

REGULACION ECOLOGICA DE PLAGAS EN AGROECOSISTEMAS
TROPICALES (UN EJEMPLO: MONO Y POLICULTIVOS DE MAIZ
Y FRIJOL, DIVERSIFICADOS CON MALEZAS)

T E S I S

PRESENTADA AL PROGRAMA DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS
UNIVERSIDAD NACIONAL - INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO

(UN - ICA)

POR

MIGUEL ANGEL ALTIERI S.

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO DE
MAGISTER SCIENTIAE

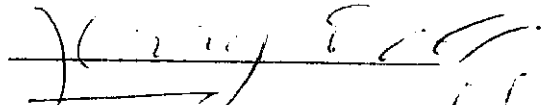
BOGOTA, COLOMBIA

1976

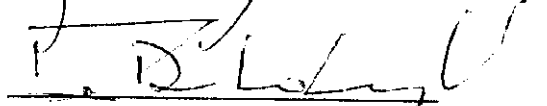
TESIS APROBADA POR:

COMITE CONSEJERO

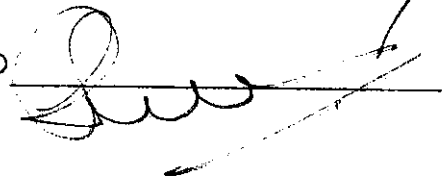
JERRY DOLL, Ph D

Handwritten signature of Jerry Doll in cursive script, written over a horizontal line.

RAMIRO DE LA CRUZ, Ph D

Handwritten signature of Ramiro de la Cruz in cursive script, written over a horizontal line.

AART VAN SCHOONHOVEN Ph D

Handwritten signature of Aart van Schoonhoven in cursive script, written over a horizontal line.

" El Presidente de tesis y el Consejo examinador de grado, no serán responsables de las ideas emitidas por el Candidato".

(Artículo 217 de los estatutos de la Universidad Nacional)

A Grisell, Naraya y Joshua.

Para la evolución de la
humanidad y la purificación
de la biosfera.

AGRADECIMIENTO

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos:

- Al Dr. Jerry Doll por sus invaluable enseñanzas y asistencia en los diferentes aspectos del estudio y por su amistad y ejemplo de amplitud humana y cristiana.
- Al Dr. Aart van Schoonhoven por su guía y amistad estimulante que me impulsó a perfeccionar los trabajos.
- A mi suegro, Dn. Reynaldo Navas quien hizo posible mi viaje a Colombia para realizar el post-grado.
- Al CIAT por brindarme apoyo material y la oportunidad de perfeccionarme profesionalmente.
- A Wilson, Guillermo, Cilia y Rosalba por su amistad y colaboración y a Rolando, Mario, Gildardo, Don Alberto, Palma y Gonzalo por su ayuda en el campo y sincera amistad.
- A Luz Marina y María Nury por su paciencia en la mecanografía del trabajo.
- A los miembros del Programa de Entomología de fríjol del CIAT, de Biometría y Xerox.
- Finalmente a todos aquellos (Dr. C. Francis, Regina, Patricia, etc.) que en una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	<u>Pag.</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	7
2.1 Agroecosistemas.....	7
2.2 La teoría de la diversidad y estabilidad.....	10
2.3 Diversidad y estabilidad en agroecosistemas.....	13
2.4 Evidencias experimentales (policultivos).....	15
2.5 Los cultivos asociados como ecosistemas idealizados... .	21
2.6 Las malezas como fuente de diversidad y estabilidad en agroecosistemas.....	25
2.7 El papel de las malezas en la biología de plagas y enemigos naturales.....	28
2.8 Algunos aspectos coevolutivos y algunas consideraciones sobre interacciones aleloquímicas.....	30
3. MATERIALES Y METODOS.....	33
3.1 Ensayos de Campo.....	33
3.1.1. Experimento No.1: Mono y policultivos de maíz y frijol diversificados con 5 densidades de male zas.....	34
3.1.2. Experimento No.2: Monocultivos de frijol diver sificados con gramíneas y malezas de hoja ancha	42

	<u>Pag.</u>
3.1.3. Experimento No.3: Sistemas de Asociación fríjol- bledo.....	43
3.1.4. Experimento No.4: Aplicaciones de soluciones de malezas sobre plantas de fríjol infestadas con <u>E. kraemeri</u>	44
3.1.5. Experimento No.5: Monocultivos de fríjol con bordes de maíz y gramíneas.....	44
3.1.6. Experimento No.6: Sistemas de siembra escalo- nada de maíz respecto a fríjol.....	46
3.1.7. Experimento No.7: Sistemas de siembra escalo- nada de maíz respecto a fríjol (2a. replicación)	47
3.1.8. Experimento No.8: Sistemas de siembra escalo- nada de fríjol respecto al maíz.....	48
3.1.9. Experimento No.9: Sistemas de siembra escalo- nada de dos variedades de fríjol respecto al maíz	48
3.2. Ensayos de laboratorio y casa de mallas.....	50
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	53
4.1. Experimento No.1.....	53
4.1.1. Análisis estructural y funcional del ecosistema bajo el cual se desarrolló el ensayo.....	53
4.1.2. La dinámica de las plagas de fríjol.....	61
4.1.3. La dinámica de <u>Spodoptera frugiperda</u> en maíz..	83

	<u>Pag.</u>
4.1.4. Rendimiento de los cultivos.....	87
4.1.5. La dinámica de la comunidad de malezas.....	91
4.1.6. Tendencias de biocontrol en blede.....	94
4.2. Experimento No.2.....	94
4.3. Experimento No.3.....	100
4.4. Experimento No.4.....	103
4.4.1 Preferencia de <u>E. kraemeri</u>	109
4.5. Experimento No.5.....	113
4.6. Experimento No.6.....	117
4.7. Experimento No.7.....	122
4.8. Experimento No.8.....	130
4.9. Experimento No.9.....	135
5. ALGUNAS PAUTAS ECOLOGICAS A CONSIDERAR PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE MANEJO DE <u>E. KRAEMERI</u>	139
6. CONCLUSIONES... ..	145
7. RESUMEN.....	148
8. SUMMARY.....	151
BIBLIOGRAFIA.....	154
APENDICE.....	169

LISTA DE TABLAS

TABLA No.		PAGINA
1.	Abundancia de adultos y ninfas de <u>E. kraemeri</u> en diferentes habitats fríjol-malezas. (Promedio de seis muestreos).	64
2.	Abundancia de predadores de <u>E. kraemeri</u> en diferentes habitats-malezas (Promedio de cuatro muestreos).	70
3.	Efecto de cinco densidades diferentes de malezas en la población y daño de <u>D. balteata</u> sobre fríjol.	77
4.	Dominancia de bleado en el complejo de malezas en mono y policultivos de maíz y fríjol.	98
5.	Efecto de los sistemas de cultivo y las densidades de malezas sobre la frecuencia e intensidad de daño en bleado.	99
6.	Efecto de las aplicaciones de soluciones de malezas sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol a los 30 días después de la siembra.	107
7.	Efecto de las aplicaciones de soluciones de malezas sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol (promedio de observaciones realizadas a los 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días).	108

TABLA No.		PAGINA
8.	Efecto de las aplicaciones continuas de soluciones de malezas sobre la reproducción de <u>E. kraemeri</u> .	111
9.	Razón promedio de preferencia de <u>E. kraemeri</u> entre hojas de fríjol y hojas de fríjol con hojas de gramíneas, en una cámara de preferencia. (promedio de cuatro ensayos replicados tres veces cada uno).	112
10.	Efecto de la época de siembra de maíz sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en 80 plantas de fríjol, en cuatro épocas diferentes.	120
11.	Valores promedios de intercepción de luz alcanzados en los diferentes sistemas de siembra escalonada de maíz y fríjol a los 10 días después de la última siembra de fríjol (- 20).	121
12.	Rendimiento de los cultivos en los diferentes sistemas de siembra escalonada de maíz y fríjol.	127
13.	Efecto de la época de siembra de maíz sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en 80 plantas de fríjol en cuatro épocas diferentes.	128

TABLA No.		PAGINA
8.	Efecto de las aplicaciones continuas de soluciones de malezas sobre la reproducción de <u>E. kraemeri</u> .	111
9.	Razón promedio de preferencia de <u>E. kraemeri</u> entre hojas de fríjol y hojas de fríjol con hojas de gramíneas, en una cámara de preferencia. (promedio de cuatro ensayos replicados tres veces cada uno).	112
10.	Efecto de la época de siembra de maíz sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en 80 plantas de fríjol, en cuatro épocas diferentes.	120
11.	Valores promedios de intercepción de luz alcanzados en los diferentes sistemas de siembra escalonada de maíz y fríjol a los 10 días después de la última siembra de fríjol (- 20).	121
12.	Rendimiento de los cultivos en los diferentes sistemas de siembra escalonada de maíz y fríjol.	127
13.	Efecto de la época de siembra de maíz sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en 80 plantas de fríjol en cuatro épocas diferentes.	128

TABLA No.		PAGINA
14.	Efecto de la época de siembra de maíz sobre las poblaciones de adultos de <u>D. balteata</u> en 80 plantas de frijol en cuatro épocas diferentes.	129
15.	Efecto de la época de siembra de frijol sobre las poblaciones de cogollero en maíz. (Promedio de cuatro épocas diferentes).	133
16.	Efecto de la época de siembra de frijol sobre los rendimientos de maíz.	134
17.	Efecto de la siembra escalonada de dos variedades de frijol sobre el porcentaje de daño de cogollero en maíz, en tres épocas diferentes.	138
18.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en 80 plantas de frijol, 20 días después de la siembra.	170
19.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en 80 plantas de frijol, 40 días después de la siembra.	170

TABLA No.		PAGINA
20.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en 80 plantas de frijol, 50 días después de la siembra.	171
21.	Efecto combinado de la densidad de malezas y los sistemas de cultivo sobre la población de adultos de <u>E. kraemeri</u> , 70 días después de la siembra.	171
22.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre la población ninfal de <u>E. kraemeri</u> en 15 hojas de frijol, 60 días después de la siembra.	172
23.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre la población ninfal de <u>E. kraemeri</u> en 15 hojas de frijol, 70 días después de la siembra.	172
24.	Efecto de cinco densidades de malezas y dos sistemas de cultivos sobre la población de <u>D. balteata</u> en 80 plantas de frijol, 20 días después de la siembra.	173
25.	Influencia de cinco densidades de malezas sobre la población de <u>Condylostylus</u> sp. en 80 plantas de frijol, 30 días después de la siembra.	173

TABLA No.		PAGINA
26.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre la incidencia del ácaro tropical en fríjol, 60 días después de la siembra.	174
27.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre la población de cogollero en 40 plantas de maíz, 50 días después de la siembra.	174
28.	Efecto de los sistemas de cultivo sobre el rendimiento de maíz, (Experimento No.1).	175
29.	Efecto de los sistemas de cultivo sobre el rendimiento de fríjol (Experimento No.1).	175
30.	Efecto del tipo de comunidad de malezas sobre las poblaciones de adultos de <u>D. balteata</u> en 40 plantas de fríjol.	176
31.	Efecto del tipo de comunidad de malezas sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemerí</u> en 40 plantas de fríjol.	176
32.	Efecto del tipo de asociación fríjol-bledo sobre la población de adultos de <u>E. kraemerí</u> en 160 plantas de blede.	177

TABLA No.		PAGINA
33.	Efecto de los bordes de gramíneas y de maíz sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en 100 plantas de fríjol.	177
34.	Efecto de los bordes de gramíneas y de maíz sobre la población ninfal de <u>E. kraemeri</u> en 20 hojas de fríjol.	177

LISTA DE FIGURAS

FIGURA No.		PAGINA
1.	Diseño experimental y distribución de las parcelas en el Experimento N° 1	25
2.	Pluviometría registrada durante el experimento N° 1.	39
3.	Diseño experimental y tipo de asociaciones utilizadas en el ensayo con fríjol y bledo.	45
4.	Sistemas de bordes de maíz (M) y gramíneas (Gr) en cultivos de fríjol.	45
5.	Diseño del 1er. ensayo de siembra escalonada de fríjol respecto al maíz.	49
6.	Distribución de parcelas para la aplicación de soluciones de malezas.	49
7.	Cámara de preferencia para <u>E. kraemeri</u> .	52
8.	Distribución de materas en jaulas para el estudio de la reproducción de <u>E. kraemeri</u> .	52

FIGURA No.		PAGINA
9.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre los promedios poblacionales de ninfas de <u>E. kraemeri</u> en fríjol.	62
10.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre los promedios poblacionales de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol.	62
11.	Dinámica poblacional de adultos de <u>E. kraemeri</u> en mono (F) y policultivos (MF) de fríjol.	63
12.	Dinámica poblacional de ninfas de <u>E. kraemeri</u> en mono (F) y policultivos (MF) de fríjol.	63
13.	Abundancia de adultos de <u>Condylostylus</u> sp. (Diptera: Dolichopodidae) en mono (F) y policultivos (MF) de fríjol.	66
14.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre la dinámica poblacional de hemipteros predadores en fríjol.	67
15.	Abundancia de hemipteros predadores en mono (F) y policultivos (MF) de fríjol.	67

FIGURA No.		PAGINA
16.	Población de hemipteros predadores en malezas en los mono y policultivos.	68
17.	Población de Dolichopodidae en malezas en los mono y policultivos.	69
18.	Efecto de la diversidad de habitat sobre el parasitismo de huevos de <u>Empoasca</u> por <u>Anagrus</u> sp.	72
19.	Efecto de la diversidad de malezas sobre la dinámica de otros homopteros en fríjol.	73
20.	Dinámica de otros homopteros en mono y policultivos de fríjol.	75
21.	Efecto de las malezas en la dinámica poblacional de adultos de <u>E. kraemeri</u> en los mono y policultivos.	75
22.	Efecto de cinco densidades de malezas sobre la población de <u>D. balteata</u> en fríjol.	79
23.	Dinámica poblacional de <u>D. balteata</u> en mono (F) y policultivos (MF) de fríjol.	79

FIGURA No.		PAGINA
24.	Intensidad de daño de crisomélidos en fríjol en los diferentes sistemas.	81
25.	Frecuencia de daño de crisomélidos en fríjol en los diferentes sistemas.	82
26.	Influencia de los sistemas de cultivos y densidades de malezas en el daño del ácaro tropical en fríjol en dos épocas.	84
27.	Influencia de los sistemas de cultivo y las densidades de malezas sobre el daño de trozadores en maíz.	85
28.	Influencia de la diversidad de malezas sobre la dinámica poblacional del cogollero en maíz.	86
29.	Dinámica poblacional del cogollero en mono y policultivos de maíz.	86
30.	Influencia de los sistemas de cultivo y las densidades de malezas sobre el parasitismo de larvas de <i>Spodoptera</i> por <u>Meteorus</u> sp. y patógenos.	88

FIGURA No.		PAGINA
31.	Rendimiento de fríjol en sistemas monoculturales y policulturales diversificados con cinco densidades de malezas.	89
32.	Rendimiento de maíz en sistemas monoculturales y policulturales diversificados con cinco densidades de malezas.	89
33.	Relación equivalente de terreno (LER) en cinco sistemas policulturales maíz-fríjol diversificados con malezas.	89
34-36.	Dinámica relativa de malezas gramíneas y hoja ancha en los diferentes sistemas de cultivos.	92
37-39.	Dinámica relativa de bledo y pata de gallina en la comunidad de malezas en los diferentes sistemas de cultivos.	93
40.	Efecto del tipo de malezas sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol.	96
41.	Efecto del tipo de malezas sobre las poblaciones de adultos de <u>D. balteata</u> en fríjol.	97

FIGURA No.		PAGINA
42.	Efecto del tipo de asociación fríjol-bledo sobre la dinámica de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol.	102
43.	Densidad de <u>E. kraemeri</u> en bledo bajo dos sistemas de asociación fríjol-bledo.	102
44.	Efecto del tipo de asociación fríjol-bledo sobre la dinámica de adultos de <u>D. balteata</u> en fríjol.	104
45.	Densidad de <u>D. balteata</u> en bledo bajo dos sistemas de asociación fríjol-bledo.	104
46.	Efecto de la aplicación de soluciones de malezas sobre la población de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol.	105
47.	Efecto de la aplicación de soluciones sobre la población de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol (una tendencia preliminar).	110
48.	Efecto indirecto de la aplicación de soluciones de malezas en el rendimiento del fríjol.	110
49.	Preferencia de adultos de <u>Empoasca</u> por hojas de fríjol solos o con tres hojas de gramíneas en sistemas abiertos y cerrados.	114

FIGURA No.		PAGINA
50.	Efecto de los bordes de gramíneas y maíz sobre las poblaciones de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol.	116
51.	Efecto de los bordes de gramíneas y maíz sobre la población ninfal de <u>E. kraemeri</u> en fríjol.	116
52.	Efecto de la siembra escalonada de maíz sobre la dinámica poblacional de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol.	119
53.	Efecto acumulado de dos épocas de siembra de maíz sobre la dinámica poblacional de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol.	119
54.	Efecto de seis épocas de siembra diferentes de maíz en la población de adultos de <u>E. kraemeri</u> en fríjol (2a. replicación).	124
55.	Efecto de seis sistemas de siembra escalonada de maíz sobre la población ninfal de <u>E. kraemeri</u> en fríjol a los 30 días (2a. replicación).	125

FIGURA No.		PAGINA
56.	Efecto de seis épocas de siembra diferentes de maíz sobre la población de adultos de <u>D. balteata</u> en frijol .	126
57.	Efecto de la siembra escalonada de frijol sobre la población de cogollero en maíz .	131
58.	Efecto de la siembra escalonada de frijol sobre el parasitismo de larvas de <u>Spodoptera</u> en maíz .	132
59.	Efecto de las variedades arbustivas y volubles sobre la incidencia de cogollero en maíz .	137

1. INTRODUCCION

La aplicación directa de la tecnología agrícola de las zonas templadas en el trópico ha sido ampliamente discutida por algunos ecólogos, (Igzoburike, 1971 ; Dickinson, 1972 y Odum, 1972).

