanal, habría altos riesgos de degradación en el campo, debido a la temperatura, luz, precipitación, agentes bióticos, etc. Por tanto, para resolver esto sería pertinente el involucramiento de la industria agroquímica, que podría formular adecuadamente

algunas de estas sustancias, o utilizarlas como modelos para la síntesis química, en lo cual han mostrado un interés creciente (Pillmoor *et al.* 1993). Sin embargo, antes de esto habría que efectuar bioensayos con varias fracciones de cada extracto (en agua, alcohol y éter), para verificar dicho efecto y seleccionar las mejores dosis para realizar pruebas de invernadero y campo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada como parte de la tesis de Mag. Sci. de la primera autora, en el CATIE, para lo cual recibió el apoyo de la Fundación Konrad Adenauer. Se agradece al Lic. Juan Carlos Brenes (CIPRONA) la preparación de los extractos vegetales, y a Arturo Ramírez y Manuel Carballo (CATIE) su apoyo logístico. Además, al Dr. Norman R. Farnsworth (College of Pharmacy, University of Illinois, Chicago) el acceso a la base de datos NAPRALERT.

LITERATURA CITADA

- Buresh, RJ; Niang, AI. 1997. *Tithonia diversifolia* as a green manure: awareness, expectations and realities. *Agroforestry Forum* 8 (3): 29-31.
- Butler, G.D. & T.J. Henneberry. 1990. Pest control on vegetables and cotton with household cooking oils and liquid detergents. *Southwest. Entomol.* 15(2): 123-131.
- Butler, G.D. & T.J. Henneberry. 1991a. Sweetpotato whitefly control: Effect of tomato cultures and plant derived oils. *Southwest. Entomol.* 16(1): 37-43.
- Butler, G.D. & T.J. Henneberry. 1991b. Effect of oil sprays on sweetpotato whitefly and phytotoxicity on watermelons, squash and cucumbers. *Southwest. Entomol.* 16(1): 63-72.
- Butler, G.D., D.L. Coudriet & T.J. Henneberry. 1988. Toxicity and repellency of soybean and cottonseed oils to the sweetpotato whitefly and the cotton aphid on cotton in greenhouse studies. *Southwest. Entomol.* 13(2): 81-86.

- Butler, G.D., D.L. Coudriet & T.J. Henneberry. 1989. Sweetpotato whitefly: Host plant preference and repellent effect of plant-derived oils on cotton, squash, lettuce and cantaloupe. *Southwest. Entomol.* 14(1): 9-16.
- Coudriet, D.L., N. Prabhaker & D.E. Meyerdik. 1985. Sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae): Effects of neem seed extract on oviposition and immature stages. *Environ. Entomol.* 14 (6): 776-779.
- Cubillo, D. & L. Hilje. 1996. Repelentes. In *Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus*. L. Hilje (ed.). Serie Materiales de Enseñanza No. 37. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 77-83.
- Cubillo, D., W. Larriva, R. Quijije, A. Chacón & L. Hilje. 1994. Evaluación de la repelencia de varias sustancias sobre la mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Manejo integrado de Plagas (C. R.)* 33: 26-28.
- Cubillo, D.; Sanabria, G.; Hilje, L. 1999. Evaluación de la repelencia y mortalidad causada por insecticidas blandos y extractos vegetales sobre *Bemisia tabaci*. *Manejo Integrado de Plagas (C. R.)* 53: 65-71.
- Dewick, PM. 1997. Medicinal natural products. A biosynthetic approach. John Wiley and Sons, New York. p. 140-142.
- ECHO, Echo Plant Information Sheet. 1999. Fish bean (en línea). USA. Consultado en 12 ene. 2001. Disponible en [http://seedbank/plant_info_sheets-full_page/tephrosia vogelii, fish bean.doc](http://seedbank/plant_info_sheets-full_page/tephrosia_vogelii_fish_bean.doc).
- Febles, GJ; Ruiz, TE. 1996. Los árboles y arbustos en el agroecosistema. *Agricultura Orgánica*. Agosto, año 2 (2): 7-10.
- Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor: manual de agroforestería para el desarrollo rural. Turrialba, CR. v. 2. 778 p. (Serie Técnica, no 9).

- Gómez, P., D. Cubillo, G. Mora & L. Hilje. 1997a. Evaluación de posibles repelentes de *Bemisia tabaci*: I. Productos comerciales. *Manejo Integrado de Plagas (C. R.)* 46: 9-16.
- Gómez, P., D. Cubillo, G. Mora & L. Hilje. 1997b. Evaluación de posibles repelentes de *Bemisia tabaci*: II. Extractos vegetales. *Manejo Integrado de Plagas (C. R.)* 46: 17-25.
- Grainge, M; Ahmed, S. 1988. Handbook of plants with pest-control proprieties. John Wiley & Sons, New York. 470 p.
- Greathead, A.H. 1986. Host plants. **In** *Bemisia tabaci*- A literature survey. M.J.W. Cock. (ed.). CAB Intl. Inst. Biol. Control. Silwood Park. UK. p. 17-26.
- Hilje, L. 1993. Un esquema conceptual para el manejo de integrado de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en el cultivo de tomate. *Manejo Integrado de Plagas (C.R.)* 29: 53-60.
- Hilje, L. 1995. Aspectos bioecológicos de *Bemisia tabaci* en Mesoamérica. *Manejo Integrado de Plagas (C.R.)* 35: 46-54.
- Hilje, L. 1996. Introducción. **In** Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. L. Hilje (ed.). Serie Materiales de Enseñanza No. 37. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. VII-XV.
- Hilje, L. 2001. Avances hacia el manejo sostenible del complejo *Bemisia tabaci*-geminivirus en tomate, en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (C.R.)* 61: 70-81.
- Hilje, L.; Stansly, P.A. 1999. Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes. Second Annual Progress Report. U.S. Department of Agriculture (USDA). CATIE. Turrialba, Costa Rica. 98 p.

- Hilje, L.; Stansly, P.A. 2001. Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes. Final Report. U.S. Department of Agriculture (USDA). CATIE. Turrialba, Costa Rica. 132 p.
- Jama, B; Palm, CA; Buresh, RJ; Niang, A; Gachengo, C; Nziguheba, G; Amadalo, B. 2000. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. *Agroforestry Systems* 49: 201-221.
- Jiménez, O.F. 1994. Resumen acumulado de datos agroclimáticos. CATIE. Turrialba, Costa Rica. s.p. (Mimeografiado).
- Jovel, J.; Kleinn, C.; Cartín, V.; Valverde, B.; Hilje, L. 2000. Movimientos diarios de *Bemisia tabaci* en parcelas de tomate, en Turrialba, Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 55: 49-55.
- Larew, H.G. & J.C. Locke. 1990. Repellency and toxicity of a horticultural oil against whiteflies on chrysanthemum. *HortScience* 25(11): 1406-1407.
- Liu, T. & P.A. Stansly. 1995. Toxicity and repellency of some biorational insecticides to *Bemisia argentifolii* on tomato plants. *Ent. Exp. et Appl.* 74: 137-143.
- Lodoen, D. 1999. Two Agroforestry innovations for richer soils and bountiful harvests. *Agroforestry Today*. Jan-Jun p. 22-23.
- Matthews, R.W.; Matthews, J.R. 1978. *Insect behavior*. John Wiley & Sons, New York. 507 p.
- Nardo, E.A.D. de; Costa, A.S.; Lourencao, A.L. 1997. *Melia azederach* extract as an antifeedant to *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Florida Entomologist* 80(1): 92-94.
- NAPRALERT (Natural Products Alert). 2001. College of Pharmacy. University of Illinois, Chicago. Información disponible por correo electrónico (nap@pcog1.pmpm.uic.edu), mediante autorización expresa).

- Pillmoor, J.B.; Wright, K.; Terry, A.S. 1993. Natural products as a source of agrochemicals and leads for chemical synthesis. *Pestic. Sci.* 39: 131-140.
- Rao, MR; Niang, A; Kwesiga, F; Duguma, B; Franzel, S; Jama, B; Buresh, R. 1998. Soil fertility replenishment in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Today*. April-June: 3-8.
- SAS Institute Inc. 1985. Guide for personal computers. Version 6 ed. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina. 378 p.
- Schuster, D.J., P.A. Stansly & J.E. Polston. 1996. Expressions of plant damage of *Bemisia*. **In** *Bemisia* 1995: Taxonomy, biology, damage control and management. D. Gerling & R.T. Mayer (eds.). Andover, Hants, UK. p. 153-165.
- Serra, C. 1996. Biología de moscas blancas **In** Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. L. Hilje (ed.). Serie Materiales de Enseñanza No. 37. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 11-21.
- Simons, J.N., J.E. Simons & J.L. Simons. 1992. JMS Stylet-Oil User Guide. JMS Flower Farms Inc. Vero Beach, Florida. 34 p.
- Uk, S.; Dittrich, V. 1986. The behaviour-modifying effect of chlordimeform and endosulfan on the adult whitefly *Bemisia tabaci* Genn.) which attacks cotton in Sudan. *Crop Protection* 5(5): 341-347.
- Veierov, D. 1996. Physically and behaviorally active formulations for control of *Bemisia*. **In** *Bemisia* 1995: Taxonomy, biology, damage control and management. D. Gerling & R.T. Mayer (eds.). Andover, Hants, UK. p. 557-576.
- Walker, G.P.; Gordh, G. 1989. The occurrence of apical labial sensilla in the Aleyrodidae and evidence for a contact chemosensory function. *Ent. Exp. et Appl.* 51: 215-224.

- Walker, G.P.; Perring, T.M. 1994. Feeding and oviposition behavior of whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) interpreted from AC electronic feeding monitor waveforms. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 87(3): 363-374.
- Warthen, J.D. 1990. Part A: Insect feeding deterrents (1976-1980). In Morgan, E.D. and Mandava, N.B. (eds.) *CRC Handbook of natural pesticides, V. 6 : Insect attractants and repellents*. Boca Raton, Florida, CRC Press. p. 23-134.

CAPITULO 5:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Los pequeños productores, generalmente, poseen en sus fincas muchas limitaciones, tanto biofísicas, como socio económicas. Los artículos que componen este trabajo de tesis intentaron contribuir con alternativas de incremento y/o mantenimiento de la fertilidad del suelo, así como el manejo de la mosca blanca (*B. tabaci*), sin el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos.

En el primer artículo, la adición de abonos verdes in situ, afectó favorablemente la productividad del cultivo, en todo el grupo de suelos usados en este estudio. Las especies *Tephrosia* y *Canavalia* se mostraron más promisorias en el reciclaje de N y P, siendo que la *Tephrosia* se detectó como una leguminosa con alta calidad de residuo. Pero para mejorar la eficiencia del sistema de producción, es necesario la combinación de residuos de alta calidad y una gran producción de biomasa. Además de la realización de experimentos de más largo plazo.

En el segundo artículo, la erosión es uno de los problemas principales del Asentamiento Río Guayabo, además de la baja productividad y de los problemas socio-económicos. Los productores demostraron estar concientes de estas limitaciones, por lo tanto, la técnica del asocio de leguminosas con maíz fue bien aceptada. Aún ha sido un trabajo muy reducido en datos, los productores se mostraron interesados en continuar con la técnica.

En el tercer artículo, el efecto fago y/o ovidisuasivo de los extractos vegetales fue constatado apenas en el estudio con las jaulas, no en el invernadero. Sin embargo, los dos tipos de estudio no son representativos de la realidad del campo. Por lo tanto, es necesario experimentos de campo con los extractos vegetales, para determinar si hay eficiencia contra *B. tabaci*, en la inoculación de los geminivirus en plantas de tomate.