Para Janzen (1973) el tipo de investigación reduccionista y antiholística conducida en los trópicos, hasta el momento no ha tenido un impacto directo e impresionante en la conversión de los habitats tropicales en sistemas agrícolas de alta producción. Esta crítica también puede ser extendida al enfoque unilateral con preponderancia en el control químico que dan los textos de agricultura tropical a los problemas de plagas de insectos (Hubbell, 1965, Phillips, 1966, Thomas, 1967 y Wrigley, 1969). Este tipo de orientación ha inducido al desarrollo de estrategias erróneas en el manejo de agroecosistemas tropicales. Dentro del contexto del control de plagas este proceso se refleja en dos aspectos fundamentales:

- Evolución de resistencia e insecticidas por parte de los insectos. González (1976) menciona 35 casos comprobados en latinoamérica.
- Alta susceptibilidad de las "variedades mejoradas" a las plagas debido a su uniformidad genética y horticultural. (Pimentel, 1961 y Nickel, 1973).

La dinámica de este proceso es más fácil de observar cuando se analiza la situación en un cultivo determinado; en este caso, se seleccionó el frijol (Phaseolus vulgaris).

El fríjol es un cultivo ampliamente distribuido en fincas de pequeños agricultores en América Tropical, constituyendo un componente esencial en la dieta popular (18-25% de proteína). A nivel de minifundio se cultiva asociado y se maneja con un mínimo de inversión tecnológica y energética; en general estos sistemas alcanzan un estado de "equilibrio biológico" con el ecosistema local. Bajo estas condiciones los retornos en términos de rendimiento, alcanzan un promedio de 600 kg/ha (Gutiérrez, et al., 1975) valores que se consideran bajos al compararse con sistemas comerciales que funcionan a base de aplicaciones masivas de fertilizantes, pesticidas, riego y uso de maquinaria.

Dentro del campo entomológico el fríjol es una especie asociada a un amplio espectro de insectos. De acuerdo a Gutiérrez, et al. (1975) existen más de 90 especies que atacan al fríjol en latinoamérica. CIAT (1973) informa de 208 especies, sin embargo parece ser que no más de 15 especies son de importancia económica y entre éstas se destacan en orden de importancia: Empoasca Kraemeri, Chrysomelidae (Diabrotica sp. y Ceratomyza sp., etc.), gusanos defoliadores (Estigmene acrea, Hedylepta indicata, etc.) gusanos trozadores (Spodoptera frugiperda, Feltia sp., Agrotis sp.) y otros (Epilachna varivestis y Apion godmani).

El enfoque para el control de plagas, se ha concentrado principalmente en el uso de insecticidas y en el desarrollo de variedades resistentes. Wrigley (1969) describe los tratamientos químicos para las principales plagas con productos tales como Malathion, Diazinon, DDT y Sevin. El manejo de estos productos es complicado y

en el futuro se deberá afinar lo relacionado a épocas y precisión de aplicación ya que se han observado problemas colaterales tales como retardo en la cosecha y disminución de la producción de semilla (CIAT, 1973). Además ya es bien conocida la acción perturbadora de algunos de estos pesticidas en la fisiología de algunos animales y en la dinámica general de los ecosistemas sobretudo al aplicar en épocas no apropiadas o en sobredosis. Igualmente los precios de estos productos se están incrementando rápidamente, de acuerdo al precio del petróleo.

La resistencia varietal ha constituido el principal enfoque en el manejo de las poblaciones de Empoasca kraemeri, El CIAT ha ensayado alrededor de 5.000 variedades de frijol, encontrando un rango que va desde un grado intermedio de resistencia a susceptibilidad completa. (CIAT, 1974). Hasta el momento no se ha conseguido un alto nivel de resistencia aunque se han identificado 14 líneas promisorias (CIAT, 1975). Sin embargo este enfoque es cuestionable ya que se desconoce el potencial coevolutivo de Empoasca y el mecanismo de resistencia parece estar sujeto a las variaciones determinadas por la interacción genotipo ambiente. Por ejemplo algunas variedades se comportan provisoriamente en un ambiente de acuerdo a la estación seca o lluviosa (CIAT, 1975) otras lo hacen bien en un medio ecológico, pero no así en otro ecoclimáticamente diferente.

Otras investigaciones (CIAT, 1973, 1974) han determinado la dinámica poblacional de E. kraemeri en las épocas secas y lluviosas y han establecido preliminarmente el nivel de daño económico en menos de 3 ninfas/hoja y lo más importante

dentro dentro del alcance del presente estudio una menor densidad poblacional de ninfas en policultivos de maíz y fríjol. Mediante el presente estudio se pretende enfatizar que el sistema agrícola más racional (y estable en lo que se refiere a plagas) para el trópico es aquel que simula más estrechamente las características estructurales y funcionales de los ecosistemas tropicales.

Los policultivos han formado parte del tradicionamismo de pequeños agricultores y caracterizan a los agroecosistemas tropicales. Se estima que en latinoamérica el 60% del maíz y el 80% del fríjol se cultivan asociados (Francis, et al., 1975) y la adopción de este esquema policultural por los pequeños agricultores parece haber estado condicionado (entre otros criterios) por la menor incidencia de plagas y enfermedades. Sin embargo hasta el momento los ensayos se han concentrado en la evolución parcial de aspectos relacionados con la competencia entre malezas y cultivos, área foliar e intercepción de luz, sistemas y épocas de siembra, comportamiento de variedades y rendimiento de granos desconociéndose en forma cualitativa la dinámica y comportamiento de las poblaciones de insectos en esta asociación.

Igualmente, las malezas han sido identificadas como factores que limitan la producción de fríjol a través de su impacto competitivo (Gutiérrez, et al., 1975 y Doll, 1975) pero se desconoce su papel en la biología de las plagas de fríjol y en general en el funcionamiento general de la comunidad de insectos asociados a este cultivo.

Las malezas son componentes importantes de los agroecosistemas y contribuyen

definitivamente con la riqueza faunística de estos sistemas. En el trópico se han descrito hasta 277 especies (García et al. 1975) y se han determinado hasta 30 especies de insectos asociados con una sola especie. (Figueroa, 1976). Numerosas evidencias experimentales enfatizan la importancia de las malezas como elementos irremplazables en el manejo de algunas plagas.

Basándose en las anteriores consideraciones, el enfoque del presente estudio fue desarrollar una estrategia ecológica para explicar algunas desventajas de los monocultivos de fríjol con respecto a los problemas de plagas, en agroecosistemas tropicales. Los objetivos del estudio fueron:

- a) Estudiar la dinámica poblacional de las principales plagas de maíz y fríjol en mono y policultivos, libres de malezas y diversificados con malezas, para determinar las interacciones entre cultivos, malezas e insectos. Así se puede establecer niveles tolerables de malezas que ejerzan efectos reguladores sobre las poblaciones insectiles presentes.
- b) Buscar interacciones benéficas entre fríjol-malezas e identificar los mecanismos de regulación.
- c) Determinar el efecto de diferentes épocas de siembra de maíz y fríjol sobre la dinámica de algunas plagas en la asociación.
- d) Cuantificar el rendimiento de granos, variación de parámetros microclimáticos, tipos y niveles de daño, estudios de preferencia y otras relaciones ecológicas.
- e) Desarrollar y proponer estrategias de manejo de agroecosistemas tropicales

en base a policultivos y monocultivos diversificados con malezas de manera de garantizar el funcionamiento de mecanismos de regulación de plagas y a la vez obtener rendimientos aceptables.

La comprobación científica de la mayor estabilidad de los policultivos de maíz y frijol y de los monocultivos diversificados con malezas constituye una promisoría alternativa para los pequeños agricultores ya que les permite superar de una manera simple y económica las limitaciones impuestas por las plagas y malezas, sin que estos tengan que modificar mayormente sus diseños y prácticas tradicionales, mediante el uso de insecticidas y herbicidas, ni mediante el uso de variedades mejoradas. De esta manera entonces se permite al pequeño agricultor continuar con los esquemas policulturales, que a lo largo del tiempo han sido los únicos que les han dado más seguridad y han satisfecho en cierto grado sus requerimientos nutricionales económicos.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Agroecosistemas

El término agroecosistemas se deriva del término "ecosistema" y enfatiza las características especiales de los ecosistemas agrícolas.

De acuerdo a Odum (1972) un ecosistema es una unidad biológica organizada, constituida por todos los organismos de un área determinada interactuando con el ambiente físico, de manera que se originan flujos energéticos, ciclos de materiales y estructuras tróficas características dentro del sistema. Margaleff (1968) considera el ecosistema como un sistema cibernético en cuyo seno los organismos son elementos de interacción entre sí ó con una matriz ambiental organizada.

Smith (1966) define el ecosistema como la principal unidad ecológica la cual posee estructura y función. La estructura se relaciona con la diversidad de especies y la función se relaciona con el flujo energético y el ciclaje de nutrientes a través de los miembros estructurales del ecosistema.

Los ecosistemas tienden hacia la madurez pasando de estados menos complejos a estados más complejos. La principal unidad funcional del ecosistema es la población, la que ocupa un nicho funcional determinado en el flujo energético y el ciclaje de materiales. Las relaciones entre poblaciones crea nuevos nichos, de manera que la acumulación de especies en un ecosistema, y el incremento en madurez y com-

plejidad son hasta cierto punto procesos de autorregulación.

Según Smith y Reynolds (1972), el agroecosistema es una unidad compuesta por el complejo total de organismos de un área agrícola, junto a todo el ambiente externo, condicionado por todas las actividades agrícolas, industriales, recreacionales y sociales del hombre. Los principales componentes del agroecosistema son los cultivos, el suelo, el ambiente físico y químico, la energía solar, la fauna agrícola y el hombre. Bajo ciertas condiciones algunos elementos adicionales (malezas, patógenos, plagas) pueden constituirse en componentes dominantes del sistema.

Para Hart (1974) el agroecosistema es un ecosistema en el que el consumo primario y el manejo son ejercidos solo por el hombre. Existen claras diferencias estructurales y funcionales entre los agroecosistemas y los ecosistemas naturales. Estas características ecológicas pueden afectar la ocurrencia y abundancia de plagas basándose en los siguientes puntos:

(Solomon, 1973; y Southwood y Way, 1970).

- Control Humano: todas las manipulaciones culturales (elección de cultivos y variedades, fertilización, riego, pesticidas y control de malezas,) pueden afectar drásticamente los complejos de plagas y enemigos naturales.
- Baja diversidad biótica: la falta relativa de diversidad y estabilidad en un agroecosistema lo hace potencialmente susceptible a plagas. En estos

sistemas se homogenizan e incrementan las condiciones de colonización para plagas y se minimizan las condiciones de desarrollo de enemigos naturales.

- Reducida competencia: la adopción de patrones definidos de siembra y el uso de herbicidas reducen la competencia intra e interespecífica de los cultivos. Muchas veces los cultivos alcanzan una alta suculencia y abundancia local, tornándose más atractivos para las plagas. La mayoría de los cultivos poseen más nutrientes y agua en sus tejidos que plantas de un ecosistema natural.

- Mínima permanencia: la mayoría de los cultivos son anuales y son rotados periódicamente dificultándose el establecimiento de un control biológico eficiente de plagas.

- Falta de diversidad intraespecífica: los cultivos en un agroecosistema son generalmente de la misma edad y variedad por lo que existe un limitado rango genotípico y una marcada sincronización en los procesos de floración. Esto puede influenciar el estado poblacional de una plaga.

- Inmadurez e inestabilidad: los agroecosistemas constituyen sistemas sucesionales pioneros, cuyo estado de organización es aún inmaduro.

De acuerdo al modelo tabular de sucesión ecológica de Odum (1972), los agroecosistemas a base de monocultivos son sistemas jóvenes y las principales tendencias que cabe esperar en su desarrollo son:

- a) Razón producción bruta/respiración de la comunidad mayor ó menor que 1.

- b) Razón producción bruta/biomasa alta
- c) Razón biomasa soportada/unidad energética baja
- d) Rendimiento alto de cultivos
- e) Cadenas tróficas lineales
- f) Diversidad de especies baja
- g) Diversidad bioquímica baja
- h) Estratificación y heterogeneidad espacial poco organizada
- i) Especialización de nicho amplio
- j) Ciclos biológicos breves y simples
- k) Ciclos minerales abiertos
- l) Estabilidad pobre
- m) Entropía alta
- n) Información baja (cuando se considera el ecosistema como un sistema cibernético).

2.2 La teoría de la diversidad y estabilidad

Para algunos ecólogos la diversidad de especies es una de las tantas formas de complejidad biológica que imparte estabilidad a los ecosistemas. Por estabilidad se entiende la habilidad de un ecosistema de retornar ó permanecer en su estado original, después de sufrir una perturbación externa. Según Van Emden y Williams (1974), estabilidad es la escasez de explosiones poblacionales en la historia de una comunidad, Parece ser que la definición más satisfactoria es la que se refiere a la

persistencia del estado de equilibrio en el tiempo. Margaleff (1968) dice que la estabilidad es consecuencia de las interacciones registradas dentro del sistema.

Diversidad en ecosistemas generalmente se refiere a la composición de especies ó más bien al número de especies por unidad de individuos. (Van Emden y Williams, 1974). Margaleff (1968) considera que la diversidad de especies constituye una medida preliminar de la cantidad de información proyectable en un ecosistema. Toda diversidad expresa el rango de posibilidades de construir sistemas de retroalimentación y una mayor diversidad significa cadenas tróficas más largas, más casos de parasitismo, simbiosis e interacciones interespecíficas en general.

Southwood y Way (1970) concluyeron que la diversidad y estabilidad en ecosistemas han compartido una evolución paralela y una mayor diversidad significa una mayor estabilidad. La diversidad de especies probablemente imparte estabilidad al proveer canales alternativos para el flujo de energía y nutrientes a través del ecosistema. Otra posible ventaja del mayor número de especies en una comunidad es que existen menos nichos vacíos y por lo tanto menos oportunidades de invasión para especies nuevas (Holdren y Ehrlich, 1974).

Para Pimentel (1961) la diversidad de especies huésped adiciona fuentes alternativas de alimentos para parásitos y predadores aumentando las posibilidades de estabilidad, debido a que se incrementan las cadenas capaces de mantener a estos consumidores secundarios. Además, la diversidad de especies predadores y parasitoides alimentándose de una sola especie huésped incrementa el control de los primeros.