Anexo 1

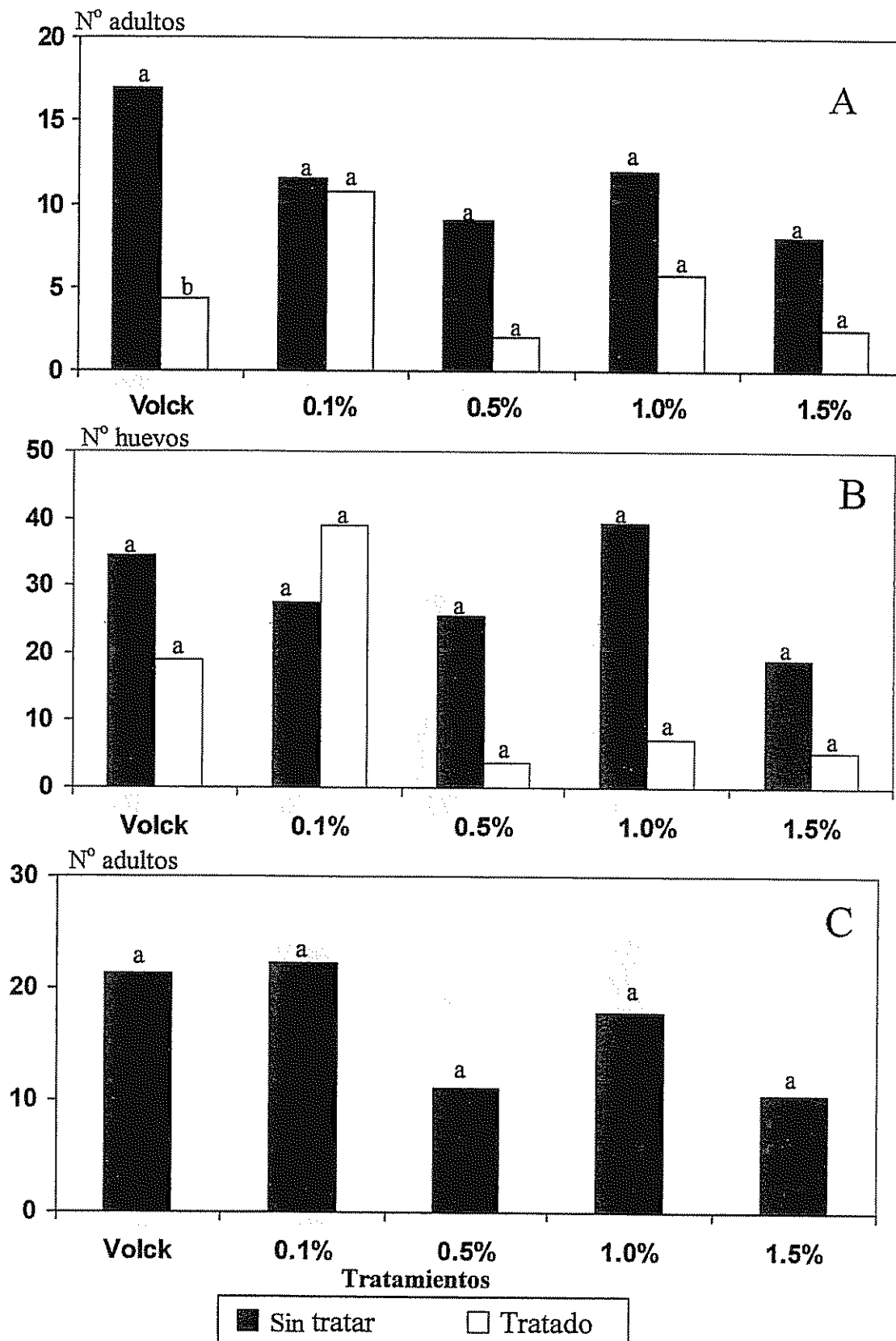


Figura 1. Número promedio de adultos de *B. tabaci* posados (A) y de huevos depositados (B) a las 48 h de aplicado el extracto de canavalia (*Canavalia ensiformis*), así como el número total de adultos (C) en ese intervalo. Los promedios seguidos por una misma letra no difieren estadísticamente ($P=0.05$). Experimento I.

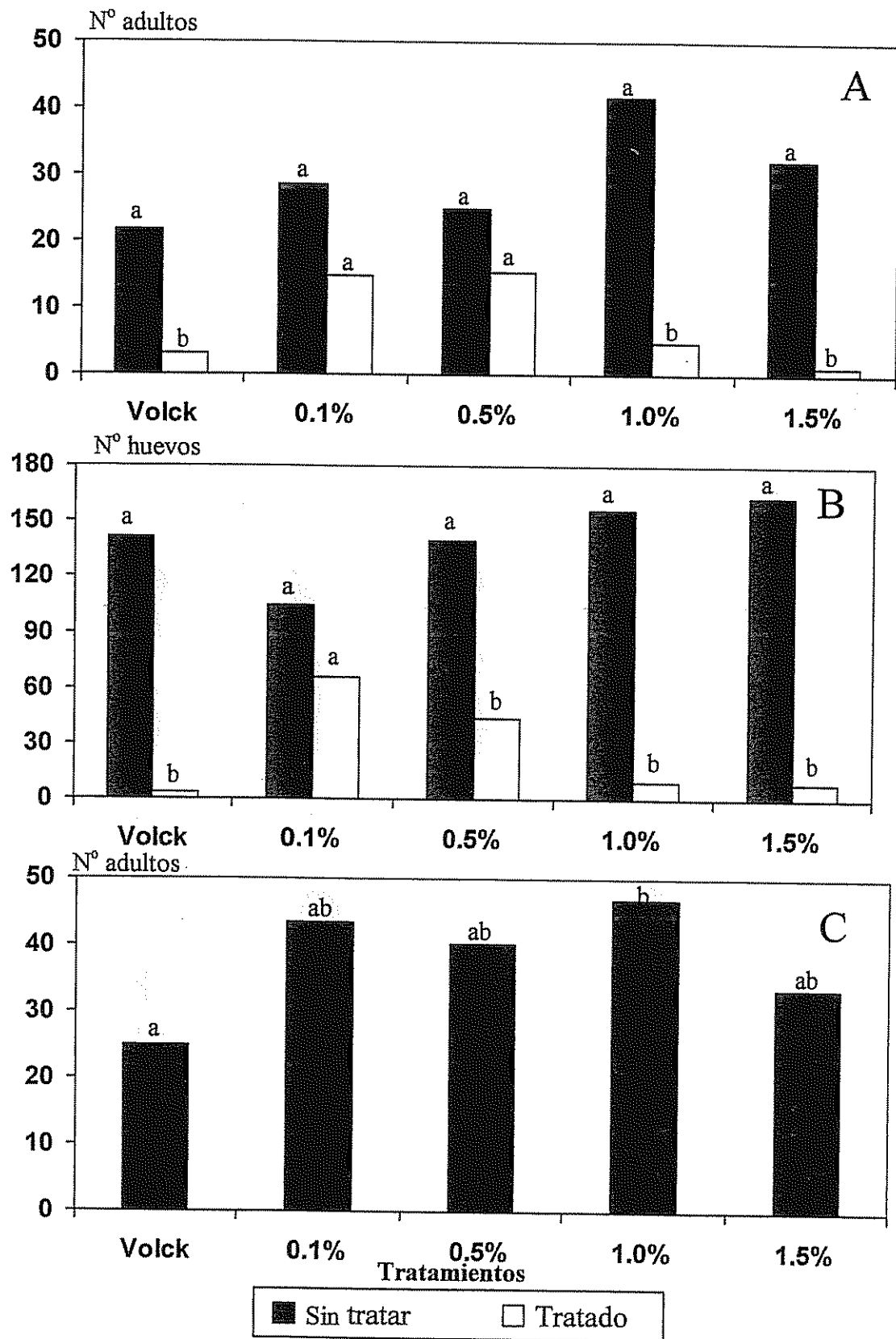


Figura 2. Número promedio de adultos de *B. tabaci* posados (A) y de huevos depositados (B) a las 48 h de aplicado el extracto de canavalia (*Canavalia ensiformis*), así como el número total de adultos (C) en ese intervalo. Los promedios seguidos por una misma letra no difieren estadísticamente ($P=0.05$). Experimento II.

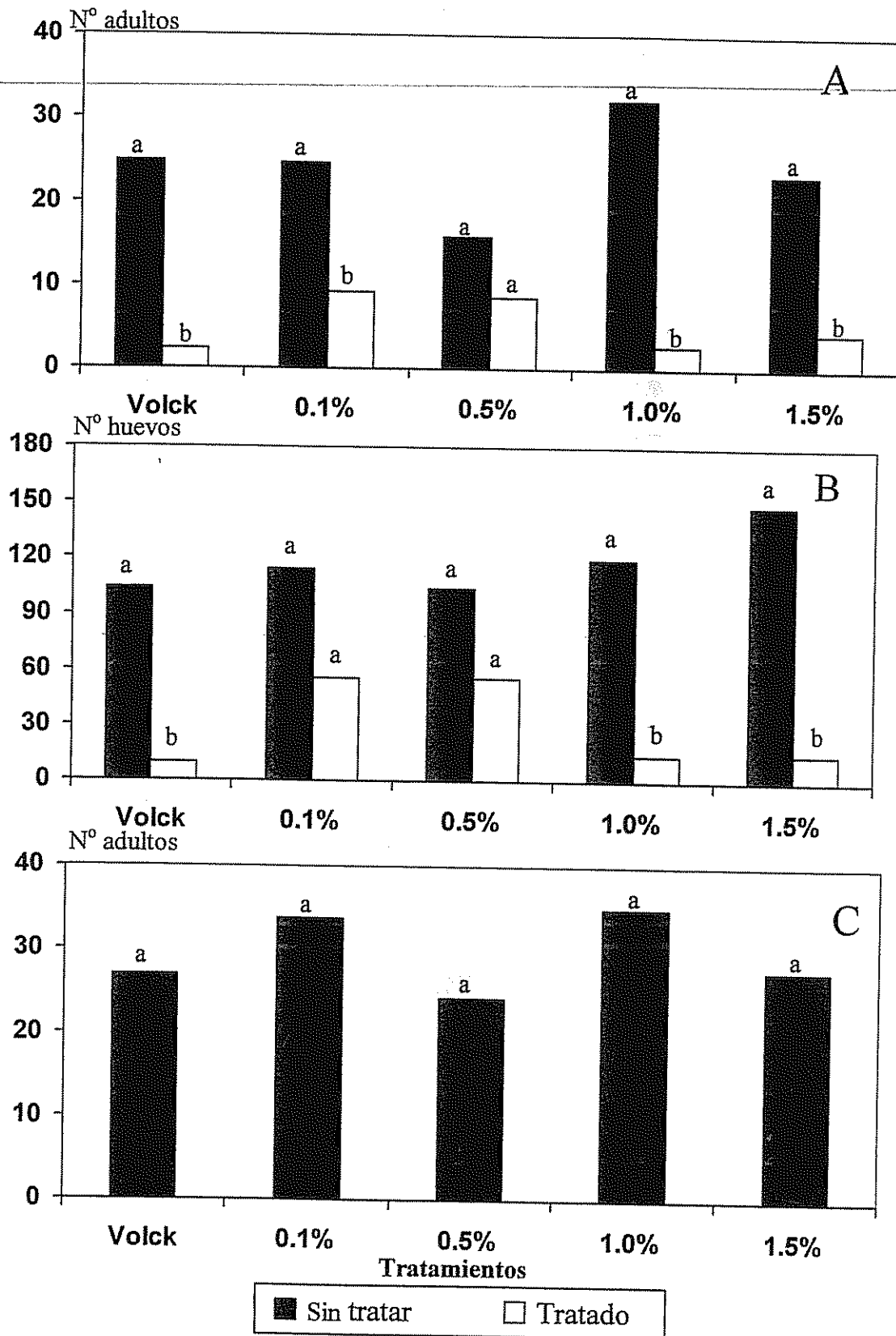


Figura 3. Número promedio de adultos de *B. tabaci* posados (A) y de huevos depositados (B) a las 48 h de aplicado el extracto de tefrosia (*Tephrosia vogelii*), así como el número total de adultos (C) en ese intervalo. Los promedios seguidos por una misma letra no difieren estadísticamente ($P=0.05$). Experimento I.