Según Elton (1958) los ecosistemas con cadenas tróficas simples son altamente inestables y sus poblaciones fluctúan violentamente. Por su parte, MacArthur (1955) afirma que la estabilidad de una comunidad es función del número de uniones tróficas entre especies en una cadena de alimentos. Él argumenta que mientras más uniones tróficas existan, se incrementan los mecanismos compensatorios en caso de que una especie se torne rara ó abundante. Este tipo de relación se denomina " la respuesta funcional " y refleja el caso de que si una especie fitófaga se torna rara, otros fitófagos sirven como presas o huéspedes alternativas para sus predadores y parásitos pilifagos.

De acuerdo a Watt (1968) la estabilidad en comunidades es complicada puesto que un cambio en la organización en un nivel trófico puede tener un tipo de efecto en ese nivel y otro, incluso negativo, en otro nivel.

La complicación se origina debido a que la complejidad de estructura en un nivel de la cadena produce estabilidad en ese nivel pero inestabilidad en otro nivel. Por ejemplo al considerar qué sucede cuando hay una gran competencia al nivel predador, si un predador incrementa su abundancia por factores extrínsecos, la intensidad de competencia entre los predadores se incrementa, debilitando la presión sobre el nivel fitófago, situación que en algunos casos condiciona explosiones de poblaciones plaga.

Southwood y Way (1970) consideran que la relación estabilidad-diversidad es altamente discutible y que la estabilidad de un sistema no solo depende de su di-

versidad trófica, sino que además depende del estado actual de las uniones tróficas y del grado de respuesta de las especies de un nivel superior a las fluctuaciones del nivel trófico inferior.

Van Emden y Williams (1974) consideran que la clave para la estabilidad reside en la reducción del flujo energético resultante de la organización de la biomasa, y afirman que es posible incrementar la estabilidad, aumentando la productividad (P) y la biomasa (B) sin cambiar el radio P/B. Una vez que un sistema llega a ser complejo, la diversidad adicional tiene poco ó ningún efecto sobre la estabilidad y más bien esto resulta de la madurez en la organización de la biomasa.

Way (1971) considera que es fundamental no confundir estabilidad de la comunidad con estabilidad de especies, ni tampoco se debe asumir que las poblaciones de fitófagos existentes en una comunidad estable son lo suficientemente bajas para no causar daño. La estabilidad de especies se refiere a la mantención de un promedio poblacional alrededor del cual se manifiestan fluctuaciones pequeñas. Esto no significa entonces que los promedios y picos alcanzados sean tan bajos como para no causar daño.

2.3 Diversidad y estabilidad en agroecosistemas

Según Elton (1958) el monocultivo limita la diversidad vegetal y debido a que la mayoría de los cultivos son especies exóticas realmente no ha transcurrido el tiempo necesario para que se desarrolle una fauna natural que coexista con estos.

De acuerdo a De Loach (1970) los principales problemas de plagas agrícolas tienen su origen en áreas caracterizadas por mono ó semimonocultivos, en los que se reduce la riqueza faunística y se simplifica la flora. El mismo autor plantea que en estos ecosistemas se reducen las fuentes de alimento y sitios de invernación y abrigo de los enemigos naturales. Los ecosistemas agrícolas tienden a ser inestables debido a las prácticas culturales y a la simplificación ecológica derivada principalmente del uso intensivo de pesticidas (Smith y van den Bosch, 1967).

Sin embargo Way (1971) no acepta esta generalización y menciona que en Inglaterra en 1966 se cultivaron más de 3,75 millones de hectáreas de monocultivos de cereales, y la pérdida total por plagas en ausencia de medidas de control fue de un 7%.

Considerando la teoría de diversidad-estabilidad ya descrita, son más estables los agroecosistemas a base de cultivos asociados y los perennes. Se puede superar la falta de diversidad dentro de un área cultivada, mediante una manipulación del número, tipo y edad de plantas y por medio de prácticas culturales (Southwood y Way, 1970). En algunos casos se ha observado que la presencia de bordes de vegetación natural y ciertas malezas incrementan la diversidad en habitats agrícolas (Solomon, 1973).

Root (1973) afirma que en ambientes complejos y diversificados, los predadores y parásitos son más efectivos. Bajo estas condiciones existe una mayor diversidad de presas y especies huésped y mayor variedad de microhabitats. Se ha observado

que en estos sistemas, pueden desarrollarse poblaciones relativamente estables de insectos benéficos, ya que estos pueden explotar una amplia variedad de fitófagos disponibles. Igualmente los predadores y parásitos especializados fluctúan menos debido a que sus presas y huéspedes encuentran fácilmente refugio y escapan de una aniquilación total.

Además los habitats diversificados ofrecen importantes requisitos para los predadores y parásitoides de adultos, tales como polen y fuentes de néctar generalmente no disponibles en los monocultivos (van Emden, 1965). De esta manera las explosiones incipientes de fitófagos son tempranamente reguladas por una respuesta funcional de los enemigos naturales, previniéndose así la monopolización de los recursos por parte de especies plaga.

Para Tahvanainen y Root (1972) la "resistencia asociativa" que resulta de la mayor complejidad taxonómica y microclimática presente en las comunidades diversificadas tiende a reducir las explosiones de fitófagos. Es posible que el éxito en la regulación de plagas en agroecosistemas depende de la introducción de un solo elemento de diversidad, pero poderoso. En otras palabras el tipo correcto de diversidad es fundamental para cualquier programa moderno de manejo de plagas (van Emden y Williams, 1974).

2.4. Evidencias experimentales (Policultivos)

La agricultura moderna se caracteriza por su requerimiento de simplificación

ambiental y su alta especialización de manejo, situación que pueden resultar en graves problemas de plagas. La observación de estos hechos ha motivado a los agroecólogos a explorar más profundamente la naturaleza de los monocultivos e investigar experimentalmente la relación entre la diversidad de especies y las explotaciones poblacionales en los agroecosistemas. Hace 40 años Marcovitch (1935) pensaba en un manejo cultural adecuado que tienda a incrementar la efectividad de los enemigos naturales nativos. De esta manera recomendaba:

- La siembra de plantas de col, mostaza y colza alrededor de campos de melón para mantener altas poblaciones de coccinélidos.
- la siembra de caupí forrajera en campos de algodón para estimular las poblaciones de parásitos (Eurytoma sp.) que se alimentan sobre picudos. Una vez quitadas las plantas de caupí se obliga a los parásitos a desplazarse a los campos de algodón y así controlar el picudo. El mismo efecto se ha logrado con malezas tales como Croton sp. y Amorpha sp., etc.
- El cultivo intercalado de duraznero con fresas, ya que se forma un habitat favorable para el desarrollo de parásitos polífagos (Macrocentrus ancylivora, Microbracon gelechise, Lixophaga variabilis, etc.) que atacan plagas de ambos cultivos (Ancylis comptana en fresa y Laspeyresia (Grapholita) molesta en duraznero).

El mismo autor justifica el valor de algunas plantas para cultivarlos asociados ó intercalados con otros cultivos ya que constituyen buenas fuentes de polen y néctar y atraen numerosos insectos fitófagos junto a sus enemigos naturales. Es el caso del algodón que constituye una fuerte atracción para Himenópteros y cocciné-

lidos. El maíz y el sorgo atraen muchos enemigos naturales de pulgones (Sífidos y coccinélidos) por su gran cantidad de polen. Además estos cultivos poseen constantemente poblaciones altas de Aphis maidis, proveyendo de alimento suficiente a los coccinélidos.

De Loach (1970) cita cuatro ejemplos clásicos que enfatizan el hecho de que el efecto de la diversidad sobre el control depende del grado en que se satisfagan los requerimientos de los complejos plagas-enemigos naturales. El primer ejemplo se refiere a las explosiones de Heliothis virescens en los monocultivos de algodón del Valle Cañete en Perú, en que los tratamientos de insecticidas eran inútiles y el control se logró finalmente restableciendo la diversidad del cultivo, cultivando lino en el invierno. Explosiones posteriores se regularon con cultivos en fajas de maíz con algodón.

El segundo ejemplo proviene de Waco, Texas, donde medidas de conservación de suelo, tales como cultivos de cobertura de trébol en cebada, redujeron la incidencia de plagas y la cantidad de daño. La proporción de insectos benéficos también se incrementó.

El tercer ejemplo se refiere a resultados obtenidos en cultivos de algodón en California donde no se aplicó insecticida y sin embargo los rendimientos fueron mayores que en las áreas tratadas, dada la gran acción de los predadores sobre Heliothis.

El último ejemplo se deriva de un ensayo en Missouri en que se comparó mo-

nocultivos de algodón con cultivos en fajas de algodón con alfalfa por un lado y maíz o cebada y soya por el otro lado. Los cultivos en fajas presentaban gran abundancia de predadores (Orius insidiosus, Hippodamia convergens y Coleomegilla maculata) y que a la vez presentaron gran actividad en el habitat diversificado. El daño de Heliothis zea fue significativamente menor en las parcelas con fajas y la sobrevivencia de huevos de Trichoplusia ni fue mínima en sistemas diversificados.

Uno de los casos más estudiados de intercalación de cultivos para el control de plagas es el cultivo en franjas de alfalfa en campos de algodón. De acuerdo a Van den Bosch y Stern (1969) la cosecha en franja de la alfalfa previene la emigración de ciertas especies en la época de cosecha y mejora la sincronía espacial y temporal entre las plagas y sus enemigos naturales. En general, el cultivo en fajas reduce la severidad del ataque de Lygus hesperus e incrementa la efectividad del control biológico de otras plagas.

Stern (1969) resalta el papel de las fajas como cultivo trampa para Lygus y como insectario de enemigos naturales de otras plagas. Estos agentes vuelan hacia los campos de algodón adyacentes para atacar los huevos y larvas de Heliothis zea, Trichoplusia ni y Spodoptera exigua.

Para Sevacherian y Stern (1974) la cosecha en franjas de alfalfa mantiene a esta planta verde y atrae más a Lygus evitando su migración a cultivos de algodón. Fajas de 6 metros de ancho interplantadas a intervalos de 40 a 180 metros demuestran claramente la preferencia de Lygus hesperus y L. elisus por estas fajas.

Burleigh (1973) construyó un ecotono agrícola combinando algodón con sorgo y maíz para romper el monocultivo y aumentar la proporción de presas de manera de incrementar la acción de predadores. Se observó un mayor número de predadores en policultivos de algodón con sorgo (Hippodamia sp., Collops sp., Chrysopa spp. y Nabis spp.). Esta situación favoreció especialmente a Hippodamia, que alcanzó 2.57 individuos/100 terminales en algodón asociado con sorgo y solamente 1.71 individuos/100 terminales en policultivos de algodón-maíz. La explicación reposa en que el sorgo posee áfidos (Rhopalosiphum maidis) y chinches verdes (Schizaphis graminum) que atraen a Hippodamia. Estas observaciones han sido confirmadas por Robinson et al. (1972) quienes concluyen que los cultivos en fajas de sorgo proveen un habitat óptimo para el desarrollo de predadores y parásitos del complejo Heliothis.

Van Emden y Williams (1974) afirman que frecuentemente el establecimiento de una sola especie vegetal extra es todo lo que se necesita para la reducción de problemas de plagas. Por ejemplo en el Valle de San Joaquín en California, al sembrar moras silvestres ó comerciales cerca de viñedos, favoreció a Anagrus epos que parasita a un saltahoja de la vid, ya que las moras proveen de presas alternativas (el saltahoja Dikrella cruentata) durante el invierno. Igualmente, Macrocentrus ancylihora es un parásito de la polilla de la fruta en áreas donde se cultivan fresas cerca de huertos de duraznero. Las fresas proveen de hospederos alternativos durante el invierno.

La intercalación de Dolychos lablab, atrae las polillas de Heliothis aleján-

dolos del algodón. Por su parte Dempster y Coaker (1974) asociaron cultivos de crucíferas (Brassica) con trébol blanco y rojo y encontraron que:

- El trébol redujo grandemente el número de huevos colocados por Erioischia brassicae
- la presencia del trébol redujo la colonización de Brevicoryne brassicae
- Pieris rapae redujo sus poblaciones en las parcelas interplantas debido a la presencia de predadores, principalmente Harpalus rufipes y Phalangium opilio.

Hasta el momento poco se sabe de la dinámica de plagas en los cultivos asociados tradicionales en el trópico. En Colombia (CIAT, 1974) las poblaciones ninfales de Empoasca sp. en frijol asociado con maíz fueron menores que en frijol no asociado. Esta reducción en la población ninfal fue más marcada cuando se sembró el maíz 20 días antes que el frijol. En las Filipinas (Raros, 1973), el maíz intercalado con maní fue menos infestado por Ostrinia furnacalis. Igual sucedió con Plutella xylostella en cultivos intercalados de tomate con repollo.

Al interplantar tomate y tabaco en parcelas de Brassica oleraceae, fue menor la reproducción y colonización de Phyllotreta cruciferae. Parece que los olores de estas plantas no huéspedes, inhiben la alimentación de este coleóptero (Tahvanainen y Root, 1972). En México, canavalia asociada con maíz redujo el ataque de Prorachia daria y Spodoptera frugiperda (Guevara, 1962).

Para Smith y Reynolds (1972) la estrategia debe consistir en elegir la clase

correcta de diversidad ya que el mismo tipo de diversidad puede ser benéfico en un lugar y perjudicial en otro. Por ejemplo en Tanzania y California al intercalar maíz con algodón se incrementó el daño por Heliothis, sin embargo en Perú el mismo tipo de diversidad favoreció el control de Heliothis virescens. La asociación de algodón con maíz no es recomendable para el control de Heliothis.

Estudios Experimentales de Beingolea (1957) en que se sembró maíz intercalado o en bloques en algodón apoyan esta última observación.

También se ha reportado una mayor severidad de chinches en maíz asociados con cultivos de granos pequeños y ataques más fuertes al Cyclocephala immaculata en soya y algodón cuando estos se cultivan cerca de trigo infestado (Nickel, 1973).

2.5 Los cultivos asociados como ecosistemas idealizados.

Los términos policultivos, cultivos asociados, cultivos intercalados, mixtos y dobles se han utilizado hasta el momento en forma intercambiada para referirse al hecho de sembrar más de un cultivo en un área determinada durante el mismo año, los cuales se pueden sembrar al mismo tiempo o en épocas diferentes. Francis, et al (1975) han intentado una clasificación de los cultivos múltiples de acuerdo a las diversas alternativas en espacio y tiempo.

Por su parte Hart (1974) engloba estos sistemas bajo el nombre de policultivos y los define como sistemas en que se siembran dos o más cultivos con la suficiente proximidad espacial de manera que se observe competencia interespecífica. Esta

interacción puede tener efectos estimulantes o inhibitorios y de acuerdo a esto los policultivos pueden clasificarse en:

Policultivo comensalístico: 1) Cuando la interacción entre cultivos tiene un efecto neto positivo sobre una especie y efectos no observables sobre la otra especie. (Ej. árboles de sombra en cafetales y cacao).

Policultivo amensalístico: 1) Cuando la interacción entre cultivos tiene un efecto neto negativo sobre una especie y efectos no observables sobre la otra. (Ej. cultivos anuales combinados con perennes: caucho con maní, soya, maíz, yuca y arroz).

Policultivo monopolístico: 1) Cuando la interacción entre cultivos tiene un efecto neto positivo sobre una especie y un efecto neto negativo sobre la otra. (Ej. cultivos principales combiandos con cultivos acompañantes. La asociación maíz-fríjol pueden considerarse monopolística al evaluarse los rendimientos).

Policultivo inhibitorio: 1) Cuando la interacción entre cultivos tiene un efecto neto negativo sobre ambas especies (Ej. la mayoría de los policultivos indígenas reportados por Hart (1974)).

En las Filipinas (IRRI, 1973) se han investigado dos sistemas al sembrar, cultivos dominantes y un cultivo secundario. En uno el cultivo dominante se cosechó primero y en el otro sistema se cosechó el cultivo secundario antes o simultáneamente con el cultivo dominante.