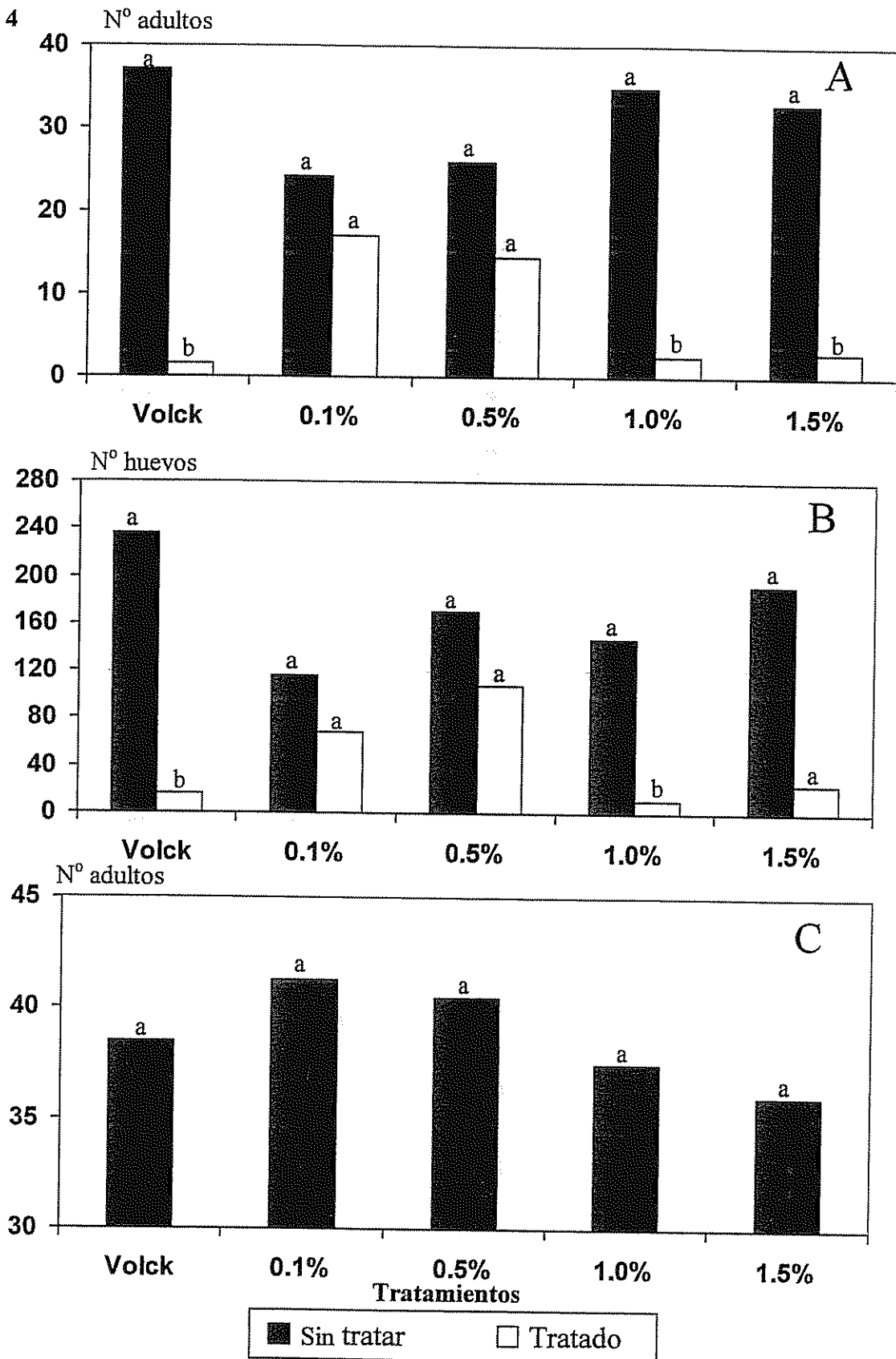


Figura 4. Número promedio de adultos de *B. tabaci* posados (A) y de huevos depositados (B) a las 48 h de aplicado el extracto de tefrosia (*Tephrosia vogelii*), así como el número total de adultos (C) en ese intervalo. Los promedios seguidos por una misma letra no difieren estadísticamente ($P=0.05$). Experimento II.