En Colombia, Higuera (1971) describe una serie de modelos de siembras múltiples e intercaladas para clima frío que consisten en aprovechar los espacios que dejan los cultivos de período vegetativo largo, para sembrar en ellos otros cultivos de un período vegetativo menor. En estos sistemas se ha observado un uso más intensivo de los factores edáficos y climáticos al incrementarse el área foliar total y el espacio radical. En efecto, la mayoría de las veces se incrementa el patrón de intercepción de luz y la eficiencia de utilización del nitrógeno aplicado (IRRI, 1973). Basándose en los rendimientos obtenidos en varias localidades (India, Filipinas, Nigeria, México, Colombia, Costa Rica y El Salvador) se puede concluir que la correcta combinación de cultivos puede incrementar la productividad en 30% al compararse con los monocultivos. La configuración de los cultivos y la época del período de superposición (overlap) son importantes factores para el éxito de estos sistemas. En la asociación maíz frijol los rendimientos del frijol generalmente se reducen, pero son influenciados por las densidades de siembra (especialmente densidad del maíz), fechas de siembra, sistemas de siembra (variación en diseños de siembra sobre los surcos) y el tipo de maíz utilizado (normal o braquítico) (Francis, et al, 1975). Estos autores consideran que en nuevos ensayos, con densidades más altas de frijol, variaciones en las fechas de siembra y orientación física de los dos cultivos se reduzca esta competencia interespecífica y se logren aumentar los rendimientos del frijol. Si se acepta la existencia de situaciones de competencia y de complementación (como en el caso del soporte que un cultivo le presta a otro) la estrategia es minimizar la competencia y maximizar la complementación y/o transferencia entre ellos. El maíz no

presentó reducciones en sus rendimientos y muy frecuentemente los incrementaba en la mayoría de los sistemas y semestres estudiados en CIAT (CIAT, 1974).

Se han descuidado los aspectos del manejo de plagas y malezas en los sistemas de cultivo asociado. Basándose en observaciones preliminares se puede afirmar que la intercepción de luz es un factor que explica parcialmente las diferencias en las respuestas de las malezas en los policultivos (IRRI, 1973). En algunos casos la presencia de un cultivo de alta capacidad competitiva suprime a las malezas más sensitivas. Sin embargo este aspecto depende de las condiciones de crecimiento y del tipo de malezas. Se ha observado un excelente control competitivo de malezas en sistemas intercalados de maíz con Phaseolus aureus (mung bean) (Bantilan y Harwood, 1973).

Las relaciones de insectos en los sistemas tradicionales, siempre han mostrado un alto nivel de estabilidad. Nuevamente observaciones preliminares de los trozadores al combinar maíz con maní sugieren un menor incidencia de plagas en cultivos asociados. (IRRI, 1973).

La explicación de este comportamiento parece estar condicionada por respuestas a estímulos visuales y/o olfatorios y a la mayor presencia de predadores, en este caso arañas, en especial Lycosa spp .

Los sistemas policulturales han formado parte del tradicionalismo de pequeños agricultores y por lo tanto caracterizan a los agroecosistemas tropicales. Hasta el

momento no está muy bien establecido el por qué los pequeños agricultores no han adoptado estos esquemas, pero parece que la diversificación en dietas y fuentes de ingresos, la reducción en la incidencia de plagas y enfermedades, el uso de mano de obra familiar y una utilización más intensiva del poco terreno disponible son factores importantes (Francis, et al., 1975)

Para Hart (1974) la principal razón del uso de policultivos ha sido la de mayor seguridad. Por ejemplo un policultivo a base de sorgo y maíz es un sistema muy seguro, puesto que si hay escasez de lluvias el sorgo se comporta mejor que el maíz. Por el contrario si abunda la precipitación, el maíz se comporta mejor que el sorgo. Los policultivos a base de café y bananos también se han sembrado por estas razones de seguridad.

Es recomendable ampliar la investigación de los policultivos hacia el manejo de factores bióticos y relaciones fotosintéticas, puesto que hasta el momento se han limitado a ensayos agronómicos. (Francis, et al., 1975). Esto incluye estudios de las interacciones entre plagas-malezas-insectos.

2.6 Las malezas como fuente de diversidad y estabilidad en agroecosistemas

Las malezas contribuyen a la diversidad vegetal de los agroecosistemas. Por ejemplo Goeden y Ricker (1975) han encontrado más de 260 especies de insectos fitófagos asociados con nueve especies de malezas del género Ambrosia. Una mayor diversidad de plantas condiciona una mayor diversidad faunística y así se incremen-

tan las posibilidades del establecimiento de un mayor número de relaciones interespecíficas y circuitos de retroalimentación que contribuyen a la estabilidad del sistema y reducen las oscilaciones (Odum, 1972).

Para van Emden (1965) cualquier contribución benéfica de las malezas en el control de plagas nunca es compensatoria de su impacto competitivo. La provisión de flores se podría proveer como bordes o bandas alternativas a los cultivos de manera de reducir la interferencia con los cultivos. Sin embargo es posible aminorar la interferencia competitiva mediante un manejo integrado de malezas como el descrito por Bantilan, et al. (1974). Según Way (1971), se necesita establecer niveles más precisos de daño económico de malezas y posiblemente el alto grado de especificidad de algunos herbicidas modernos permita eliminar las malezas agresivas y retener las no competitivas que podrían poseer características biológicas importantes.

La literatura reporta numerosos ejemplos que confirman la hipótesis que las malezas son una de las formas de complejidad biológica, dando estabilidad a los agroecosistemas. Van Emden (1965) y Lewis (1965 y 1969) resaltan la importancia de los terrenos no cultivados y los bordes de campos cultivados como reserva de formas de vida silvestre. La presencia de bordes de riqueza biótica incrementa la diversidad de los campos adyacentes.

Sin embargo resultados obtenidos por Pollard (1971) no apoyan esta hipótesis e indican que es fundamental distinguir entre diversidad dentro y fuera del cultivo.

Muchos estudios comparativos han demostrado que los predadores y parásitos son más abundantes en los habitats diversificados. En efecto Fuchs y Harding (1976) encontraron mayores poblaciones de predadores en habitats no cultivados que en cultivados. Igualmente Pollard (1971) encontró mayor diversidad y cantidad de Syrphidos en habitats boscosos, arbustivos y herbáceos que en habitats abiertos. Se ha demostrado que los predadores de áfidos son más abundantes en los bordes de cultivos de Brassica y que la mortalidad debido a predación es mayor en los márgenes enmalezados (van Emden, 1965).

Dempster (1969) observó que la presencia de artrópodos edáficos, predadores de Pieris rapae, estuvo altamente condicionada por la presencia de malezas. Pimentel (1970) considera que las explosiones de plagas en Brassica oleraceae se reducen al diversificar los agroecosistemas con malezas. Ensayos de campo en este cultivo han demostrado que algunas especies de sirfidos oviponen más en Brassica cultivado en lotes enmalezados y la sobrevivencia de Pieris rapae es menor en lotes enmalezados. Tahvanainen y Root (1972) encontraron menores poblaciones de Phyllotreta cruciferae en cultivos de Brassica oleraceae enmalezados. Iguales resultados obtuvieron Dempster y Coaker (1974) con Erioischia brassicae, Brevicoryne brassicae y Pieris rapae. Way (1971) menciona algunos estudios en que se han encontrado mayores poblaciones de mosca blanca (Aleyrodidae) en cultivos de Brassica libres de malezas.

En huertos de cítricos en Florida se ha observado una menor infestación de

arañita roja en huertos enmalezados y esto se atribuyó a diferencias significativas de temperatura, humedad y factores bióticos entre los huertos limpios y los con malezas. Parlatoria pergandei y Aonidiella citrina son ácaros que infestan menos los cítricos enmalezados (Muma, 1970).

El daño por cogolleros trozadores en maíz (Prorachia daria y Spodotera frugiperda) fue bajo al sembrar maíz cuando las malezas alcanzaron hasta 10 cm. de altura (Guevara, 1962). Según este autor, en el trópico mexicano la abundancia de malezas reduce el ataque de insectos, pero la competencia de éstas puede causar la pérdida de hasta dos tercios de la cosecha.

Pocos trabajos han demostrado tendencias contrarias a las anteriormente descritas. Por ejemplo, Tamaki et al. (1975) encontraron una mayor abundancia de Euxoa ochrogaster en campos de espárrago enmalezados con Cirsium arvensis, en comparación con los testigos desyerbados.

2.7 El papel de las malezas en la biología de plagas y enemigos naturales.

La riqueza faunística de los agroecosistemas puede estar condicionada por la presencia de malezas. En el mundo existen más de 400 problemas de plagas reportadas que tienen su origen en malezas y no menos de 30 casos de asociaciones malezas plagas que son de gran significancia económica (Turnbull, 1969; y van Emden, 1965).

Las malezas contribuyen especialmente a la persistencia de ciertos insectos

en cultivos anuales y muchas veces el movimiento de plagas hacia los cultivos es consecuencia de una ausencia de malezas, en vez de su presencia (van Emden y Williams, 1974).

La mayoría de las plagas son especies polífagas y se alimentan de malezas especialmente si estas están botánicamente emparentadas con el cultivo y especialmente en casos en que el ciclo de cultivo es más corto que el ciclo de insecto, o en períodos de rotación, Heathcote (1970) ha resaltado la importancia de las malezas como reservorio de enfermedades y como elemento interventor indirecto en la transmisión de estas a los cultivos.

Van Emden (1965) realizó una profunda revisión de las relaciones entre malezas, plagas y enemigos naturales, y describió detalladamente los factores que condicionan los movimientos de plagas desde las malezas a los cultivos (dispersión natural, falta de principios nutritivos y endurecimiento de tejidos de las malezas, uso de herbicidas y alternancia natural de hospederos). van Emden (1965) afirma que muchos insectos parecen restringirse a ciertos géneros o familias de plantas condicionados por estímulos químicos. Así la mayoría de las plagas del tomate y papa se encuentran en solanáceas silvestres. También resaltan el hecho de que muchas plagas pueden completar su ciclo en malezas. Es el caso de Oscinella frit y Leptohylemyia coarctata que completan su ciclo en pastos silvestres.

Van Emden (1965) describe también la importancia de las malezas como parte de la dieta polífaga de plagas. Algunas malezas pueden afectar la fecundidad,

longevidad y resistencia a enfermedades de importantes polívoros. Aclypea opaca alimentada sobre Stellaria media ovipone el doble que cuando se alimenta de remolacha.

Muchas veces las malezas son la única fuente de flores en el agroecosistema y este hecho es de gran importancia para mantener poblaciones de insectos benéficos. La importancia de las flores de malezas en la nutrición de plagas ha sido resaltada por Lewis (1963) y van Emden (1965). Entre los predadores más comunes que encuentran importantes requisitos en las flores de malezas se destacan miembros de las familias Syrphidae, Dolichopodidae, Empididae, Rhagionidae y orden Neuroptera. Igualmente en Colombia (Reyes, 1976) ha resaltado la posibilidad de usar Bidens pilosa como una maleza en el manejo integrado de plagas en caña de azúcar.

Otras malezas favorecen los complejos bióticos benéficos al acondicionar la presencia de insectos neutrales que sirven de alimentos alternativos. Es el caso de Horogenes spp., importante parásito de Plutella maculipennis, que parasita a Swammerdamia lutarea, insectos presente en malezas en invierno. Este aspecto es de fundamental importancia cuando no coinciden las generaciones de los enemigos naturales con sus presas (Lewis, 1963).

Syme (1975) reporta una lista completa de malezas que proveen de polen y néctar a numerosos parásitos de plagas importantes.

2.8 Algunos aspectos coevolutivos y algunas consideraciones sobre interacciones aleloquímicas.

La complejidad de las interacciones entre plantas e insectos ha sido estudiada desde muchos ángulos. Muchos aspectos de la coevolución entre plantas y fitófagos ha sido discutida por Pimentel (1961), Harper (1969) y Zwolfer (1970).

En general se acepta que la mayoría de los insectos fitófagos se alimentan selectivamente de las plantas disponibles. Esta selectividad probablemente se originó durante el transcurso de la coevolución entre fitófagos y plantas, proceso en que las plantas se diferencian y desarrollan mecanismos de defensa (Painter, 1958; Beck, 1965), frente a las cuales los fitófagos desarrollan a la vez adaptaciones especializadas (Ehrlich y Raven, 1965).

En situaciones naturales, la vegetación está compuesta de numerosas combinaciones de plantas no emparentadas. Esto significa que los insectos fitófagos, cuando buscan su alimento preferido encuentran un amplio espectro de estímulos químicos que emanan de las plantas. Muchos de estos estímulos pueden ser inhibitorios y/o repelentes. Algunos experimentos con fitófagos especializados han demostrado que un pequeño aumento en la diversidad vegetal mediante la intercalación de plantas no huéspedes puede reducir la eficiencia de colonización y la densidad poblacional subsecuente de estos insectos (Tahvanainen y Root, 1972). En efecto Lycopersicum esculentum y Ambrosia artemisiifolia son plantas no huéspedes que interfieren con la colonización y comportamiento trófico de Phyllotreta cruciferae fitófago específico de Brassica oleracea. Al parecer estas plantas producen estímulos químicos. Una revisión más detallada sobre interacciones químicas entre especies se encuentra

en el trabajo de Whittaker y Feeny (1971).

Dethier y Schoonhoven (1969) realizaron estudios electrofisiológicos encontrando que el sistema sensorio de los insectos fitófagos responde a una amplia variedad de estímulos químicos y que la combinación de sustancias químicas puede causar antagonismo, y una alteración en los patrones de orientación, alimentación y reproducción.

Hunter (1976) cita una serie de asociaciones benéficas de plantas que ayudan a reducir o prevenir el ataque de plagas. Entre estas prácticas se destacan por su relevancia:

La aplicación de un exudado radicular de espárrago (*Asparragina* al 1%) sobre plantas de tomate reduce las poblaciones de nemátodos del suelo y ciertos insectos.

Al sembrar *Tagetes minuta* cerca de surcos de papa no se encontraría gusano blanco hasta una distancia de 1 m. en cada surco.

La presencia de alcaloides en tomate condiciona una poderosa característica de repelencia a insectos en esta planta.

Al sembrar hierbas olorosas (cebollino, manzanilla, hisopo, lavanda, mejorana, orégano) cerca de cultivos de repollo y otras crucíferas ayuda a repeler una serie de plagas.

3. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo constituye la integración de una serie de ensayos de diversos tipos y diseños, algunos de los cuales se realizaron en el campo y otros en casa de malla y en el laboratorio.

3.1 Ensayos de campo.

Se realizaron nueve ensayos de campo en las instalaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Palmira Colombia durante el período correspondiente de Septiembre 1975 a Septiembre 1976. El CIAT se encuentra aproximadamente a 1000 m.s.n.m. y tiene una precipitación media anual promedio de 1000 mm y una temperatura anual promedio de 24°C. Los suelos son de textura franco arcillosa con un contenido de materia orgánica promedio de 4.0% y un pH de 6,9.

El principal cultivo utilizado fue frijol (Phaseolus vulgaris L.) variedad Ica Pijao (Línea 32), la cual es una variedad de color negro de hábito de crecimiento arbustivo indeterminado. En CIAT madura a los 90 días y presenta un cierto nivel de resistencia a la roya.

En los policultivos el frijol se asoció con maíz (Zea mays L.) variedad ICA H- 207 de un período vegetativo de 130 - 150 días, con un potencial de rendimiento aproximado de 5.000 kg/ha.

Cronológica y metodológicamente el estudio se desarrolló de la siguiente manera:

Experimento No.1

Mono y policultivos de maíz y frijol diversificados con cinco densidades de malezas.

Este experimento se diseñó para evaluar la dinámica y el comportamiento de las plagas de frijol (principalmente Empoasca kraemeri y Diabrotica balteata) y de maíz (Spodoptera frugiperda) y algunos insectos benéficos en mono y policultivos de maíz y frijol diversificados con malezas.

Las parcelas tenían 10 camas de 8 metros de largo (80 m^2) aisladas una de la otra por 2 m, considerándose este tamaño suficiente para minimizar variabilidad debido a emigrantes e inmigrantes. La mayor parte de los muestreos se realizaron bajo la operación de las mismas personas para reducir la variabilidad debido a diferencias personales en la estimación. Este experimento se realizó en la época lluviosa del segundo semestre de 1975 y no se repitió en la época seca, por lo tanto se desconoce la posible influencia del clima en la dinámica de estos sistemas.