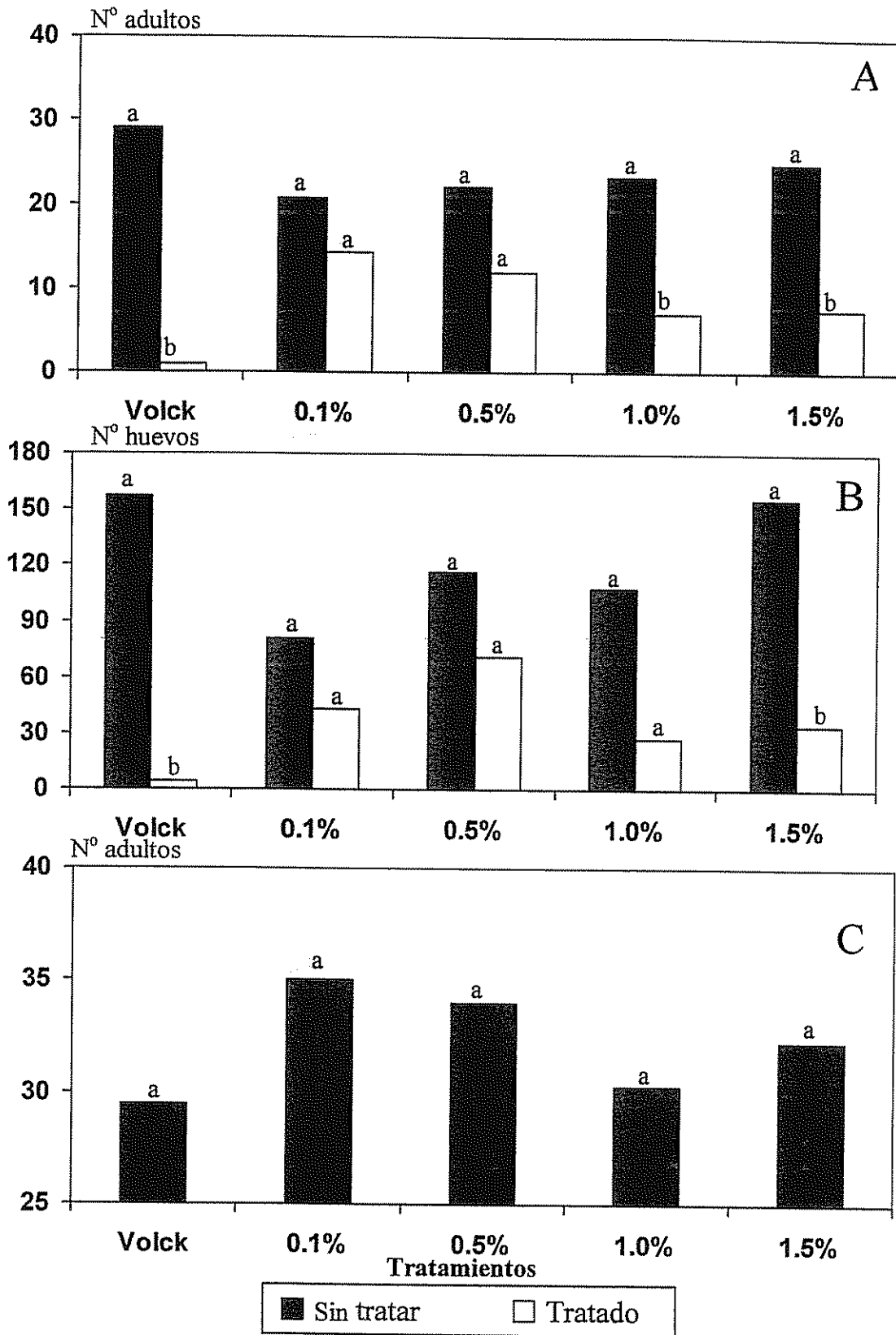


Figura 5. Número promedio de adultos de *B. tabaci* posados (A) y de huevos depositados (B) a las 48 h de aplicado el extracto de titonia (*Tithonia diversifolia*), así como el número total de adultos (C) en ese intervalo. Los promedios seguidos por una misma letra no difieren estadísticamente ($P=0.05$). Experimento I.

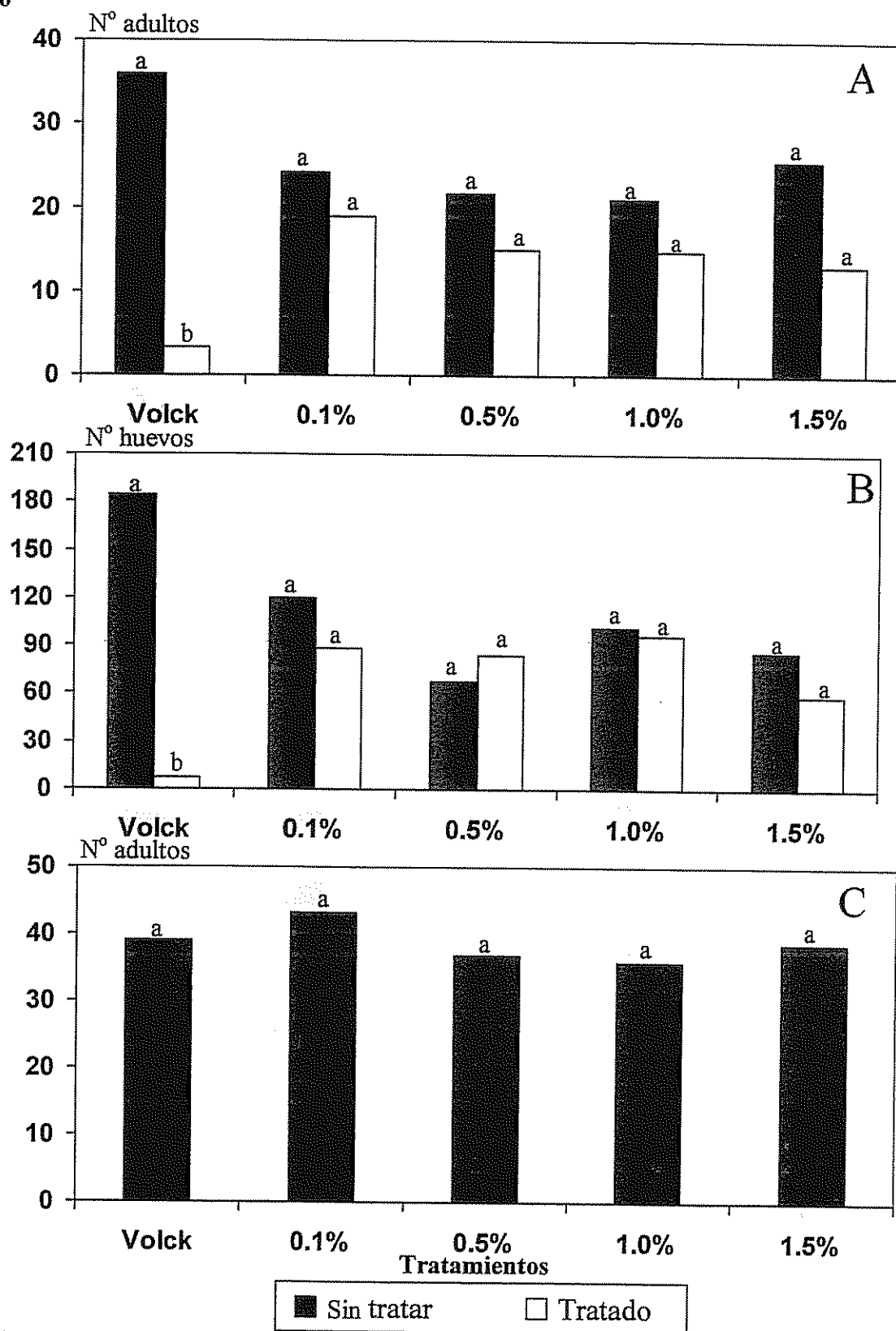


Figura 6. Número promedio de adultos de *B. tabaci* posados (A) y de huevos depositados (B) a las 48 h de aplicado el extracto de titonia (*Tithonia diversifolia*), así como el número total de adultos (C) en ese intervalo. Los promedios seguidos por una misma letra no difieren estadísticamente (P=0.05). Experimento II.

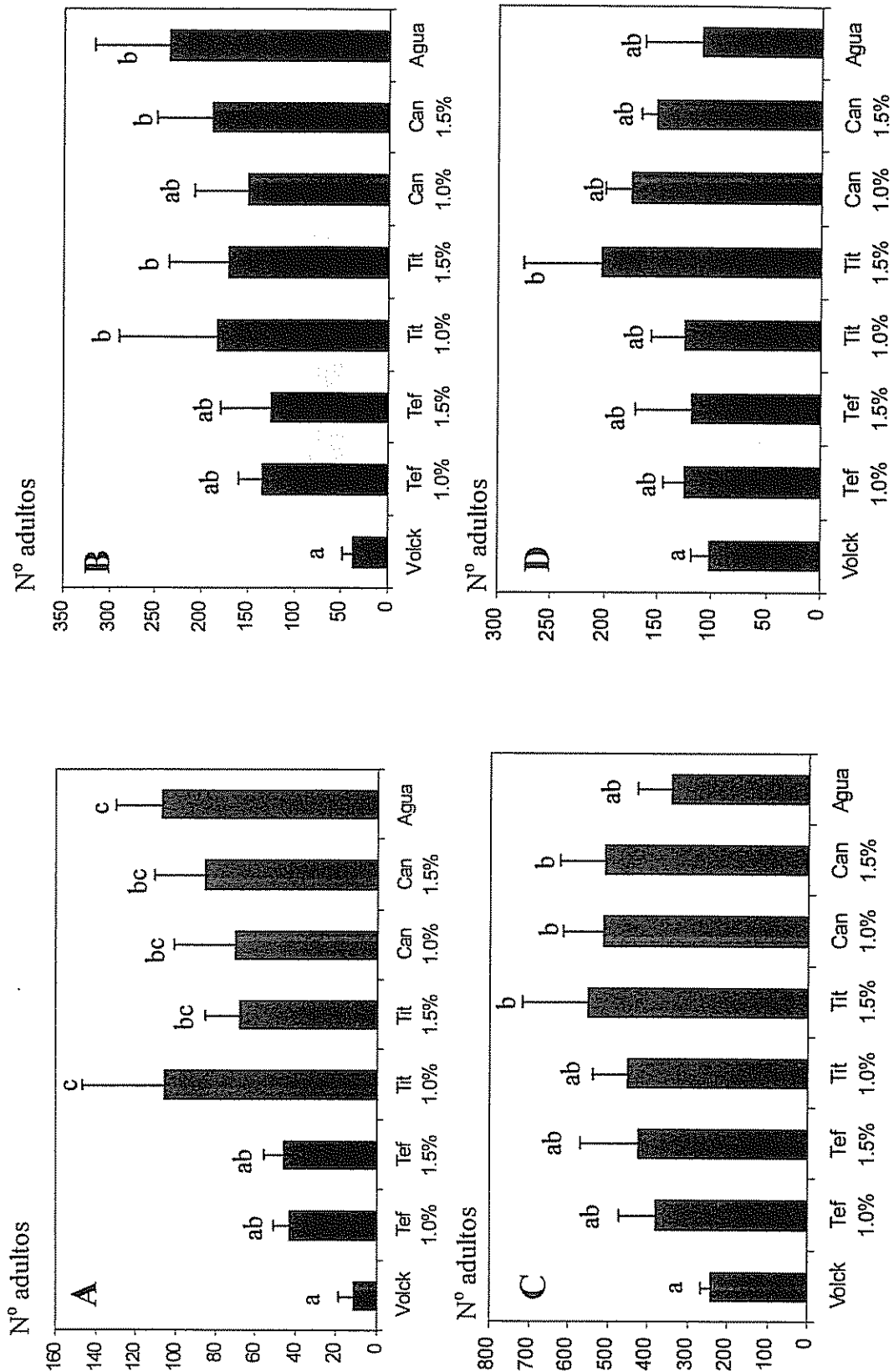


Figura 7. Número promedio de adultos de *B. tabaci* en el intervalo de 1 (A), 2 (B), 8 (C) y 15 días (D). Los promedios seguidos por una misma letra no difieren estadísticamente ($P = 0,05$). Experimento de Escogencia irrestricta.

Anexo 8

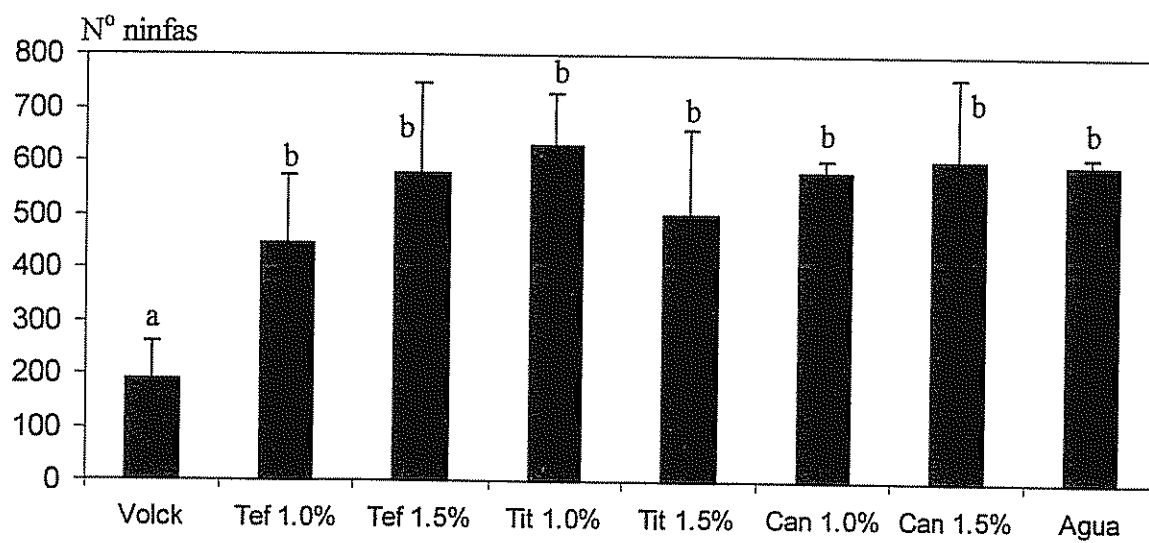


Figura 8. Número promedio de ninfas de *B. tabaci* en un 1 cm² de una de las hojas de tomate, después de 15 días de la aplicación de los extractos vegetales. Experimento de escogencia irrestricta

Anexo 9. Número promedio (y desviación estándar) de adultos posados sobre las plantas y de huevos de *B. tabaci* depositados, así como de adultos vivos, hasta las 48 h de aplicado cada extracto. Experimento I.