El diseño empleado fue el de parcelas divididas en bloques completos al azar con tres replicaciones siendo las parcelas principales las densidades de malezas (0, 25, 50, 75 y 100% de cobertura del suelo) y las subparcelas los sistemas de cultivo (maíz solo (M), frijol solo (F), y maíz frijol asociados (MF). El diseño de plantación en los mono y policultivos y las distancias de siembra se observa en la Figura 1. Ambos cultivos se sembraron simultáneamente utilizándose 40.000pl/ha de maíz

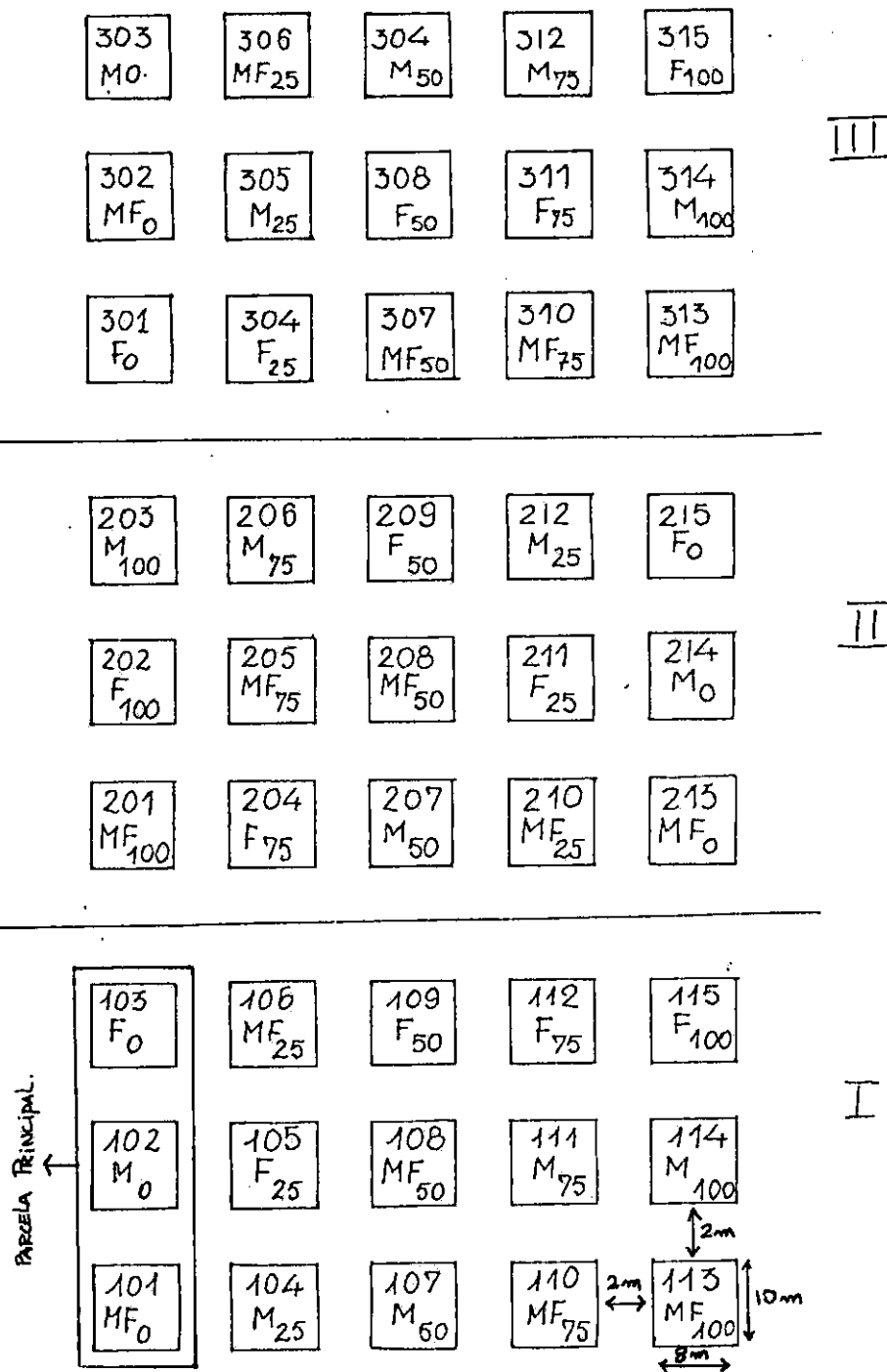


FIG. 1. Diseño experimental y distribución de las parcelas en el experimento No. 1.

y 200.000 pl/ha de frijol.

El nivel 0 de malezas se obtuvo mediante aplicaciones de herbicidas preemergentes (1.92 kg/ha de H-22234 + 2.8 kg/ha DNBP). El resto de los niveles de densidad de malezas se regularon inicialmente con siembras artificiales de tres especies de gramíneas (Eleusine indica, Leptochloa filiformis y Digitaria sanguinalis) y tres especies de malezas de hoja ancha (Amaranthus dubius, Ipomoea sp. y Euphorbia sp.) Todas estas especies son componentes comunes de la comunidad invasora de malezas del Valle del Cauca.

Las dosis empleadas en la siembra de malezas se establecieron arbitrariamente en base a volumen:

Dosis total de malezas (mezcla de semillas)	Densidad o cobertura de suelo a obtenerse (%)
4 lts / 720 m ²	100
3 " "	75
2 " "	50
1 " "	25

Las proporciones de malezas utilizadas en cada tratamiento de densidad fueron:

Maleza	Proporción (% de volumen de cada maleza en la mezcla de semillas)	Cantidad de semilla de cada especie/ 720 m ² utilizada para obtener las den- sidades malezas o % de cobertura de suelo			
		100%	75%	50%	25%
<u>Amaranthus</u> (Bledo)	37.5	1.50 lt	1.12 lt	0.74 lt	0.37 lt
<u>Leptochloa</u> (Paja mona)	15.0	0.60 "	0.44 "	0.30 "	0.15 "
<u>Eleusine</u> (Pata de gallina)	15.0	0.60 "	0.44 "	0.30 "	0.15 "
<u>Euphorbia</u> (Lechecilla)	12.5	0.50 "	0.36 "	0.25 "	0.13 "
<u>Digitaria</u> (guarda rocío)	12.5	0.50 "	0.36 "	0.25 "	0.13 "
<u>Ipomoea</u> (Batatilla)	7.5	0.30 "	0.22 "	0.15 "	0.075"

Veinte días después de la siembra se reguló nuevamente la cobertura del suelo por las malezas mediante desyerbas en franjas de 50 cms.

<u>Tipo de desyerba</u>	<u>% cobertura de suelo</u>
Sin desyerba	100%
desyerba cada 3 metros	75%
desyerba cada 2 metros	50%
desyerba cada 1 metro	25%

Antes de sembrar se fertilizó el área al voleo incorporando una mezcla de:

15 - 15 - 15 : 200 kg/ha
 Zn S04 : 50 kg/ha (10 kg/ha de Zn)
 Borax : 20 kg/ha (2 kg/ha de B.)

A los 40 días después de la siembra se cortó el follaje del Bledo a la altura del fríjol, para evitar excesiva competencia por luz y dar así ventaja al cultivo. Este tratamiento se realizó en todas las parcelas en que había fríjol.

No se necesitó riego, ya que hubo abundante precipitación a lo largo de todo el ensayo (Figura 2).

Los muestreos se realizaron continuamente siguiendo la siguiente metodología:

Densidad de malezas: La composición florística y la densidad por especies se determinó en cada subparcela con el método de los cuadrantes, arrojando el marco de 50 cm² dos veces por parcela y al azar, a los 20 y 40 días después de la siembra.

Densidad poblacional de diferentes plagas:

Plagas del maíz. Para evaluar la acción de Spodoptera frugiperda como trozador de plántulas, se contó el número total de plantas trozadas por subparcela a los 10 y 15 días después de la siembra. La sumatoria de los valores obtenidos se expresó en porcentaje de plantas trozadas.

La acción de Spodoptera como cogollero se evaluó cuantificando la población de larvas por 40 plantas en cada subparcela a los 20, 40, 50 y 60 días después de la siembra.

El parasitismo en larvas de Spodoptera se evaluó colectando 15 larvas por subparcela a los 20, 30 y 50 días para luego colocarlas en cajas metálicas con dietas

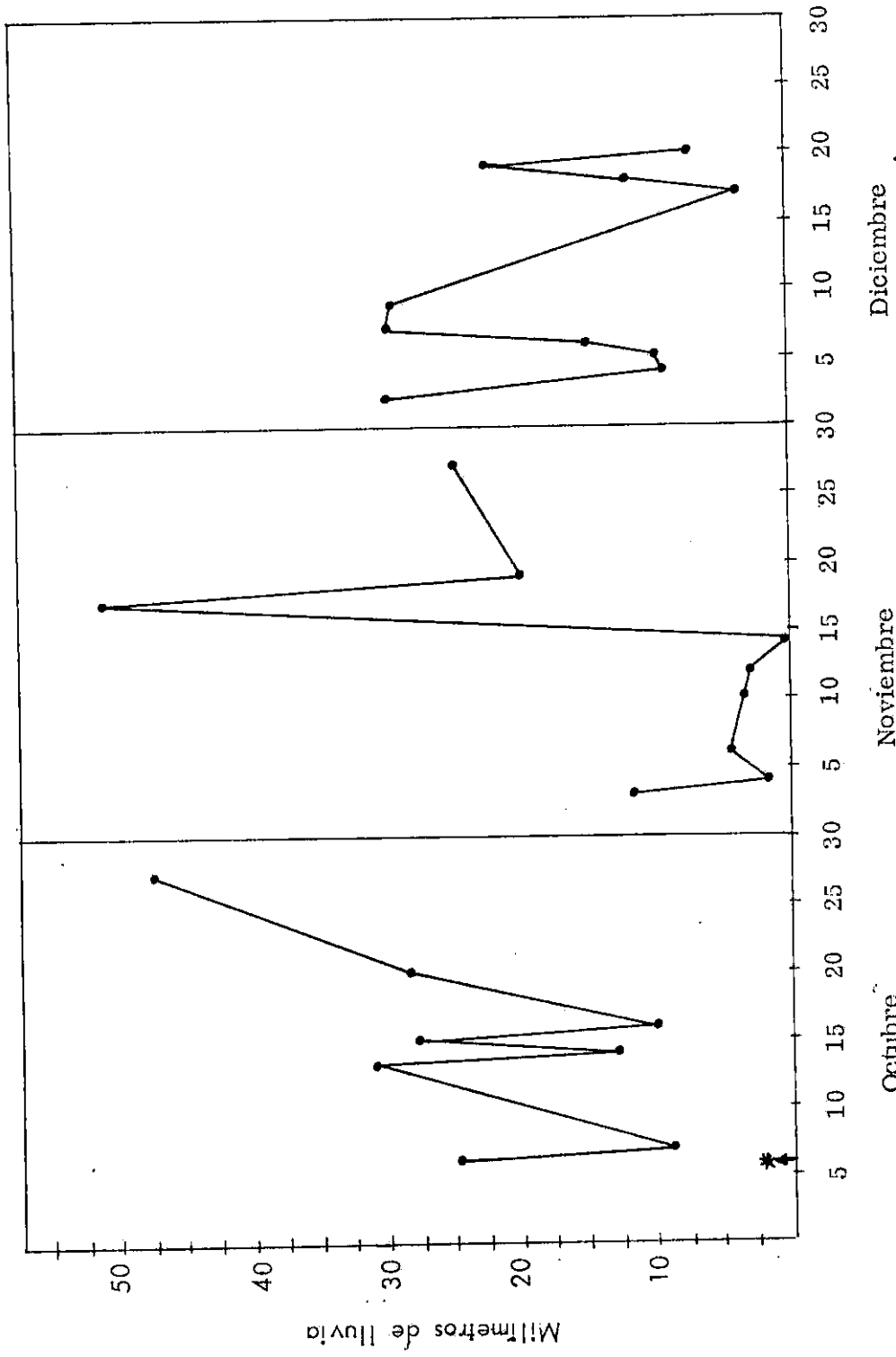


FIG. 2 Pluviometría registrada durante el experimento No.1

* Fecha de siembra del ensayo

artificiales a base de frijol. A los 7 días se evaluó el número de larvas sanas y parasitadas. Los parásitos emergidos se enviaron para identificación.

Plagas de frijol. Las poblaciones ninfales de Empoasca kraemeri se cuantificaron contando el número de ninfas por 15 hojas de frijol a los 20, 60 y 70 días.

Las poblaciones de adultos de E. kraemeri y Diabrotica, predadores y parásitos e insectos neutrales, se midieron con una máquina succionadora D Vac (Vacuum insect net, Model 1, 3 HP) la que se hizo operar sobre 80 plantas de frijol en cada subparcela.

Para evaluar el parasitismo en huevos de Empoasca se cortaron 15 pecíolos de frijol por subparcela los que se colocaron posteriormente en discos petri con papel filtro humedecido. A los 12 días se evaluó la emergencia de ninfas y parásitos. Esto se realizó a los 50 y 70 días.

El daño de crisomélidos (especialmente D. balteata) se evaluó seleccionando 40 plantas frijol/subparcela, calificándose cualitativamente de mínimo (1-2 perforaciones/hoja), medio (3-4) y fuerte (más de 5). El daño se expresó, como porcentaje de daño basado en el promedio de cuatro observaciones a los 10, 20, 30 y 40 días después de la siembra. Igualmente a los 40 y 60 días se evaluó el número de perforaciones por 15 hojas de frijol y se clasificaron de acuerdo al diámetro:

Perforación tipo 1 de 0 a 0,5 cm

Perforación tipo 2 de 0,5 a 1,5 cm

Perforación 3 de 1,5 a 3 cm o mayor

Para evaluar el daño del ácaro tropical en fríjol (Polyphagotarsonemus latus) se muestrearon 20 plantas por subparcela a los 50 y 60 días y se clasificó el daño de acuerdo a la siguiente escala:

Daño 1 = Sin daño

Daño 2 = hojas superiores encrespadas

Daño 3 = mitad superior de la planta con hojas encrespadas

Daño 4 = hojas con coloración bronceada

Daño 5 = toda la planta afectada (coloración y encrespamiento).

Para determinar la entomofauna asociada a la comunidad de malezas se realizaron reconocimientos cualitativos sobre algunas malezas y también se muestreó 4 m² de maleza con la D'Vac en cada subparcela a los 20, 30, 40 y 50 días.

La precipitación se midió con un pluviómetro común colocado en el centro del área de experimentación. La temperatura del aire y del suelo se cuantificó con un termómetro marca YSI, la radiación se midió con un radiómetro Weston Modelo 756 y la humedad relativa con un higrómetro común.

Las lecturas ambientales se realizaron tres días durante 16 semanas a las 9. a.m. y a las 2. pm. dentro y fuera de los sistemas de cultivo. Los datos obtenidos no se consideraron muy objetivos puesto que se desconoce la precisión del método y de los instrumentos utilizados.

Los rendimientos de grano de maíz y fríjol se obtuvieron en los momentos oportunos de cosecha de cada cultivo y fueron ajustados para los porcentajes aceptados de humedad (14 para fríjol y 15 para maíz).

Experimento No.2

Monocultivos de fríjol diversificados con gramíneas y malezas de hoja ancha.

El principal objetivo de este ensayo fue el de determinar qué tipo de malezas ejercen un efecto más pronunciado sobre las plagas de fríjol.

Este experimento consistió de 3 tratamientos: fríjol monocultivo (F), fríjol asociado con malezas gramíneas (F + Gr) y fríjol asociado con malezas de hoja ancha (F + Ha), con 3 replicaciones. El diseño experimental empleado fue de bloques al azar. Cada parcela tenía 3 camas de 2 metros de largo (6 m²).

La composición de malezas en cada tratamiento se determinó con desyerbas manuales selectivos en parcelas previamente enmalezadas. Así en los tratamientos F + Gr se arrancaron todas las malezas de hoja ancha y viceversa para F + Ha. Posteriormente con azadones se desyerbaron dos bandas de 15 cm de ancho por cama donde posteriormente se sembró fríjol. El tratamiento de fríjol como monocultivo se obtuvo con dos desyerbas. Este ensayo se realizó en período seco por lo que continuamente se necesitó de riegos. El ensayo no se llevó a cosecha.

En este experimento se realizaron muestreos de Empoasca (adultos y ninfas)

y Diabrotica de acuerdo al método empleado en el experimento No.1, a los 15, 25, 35 y 45 días.

Experimento No.3

Sistemas de asociación de fríjol y bleado.