Tratamientos	Adultos		Huevos		Adultos vivos
	Sin tratar	Tratado	Sin Tratar	Tratado	
Canavalia					
0,1%	11,50 ± 8,22 a	10,75 ± 8,46 a	27,50 ± 26,17 a	39,00 ± 31,34 a	22,25 ± 14,12 a
0,5%	9,00 ± 12,33 a	2,00 ± 2,00 a	25,50 ± 30,51 a	3,75 ± 5,50 a	11,00 ± 14,77 a
1,0%	12,00 ± 9,42 a	5,75 ± 6,18 a	39,25 ± 26,62 a	7,25 ± 8,96 a	17,75 ± 9,33 a
1,5%	8,00 ± 2,83 a	2,50 ± 1,91 a	19,00 ± 11,43 a	5,25 ± 3,30 a	10,50 ± 4,12 a
Volck	17,00 ± 11,13 a*	4,25 ± 4,03 b*	34,50 ± 12,50 a	19,00 ± 23,96 a	21,25 ± 8,62 a
Tefrosia					
0,1%	24,50 ± 3,00 a	9,25 ± 6,08 b*	114,50 ± 49,60 a	55,25 ± 32,55 a	33,75 ± 5,25 a
0,5%	15,75 ± 7,41 a	8,50 ± 9,68 a	103,50 ± 59,63 a	55,50 ± 74,77 a	24,25 ± 10,43 a
1,0%	32,25 ± 10,47 a**	2,75 ± 1,71 b**	119,50 ± 75,90 a*	14,00 ± 15,82 b*	35,00 ± 10,45 a
1,5%	23,25 ± 15,30 a*	4,25 ± 2,75 b*	148,75 ± 91,09 a*	15,00 ± 20,28 b*	27,50 ± 17,64 a
Volck	24,75 ± 4,50 a**	2,25 ± 1,89 b**	103,75 ± 43,47 a*	9,25 ± 11,35 b*	27,00 ± 5,03 a
Titonia					
0,1%	20,75 ± 7,50 a	14,25 ± 10,81 a	80,75 ± 29,47 a	42,75 ± 30,32 a	35,00 ± 6,98 a
0,5%	22,00 ± 7,39 a	12,00 ± 6,63 a	116,50 ± 66,28 a	71,00 ± 39,56 a	34,00 ± 10,45 a
1,0%	23,25 ± 9,71 a*	7,00 ± 3,56 b*	108,00 ± 42,24 a	27,00 ± 30,12 a	30,25 ± 11,93 a
1,5%	24,75 ± 7,09 a*	7,50 ± 5,19 b*	155,00 ± 137,32 a*	34,50 ± 42,25 b*	32,25 ± 10,08 a
Volck	29,00 ± 4,24 a**	1,00 ± 0,00 b**	157,50 ± 103,31 a*	4,25 ± 6,50 b*	29,50 ± 4,80 a

Las medias con la misma letra no difieren, según la prueba de Tukey. Para letras diferentes, las marcadas con * lo hicieron en forma significativa ($P < 0,05$) y aquellas con ** en forma altamente significativa ($P < 0,01$).

Anexo 10. Número promedio (y desviación estándar) de adultos posados sobre las plantas y de huevos de *B. tabaci* depositados, así como de adultos vivos, hasta las 48 h de aplicado cada extracto. Experimento II.

Tratamientos	Adultos		Huevos		Adultos vivos
	Sin tratar	Tratado	Sin Tratar	Tratado	
Canavalia					
0,1%	28,50 ± 12,71 a	15,00 ± 6,97 a	104,25 ± 47,77 a	65,50 ± 40,53 a	43,50 ± 9,00 ab*
0,5%	25,00 ± 13,11 a	15,25 ± 13,52 a	139,50 ± 48,88 a*	44,25 ± 62,72 b*	40,25 ± 8,69 ab*
1,0%	41,75 ± 4,92 a**	5,00 ± 2,00 b**	156,25 ± 95,54 a*	10,00 ± 10,28 b*	46,75 ± 5,12 b*
1,5%	32,25 ± 17,04 a*	1,25 ± 0,58 b*	163,75 ± 138,38 a*	9,00 ± 5,60 b*	33,50 ± 17,33 ab*
Volek	21,75 ± 9,60 a*	3,25 ± 2,06 b*	141,25 ± 84,20 a*	3,25 ± 4,27 b*	25,00 ± 9,38 a*
Tefrosia					
0,1%	24,25 ± 8,65 a	17,00 ± 8,76 a	116,25 ± 22,68 a	68,25 ± 33,98 a	41,25 ± 7,14 a
0,5%	26,00 ± 4,54 a	14,50 ± 7,32 a	170,75 ± 151,63 a	107,25 ± 63,40 a	40,50 ± 5,26 a
1,0%	35,00 ± 11,16 a**	2,50 ± 2,38 b**	147,50 ± 114,82 a*	10,75 ± 8,26 b*	37,50 ± 10,28 a
1,5%	33,00 ± 7,53 a**	3,00 ± 2,00 b**	193,00 ± 78,34 a*	24,25 ± 18,15 b*	36,00 ± 6,06 a
Volek	37,00 ± 6,28 a**	1,50 ± 1,29 b**	235,75 ± 126,23 a*	16,00 ± 18,49 b*	38,50 ± 5,26 a
Titonia					
0,1%	24,25 ± 12,28 a	19,00 ± 7,26 a	119,50 ± 70,47 a	88,50 ± 67,74 a	43,25 ± 6,50 a
0,5%	21,75 ± 7,09 a	15,00 ± 5,10 a	67,25 ± 49,33 a	83,50 ± 55,11 a	36,75 ± 6,13 a
1,0%	21,00 ± 4,08 a	14,75 ± 10,75 a	101,75 ± 52,83 a	96,25 ± 80,17 a	35,75 ± 6,90 a
1,5%	25,50 ± 10,47 a	13,00 ± 2,83 a	85,75 ± 30,22 a	58,00 ± 34,36 a	38,50 ± 10,97 a
Volek	36,00 ± 12,83 a**	3,25 ± 2,06 b**	184,50 ± 99,81 a**	7,50 ± 5,20 b**	39,00 ± 10,71 a

Las medias con la misma letra no difieren, según la prueba de Tukey. Para letras diferentes, las marcadas con * lo hicieron en forma significativa ($P < 0,05$) y aquellas con ** en forma altamente significativa ($P < 0,01$).