En este ensayo se pretendió decifrar el efecto de la asociación fríjol-bleado sobre las plagas del fríjol. Para esto se utilizó un diseño de bloques al azar. Nuevamente se hicieron tres tratamientos con tres replicaciones: monocultivo de fríjol (F), fríjol asociado con bleado en la misma cama (F B =) y fríjol asociado con bleado en diferente cama (F B ≠). La distribución en el campo de las parcelas y el diseño de asociación se pueden observar en la Figura 3. Cada parcela midió 80 m² (10 x 8 m).

El bleado se estableció mediante siembras en surcos. Una vez que alcanzó 5 cm de altura, se sembró el fríjol. Mediante dos desyerbas se controlaron las otras malezas evitándose así influencias no deseadas. Se utilizó esta maleza pues fue la maleza de hoja ancha dominante en el experimento No. 1. Nuevamente se cortaron las ramas del bleado con machete cuando éstas tendían a cubrir el follaje del fríjol.

En este experimento se realizaron conteos de adultos de Empoasca y Diabrotica sobre 160 plantas de fríjol y 160 plantas de bleado, con la D'Vac. a los 15, 25 y 35 días. El fríjol se vió afectado por un ataque de roya y el experimento no se llevó a cosecha.

Experimento No.4

Aplicaciones de soluciones de malezas sobre plantas de fríjol infestadas con Empoasca kraemeri.

El objetivo de este ensayo fue estudiar el efecto de soluciones de malezas sobre la dinámica de Empoasca en fríjol.

De acuerdo al diseño de la Figura 4 se seleccionaron 21 parcelas de fríjol de 40 plantas cada una, sobre las cuales se aplicaron siete tratamientos con tres repeticiones.

Los tratamientos consistieron en la aplicación de soluciones de follaje de plantas (fríjol, bleado, maíz, pata de gallina y paja mona) y agua en una concentración de 30 gr de material vegetativo fresco / 3 litros de agua (mezclados en una licuadora y filtrados) sobre 40 plantas de fríjol con una aspersora jardinera.

Las poblaciones de adultos de Empoasca se midieron con una jama, 16 pases por 40 plantas a diferentes horas después de la aplicación (1, 3, 6 y 24 horas).

El mismo tratamiento se repitió tres veces a los 20, 30 y 40 días. A los 50 días se evaluó la población ninfal en los diferentes tratamientos descritos. Igualmente se determinó el rendimiento de fríjol / 3 m².

Experimento No.5

Monocultivos de fríjol con bordes de maíz y gramíneas.

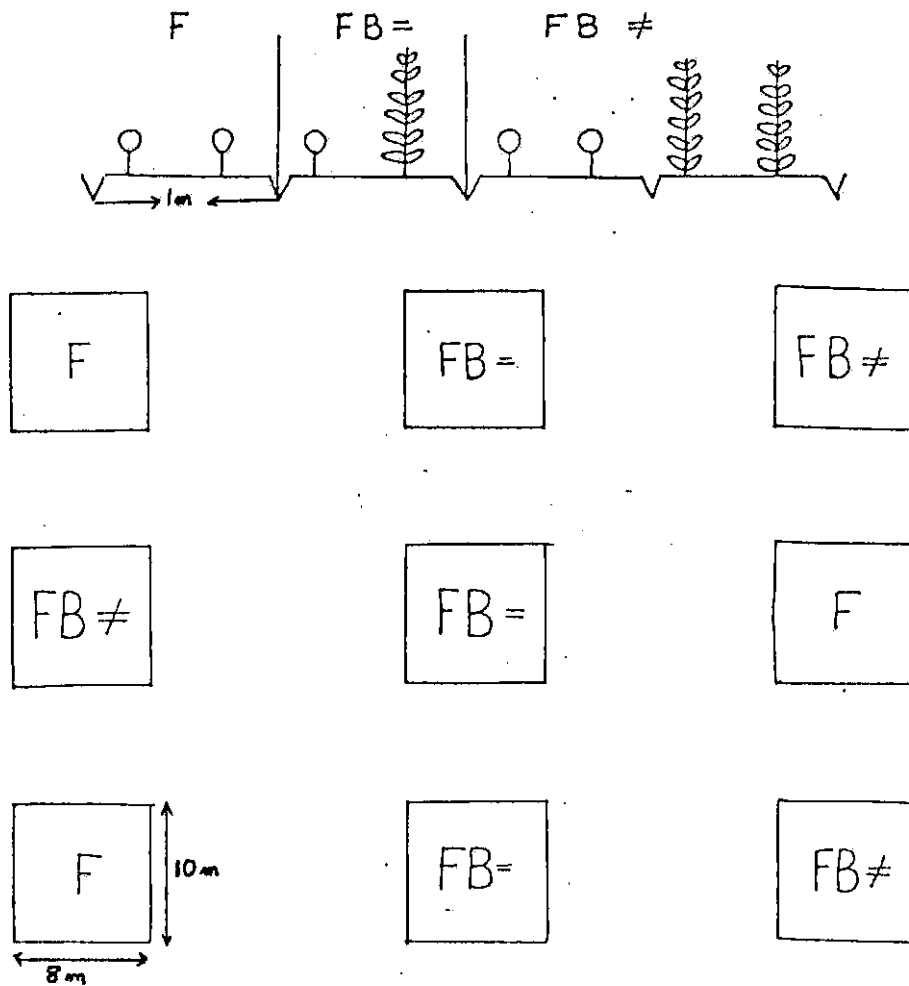


FIG. 3 Diseño experimental y tipo de asociaciones utilizadas en el ensayo con frijol y bledo.

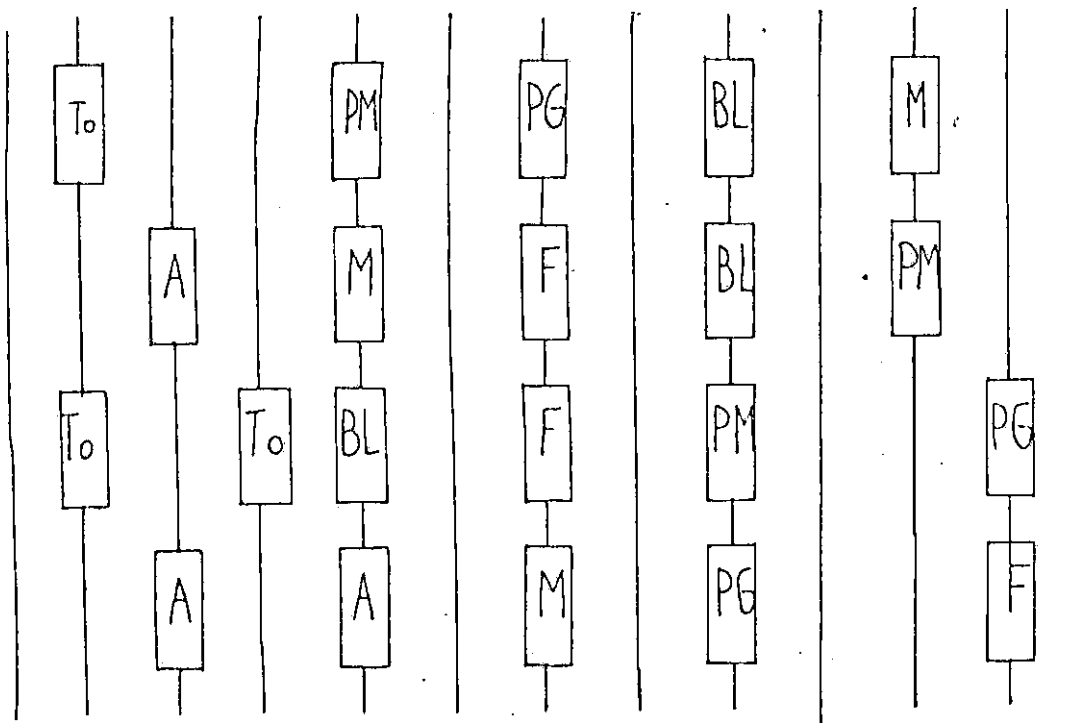


FIG. 4 Distribución de parcelas para la aplicación de soluciones de malezas.

Eleusine indica y Leptochloa filiformis fueron las malezas gramíneas dominantes en los experimentos 1 y 2, por lo que se seleccionaron como componentes de bordes para monocultivos de frijol.

El experimento tenía tres tratamientos (frijol monocultivo (F) frijol con bordes de gramíneas (F + Gr) frijol con borde de maíz (F + M) y tres replicaciones (ver figura 5) y cada parcela tenía un tamaño de 16 m^2 , con bordes de 1 m de ancho cada una .

Tanto al maíz como las gramíneas se sembraron 20 días antes del frijol. Antes de sembrar el frijol se desyerbó las parcelas, se aplicó gramoxone en las calles y en los bordes de gramíneas se aplicó 2,4-D para eliminar malezas de hoja ancha .

En este experimento se evaluó poblaciones de ninfas de Empoasca y 20 hojas de frijol a los 20, 30, 40, 50 y 60 días y adultos a los 10, 30, 50 y 60 días. La interrupción en el muestreo entre los 10- 30 y 30- 50 se debió a fallas en el funcionamiento de la D'Vac. El rendimiento de grano se determinó cosechando un área de 9 m^2 /parcela.

Experimento No.6

Sistemas de siembra escalonadas de maíz respecto a frijol.

Con el objeto de investigar el efecto de la época de siembra del maíz con respecto al frijol, sobre las poblaciones de Empoasca kraemeri se diseñó un experimento

en bloques al azar con siete tratamientos y tres replicaciones (Figura 6).

Los tratamientos correspondientes a las épocas de siembra de maíz 40, 30, 20 y 10 días antes del frijol, simultáneamente y 10 y 20 días después. Estos tratamientos se denominaron respectivamente como +40, +30, +20, +10, 0, -10 y -20.

Las parcelas tenían ocho camas de 8 m de largo (64 m^2) y estaban separadas a 2 metros.

Las poblaciones de E. kraemeri se evaluaron de la siguiente manera: ninfas/30 hojas a los 30 y 40 días y adultos con D'Vac/80 plantas a los 10, 20, 50 y 60 días.

Este experimento se mantuvo libre de malezas hasta los 60 días con 3 desyerbas. La fertilización también fue como en el experimento No.1.

El maíz se protegió con aplicaciones dirigidas de Dipterex al cogollo, se evaluaron los rendimientos de maíz y frijol al cosechar un área de 24 m^2 /parcela.

Experimento No.7

Sistemas de siembra escalonadas de maíz respecto a frijol (2a. replicación).

Se repitió el experimento No.6 con la única diferencia que se eliminó el tratamiento de sembrar maíz 40 días antes del frijol.

Las poblaciones de E.kraemeri y D. balteata se midieron con la D'Vac a los 10, 20, 30, 40 y 50 días. Después de los 50 días este ensayo se abandonó pues el

maíz sufrió un fuerte volcamiento como consecuencia de un ataque de larvas de D. balteata y lluvias fuertes.

Experimento No.8

Sistemas de siembra escalonada de frijol respecto a maíz.

El presente estudio tuvo el mismo diseño que el experimento No.6 con la diferencia que se varió la época de siembra del frijol con respecto a maíz. (figura 6). Para eliminar el efecto interactivo de las malezas se realizó un desyerbe no lográndose este efecto después de los 40 días, época en que se abandonó el manejo hasta la cosecha. El suelo se fertilizó de acuerdo a las dosis descritas para el experimento No.1.

Los conteos de Spodoptera en su acción como trozador y cogollero se realizaron igual que en el experimento No.1 con la diferencia que la evaluación de cogollero se realizó sobre 40 plantas de maíz a los 20, 27, 35 y 43 días. El rendimiento de maíz se determinó cosechando $24\text{m}^2/\text{parcela}$.

En este ensayo se observó un fuerte ataque de larvas de Diabrotica balteata sobre maíz.

Experimento No.9

Sistemas de siembra escalonada de 2 variedades de frijol respecto al maíz.

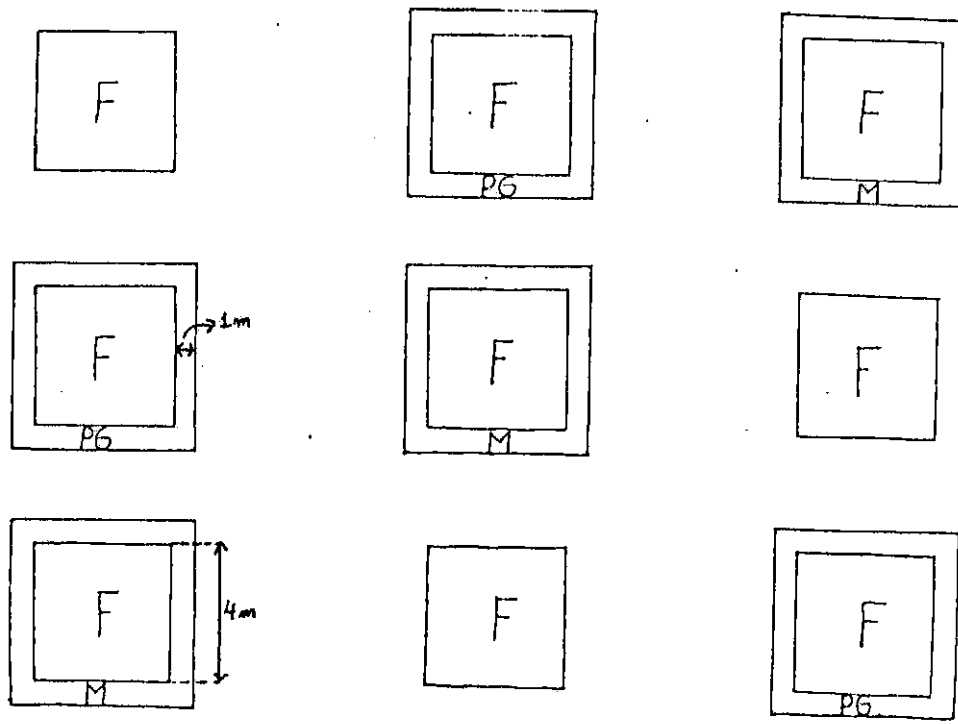


FIG. 5 Sistemas de bordes de maíz (M) y gramíneas (Gr) en cultivos de frijol.

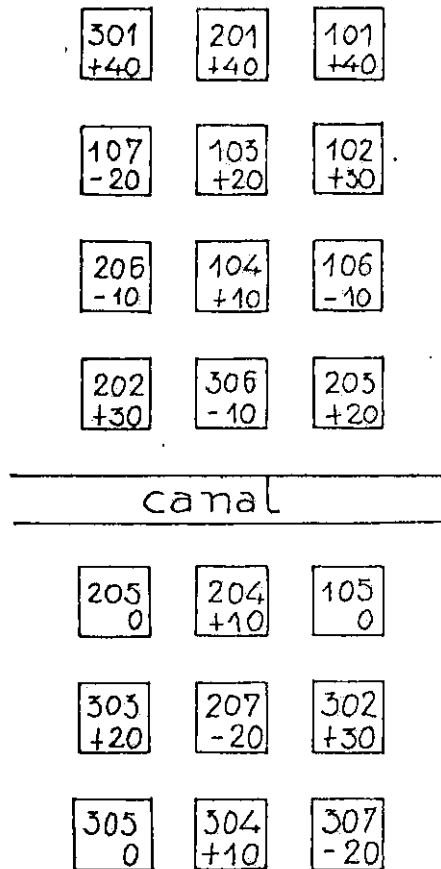


FIG. 6 Diseño del ter. ensayo de siembra escalonada de frijol respecto al maíz.

Este experimento es una replicación del ensayo No.8 con la diferencia que además de los siete tratamientos con ICA-PIJAO se agregaron siete tratamientos con P589, una variedad de frijol voluble, para medir el efecto del tipo de planta de frijol sobre la dinámica de S. frugiperda en maíz.

Igualmente se evaluó a los 10 y 15 días de sembrado el maíz el daño de trozadores y a los 10, 20 y 35 las poblaciones de cogollero.

Inicialmente las malezas se controlaron con tratamientos preemergentes de fluorodifen 2. 1 kg l.A./ha y linuron 1 kg l.A./ha. Sin embargo se presentó una fuerte infestación de Ipomoea sp. la cual se reguló con aplicaciones dirigidas de paraquat y desyerbas sucesivas. La fertilización se realizó igual que en ensayos anteriores.

3.2 Ensayos de laboratorio y casa de malla.

Con el objeto de afinar algunas observaciones, se realizaron algunos ensayos complementarios a nivel de laboratorio y casa de malla. En el laboratorio se estudió la preferencia de Empoasca por hojas de frijol solas o asociadas con hojas de Eleusine indica. Para esto se adoptó un sistema como el descrito en la Figura 7, a base de discos petri/unidos. En algunos casos se permitió ventilación en la cámara del medio, otras veces en las dos laterales y otras veces no se permitió ventilación. Se colocaron 10 adultos de Empoasca en la cámara central y a diferentes horas (1, 2, 3 y 24 horas) y se observó la migración y movimientos de estos insectos. Esto se replicó

cinco veces en el tiempo.

En casa de malla se encerraron 3 plantas de fríjol en materas y también cuatro plantas de pata de gallina (PG) o cuatro plantas de paja mona (PM) en tres jaulas de cría (Figura 8). una vez bien establecidas las plantas (20 días) se colocaron 100 adultos de Empoasca en cada jaula y a los 40 días se observó el número de ninfas en las hojas de las tres plantas de fríjol. Esto se replicó tres veces en el tiempo.

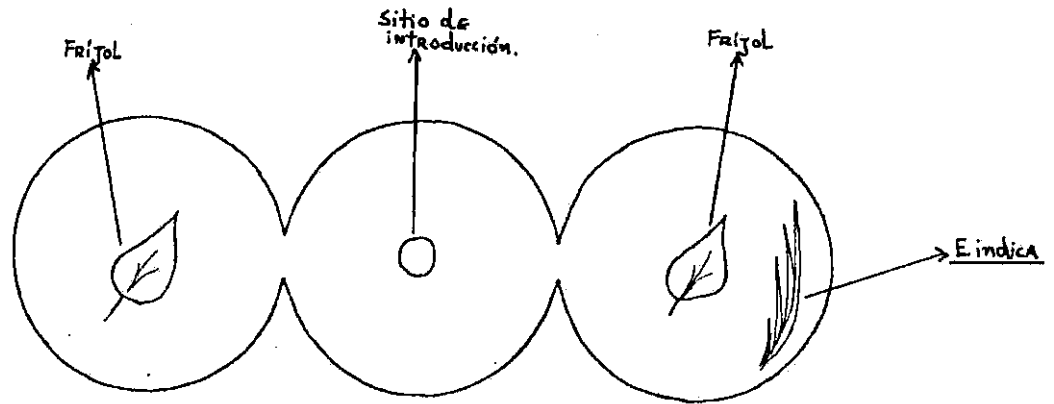


FIG. 7 Cámara de preferencia para *E. kraemeri*

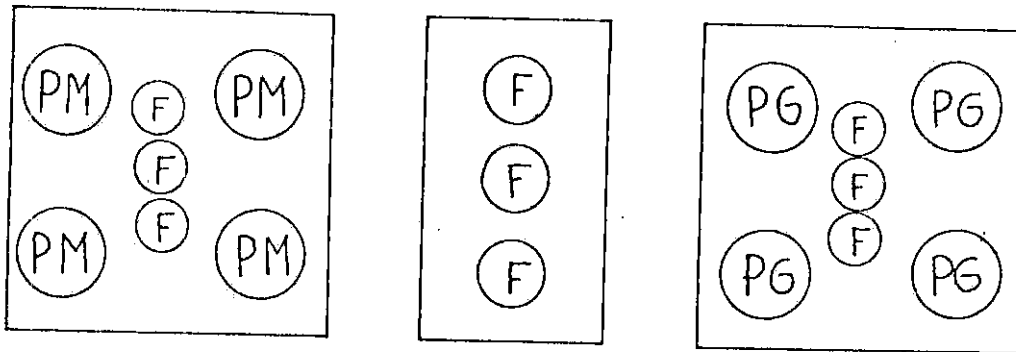


FIG. 8 Distribución de materias en jaulas para el estudio de la reproducción de *E. kraemeri*.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Experimento No.1

4.1.1. Análisis estructural y funcional del ecosistema bajo el cual se desarrolló el ensayo.

El ambiente abiótico.

Las condiciones climáticas generales en CIAT ya se describieron en la sección correspondiente a materiales y métodos. Igualmente la pluviometría registrada durante el período del estudio se observan en la figura 2. El análisis de suelos para este sistema fue el siguiente:

% materia orgánica : 3.3

Fósforo similar (Bray II) : 29,6 ppm

pH : 6,8

Potasio intercambiable: 0.38 miliequivalentes/100 gr de suelo

textura al tacto : arcilloso

El ambiente biótico.

El complejo de insectos presentes en este ensayo fue numeroso. A continuación se enumeran las principales especies registradas y el principal nicho de la familia:

COLEOPTERA

Chrysomelidae (Fitófagos comedores de follaje)

Pachybrachys sp. (Xanthogrammus Suff)

Chaetoenema sp.

Colaspis lebasi

Diabrotica sp. (viridula (F) y maculicollis Jac)

Diabrotica balteata

Cerotoma ruficornis

Dysonicha sp.

Systema sp.

Staphylinidae (Predadores)

Cantharidae (Presentes en flores)

Chauliognatus sp.

Curculionidae (Fitófago)

(Lissorhoptus oryzophilus)

Cicindellidae (Predadores)

Tetracha sp.

Nitidulidae (Detritófagos)

Carpophilus humeralis

Haptoncus luteolus

Carpophilus marginellus

Coccinelidae (Predadores)

Coleomegilla sp.

Hippodamia sp.

DIPTERA

Sciaridae (Detritófagos)

Bradysia sp.

Mycetophilidae (Detritófagos)

Mycomya sp.

Cecidomyiidae

Anthomyiidae (Fitófagos)

Pegomya rubriceps

Asilidae

Erax sp. (Predatores)

Chloropidae (Fitófagos)

Socinella sp.

Hippelates sp.

Agromyzidae (Fitófagos)

Liriomyza sorosis

Micropezidae (Detritófagos)

Taenioptera lasciva

Otitidae

Euxesta alternans

Sympaectria sp.

Dolichopodidae (Predadores)

Condylostylus sp.

Chironomidae (Detritófagos)

Stratiomyiidae (Predadores y detritófagos)

Merosargus sp.

Syrphidae (Parásitos)

Baccha sp.

HYMENOPTERA

Pteromalidae (Parásitos)

Scelionidae (Parásitos)

Telenomus sp.

Braconidae (Parásitos)

Chelonus texanus

Meteorus laphygmae

Ychneumonidae (Parásitos)

Leurus caeruliventris

Formicidae (variados)

Camponotus sp.

Scolidae (Parásitos)

Vespidae (Predadores)

Polistes eritrocephalus

LEPIDOPTERA

Gracillariidae (Fitófagos)

HOMOPTERA - HEMIPTERA

Cicadellidae (Fitófagos)

Protalebrella brasiliensisHortensia similisAgallia lingulaEmpoasca kraemeri

Delphacidae (Fitófagos)

Sogatodes cubanus

Aphididae (Fitófagos)

Rophalosiphum maidis

Lygaidae (Fitófagos de semillas)

Geocoris sp.

Reduviidae (Predadores)

Zelus sp.

Anthocoridae (Presente en flores)

Orius sp.

Nabidae (Predadores)

La fitocenosis estuvo compuesta por los dos cultivos y un complejo de 11 especies de malezas dominantes:

MALEZAS DE HOJA ANGOSTA

Gramíneas

Eleusine indica (pata de gallina)

Digitaria sanguinalis (guardarocío)

Leptochloa filiformis (paja mona)

Echinochloa colonum (liendre de puerco)

Cyperaceas

Cyperus esculentus (cortadera)

MALEZAS DE HOJA ANCHA

Amaranthaceae

Amaranthus dubius (Bledo)

Solanaceae

Solanum nigrum (yerba mora)

Portulacaceae

Portulaca oleraceae (verdolaga)

Convolvulaceae

Ipomoea sp. (batatilla)

Euphorbiaceae

Euphorbia sp. (lechecilla)

Compositae

Eclipta alba (botoncillo)

Esporádicamente se registró la presencia de las compuestas Bidens pilosa (ama sequía) y Emilia sonchifolia en canales, calles y dentro de algunas parcelas.

La entomofauna presente encontró importantes requisitos en las malezas y es así que se pudo observar algunos insectos sobre el follaje y flores de malezas. Entre estas interacciones se destacan:

Bledo: Díptera (Euxesta sp., Tachinidae, Syrphidae, Melanagromyza sp.,

Pegomya rubriceps y otros)

Coleoptera (Cerotoma sp., Diabrotica balteata, Dysonicha sp., y otros

Crisomélidos, Curculionidae, Hippodammia sp. y otros)

Lepidoptera (Hymenia recurvalis, Prodenia sp. y otros)

Hemiptera (Lygaidae, Coreidae, Reduviidae)

Homoptera (Cicadellidae, Cixidae y otros)

Orthoptera

Aracnida

Yerba mora: Coleoptera, Reduviidae, Homoptera, (Sogata sp.)

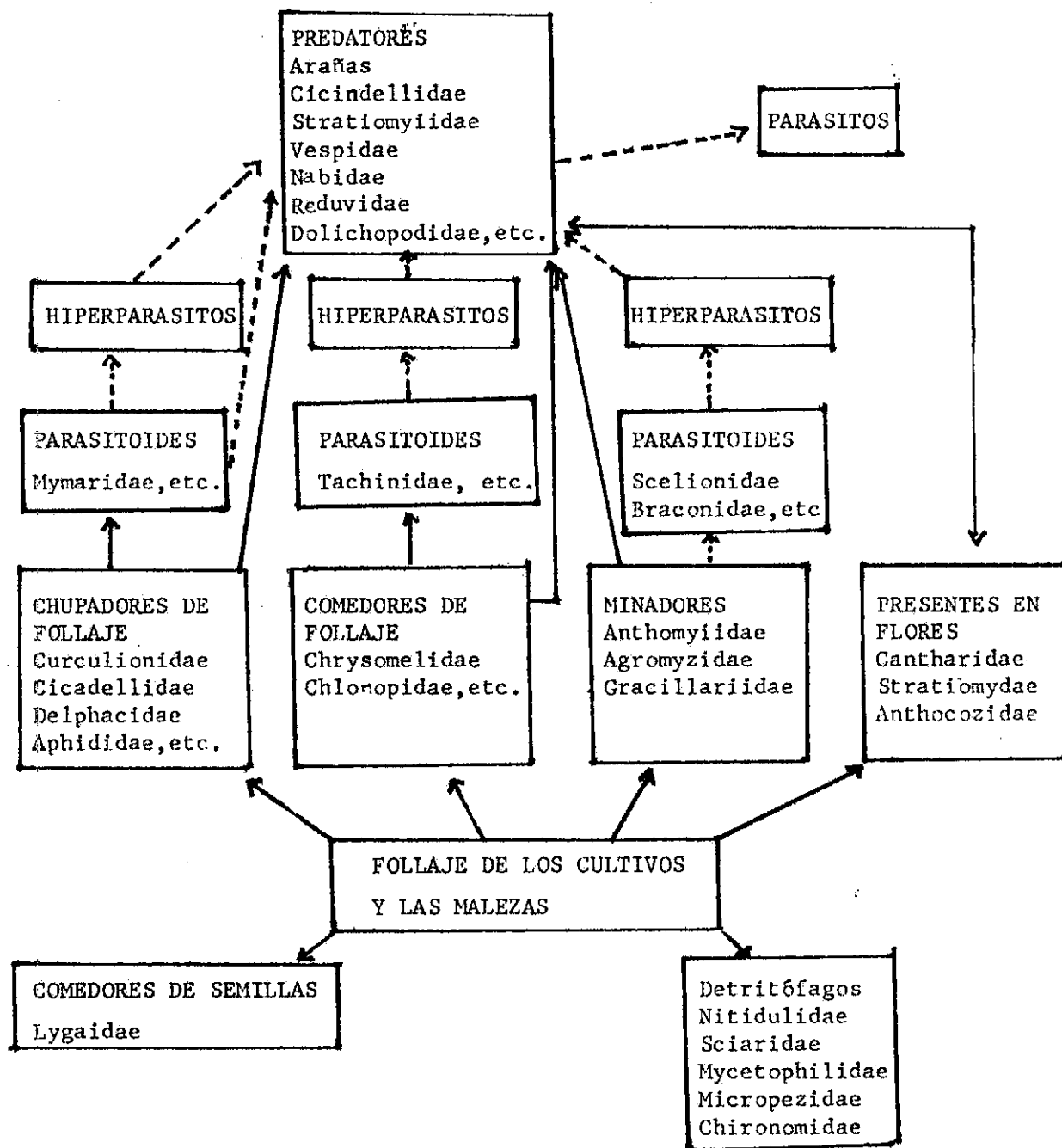
Chrysomellidae, Curculionidae, Dolichopodidae

Vespidae (Polystes sp.) Ichneumonidae y Tachinidae.

Lehecilla: Coleoptera, Díptera y Cicadellidae (Empoasca sp.)

Amasequía: Reduviidae (Zelus sp.), Euxesta sp., Diabrotica balteata e Hymenoptera.

Dentro de este ecosistema la organización trófica de la comunidad de insectos, teóricamente estuvo distribuída de la siguiente manera:



—————> Interacciones tróficas observadas

- - - - -> Interacciones tróficas supuestas o potenciales

4.1.2. La dinámica de las plagas del frijol.

De acuerdo a las teorías de diversidad y estabilidad anteriormente descritas (Dempster y Coaker, 1974; Pimentel, 1961 y Root, 1973) las poblaciones de *E. kraemeri* mostraron una mayor estabilidad en los habitats complejos que en los monocultivos limpios. En general estos sistemas favorecen las explosiones de *E. kraemeri*, sin embargo en la medida que el habitat se diversifica se observa una reducción en su densidad (Figura 9 y 10). En promedio la diversidad poblacional de adultos y ninfas de *E. kraemeri* fue un 40 y 52% menor (Tabla 1) en las parcelas enmalezadas (F25, F50, F100) comparados con los monocultivos limpios (F 0) respectivamente observándose para los adultos diferencias significativas entre tratamientos a los 20, 40 y 50 días después de la siembra. (Tablas 18, 19 y 20) y para la población ninfal a los 60 y 70 días (Tablas 22 y 23).

Igualmente los policultivos de maíz y frijol (MF) presentaron menores poblaciones de adultos de *E. kraemeri* (26% menos) que los monocultivos de frijol (Figura 11). Sin embargo parece ser que los sistemas de cultivos no influenciaron tan determinadamente la abundancia de este insecto, como parece influenciarla, la diversidad y complejidad de la comunidad de malezas. Solamente a los 70 días se observaron diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos (Tabla 21). Como se observa en la Figura 12 las poblaciones ninfales casi no presentaron diferencias, observándose una reducción promedio de solo un 6% en los policultivos.

Existe consenso general en aceptar que una mayor diversidad de especies

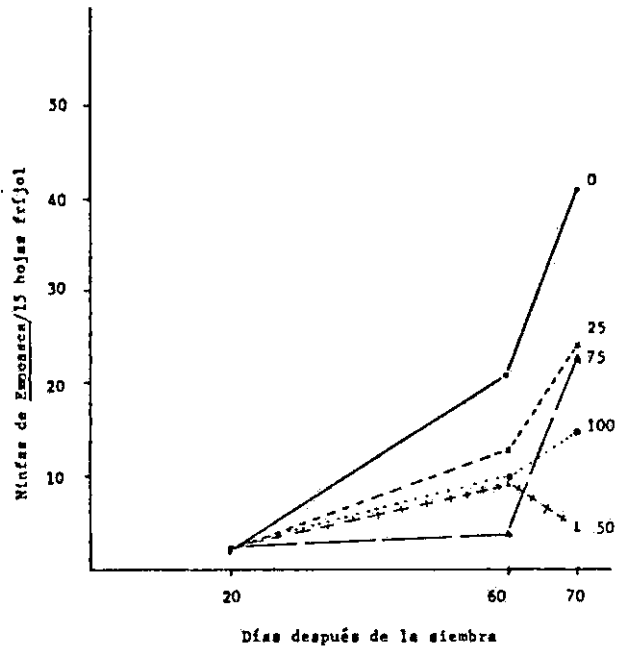


FIG. 9 Efecto de 5 densidades de malezas sobre los promedios poblacionales de ninfas de *Empoasca kraemeri* en frijol.

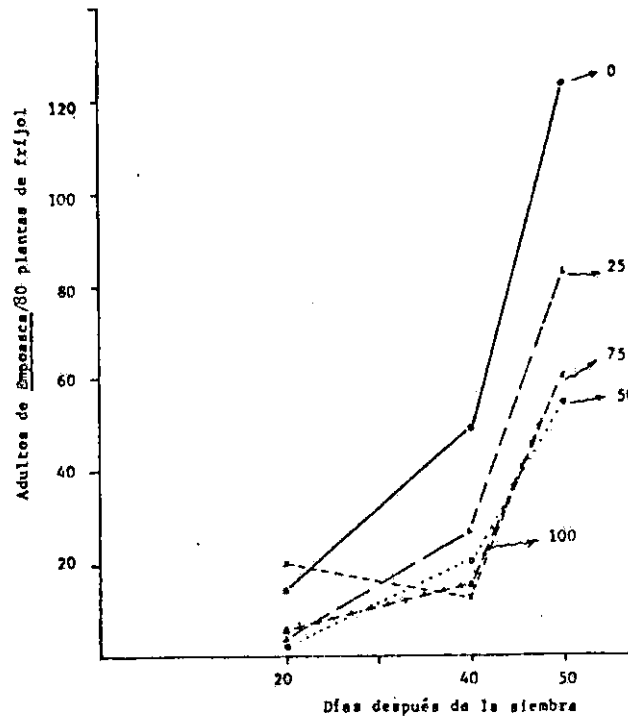


FIG. 10 Efecto de 5 densidades de malezas sobre los promedios poblacionales de adultos de *Empoasca kraemeri* en frijol.

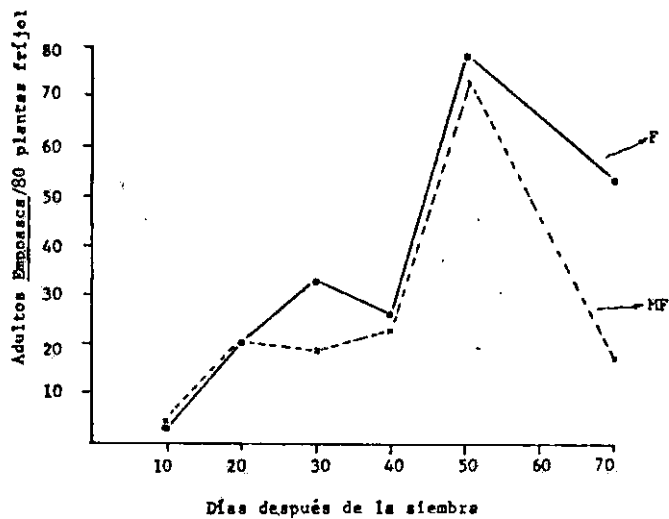


FIG. 11. Dinámica poblacional de adultos de *Empoasca kraemeri* en mono (F) y policultivos (MF) de frijol.

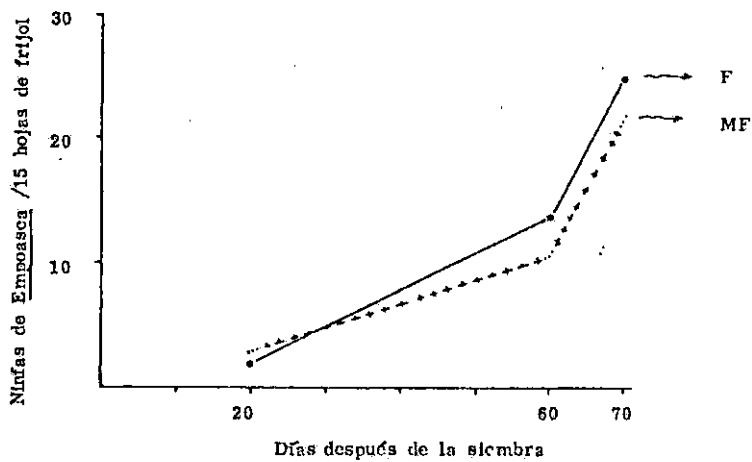


FIG. 12. Dinámica poblacional de ninfas de *E. kraemeri* en mono (F) y policultivos (MF) de frijol.

TABLA 1. Abundancia de adultos y ninfas de E. kraemeri en diferentes habitats fríjol-malezas. (Promedio de seis muestreos replicados tres veces y realizados a los 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días)

% de suelo cubierto con malezas	Adultos/80 plantas	Ninfas/15 hojas		
	de fríjol	% Reducción	de fríjol	% Reducción
0	52.8 c*	-	22.4 b	-
25	37.7 b	28.6	13.8 a	38.4
50	29.7 a	43.8	10.5 a	53.2
75	28.4 a	43.8	11.8 a	47.4
100	30.1 a	43.0	6.7 a	70.1
Promedio		\bar{X} 40.0		\bar{X} 52.0

* Los números seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según prueba de Duncan al 5%.

condiciona una mayor estabilidad en un ecosistema principalmente como resultado de una mejor operación de los mecanismos de control biológico. En la lista de insectos presentes en este estudio, entre los predadores que más activamente actúan sobre E. kraemeri se destacan Condylostylus sp. y en algunos Hemipteros, principalmente Reduviidae y Nabidae. Esto concuerda con los conceptos de Clausen (1962).

La diversidad del habitat no afectó a la población de Con dylostylus sp., ya que presentó poblaciones similares en los diferentes sistemas observándose diferencias significativas a los 30 días en que la población fue 65% mayor en F 0 (Tabla 2 y Tabla 25). La población en los policultivos fue en promedio 20% mayor que en los monocultivos, alcanzándose la mayor diferencia (62% y significativa) a los 40 días (Figura 13). Por el contrario los hemipteros predadores presentaron un leve incremento en población al incrementarse la diversidad del habitat (Tabla 2), alcanzando en promedio una densidad 51% mayor en habitats enmalezados (Figura 14) y sólo 15% mayor en policultivos (Figura 15). Ninguno de los tratamientos presentaron diferencias significativas. van Emden (1965) considera las malezas como fuentes importantes de polen y néctar, que a la vez sirven de alimentos alternativos para enemigos naturales.

En el presente estudio las diferentes especies de malezas presentes fueron muestreadas a los 30, 40 y 50 días encontrándose un promedio de 5.2 hemipteros y 2.8 Condylostylus sp./4 m² de malezas respectivamente. (Figura 16 y 17)

El principal parásito de huevos de E. kraemeri, Anagrus sp. (Hymenoptera

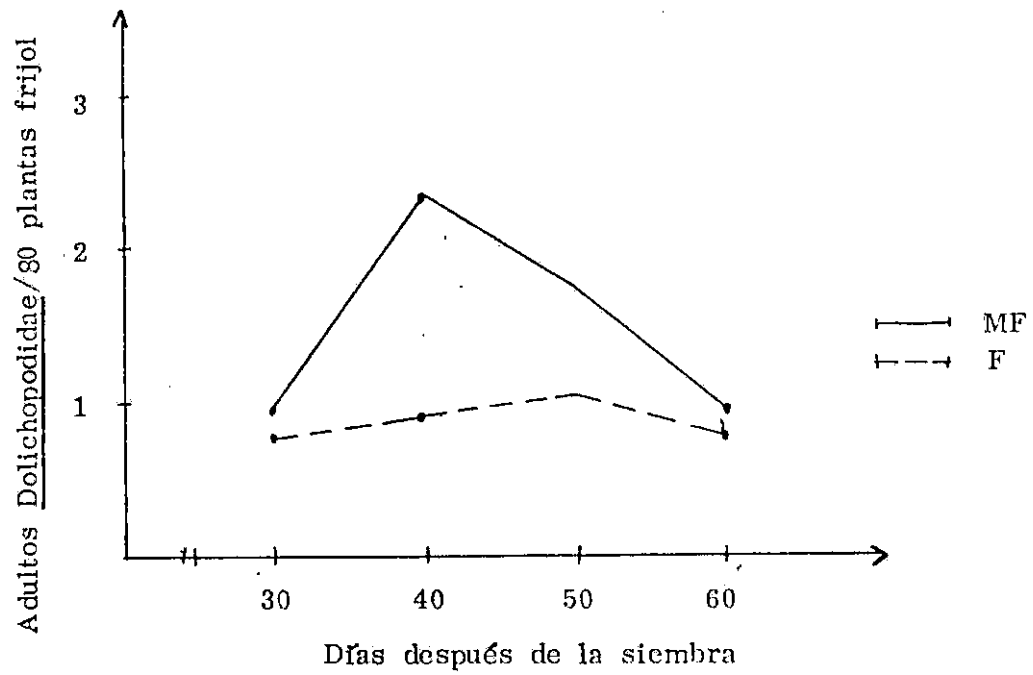


FIG. 13. Abundancia de adultos de *Condyllostylus* sp. en mono (F) y policultivos (MF) de frijol.

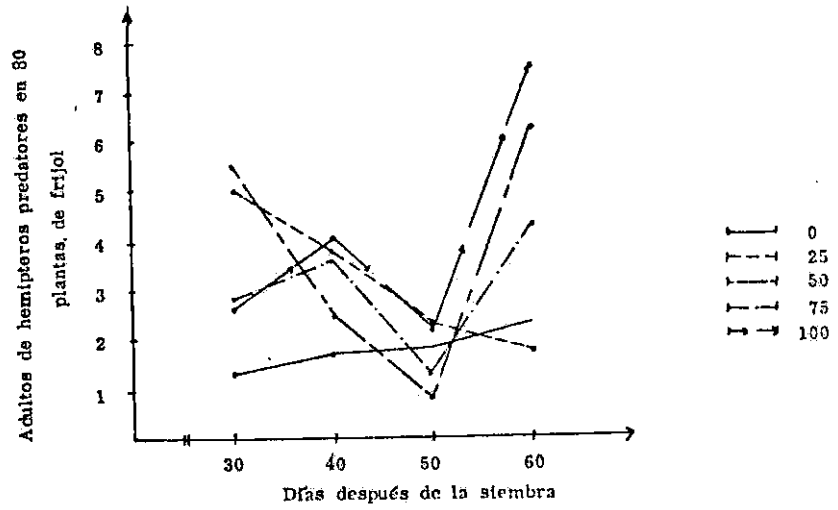


FIG. 14. Efecto de 5 densidades de malezas sobre la dinámica poblacional de hemipteros predadores en frijol.

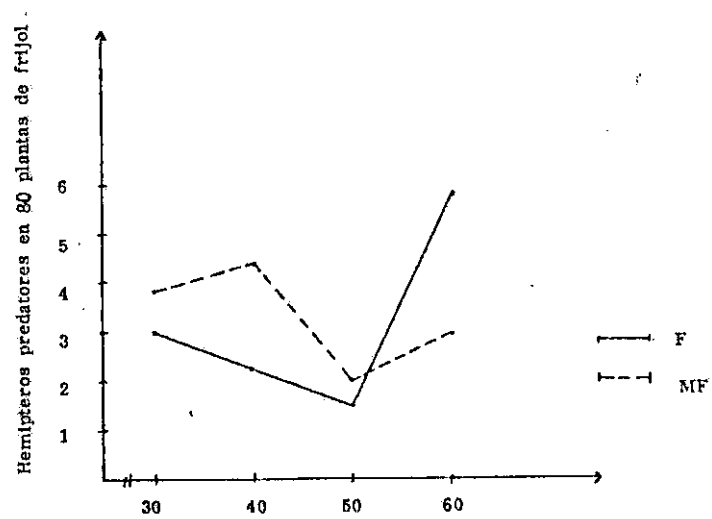


FIG. 15. Abundancia de hemipteros predadores en mono (F) y policultivos (MF) de frijol.

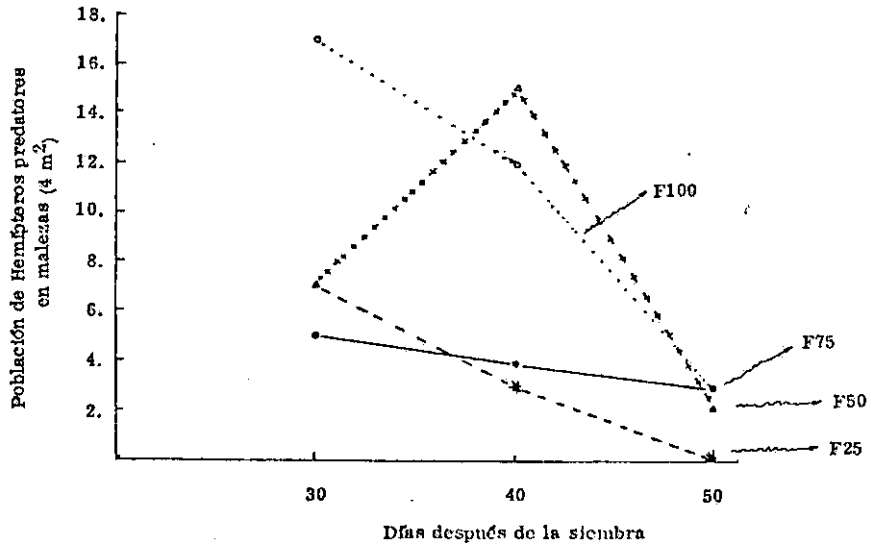
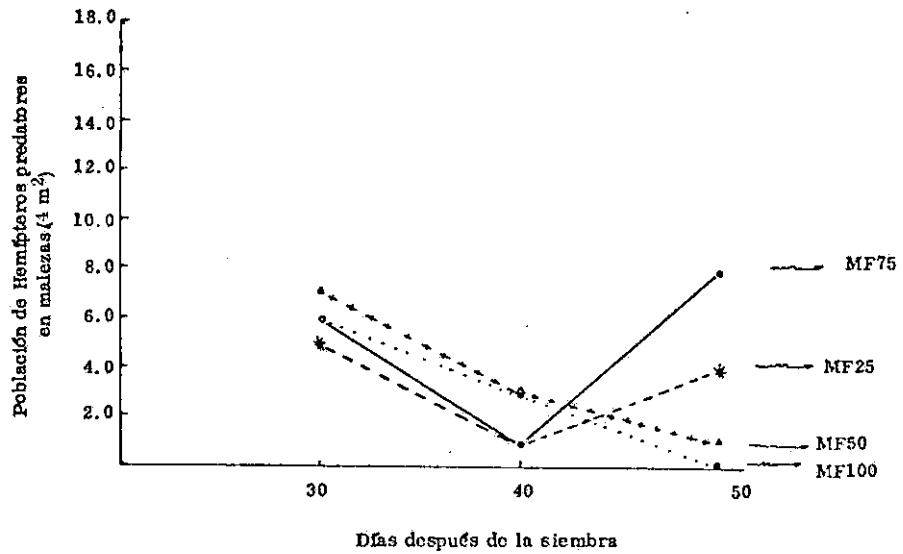


FIG. 16. Población de hemipteros predadores en malezas en los mono y policultivos.

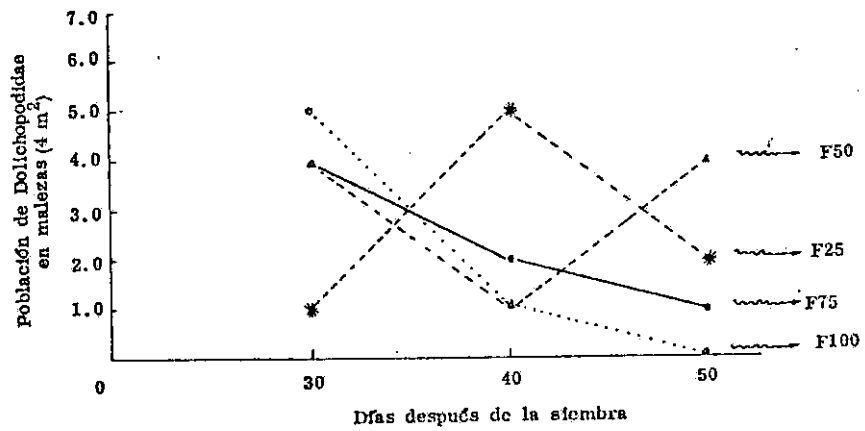
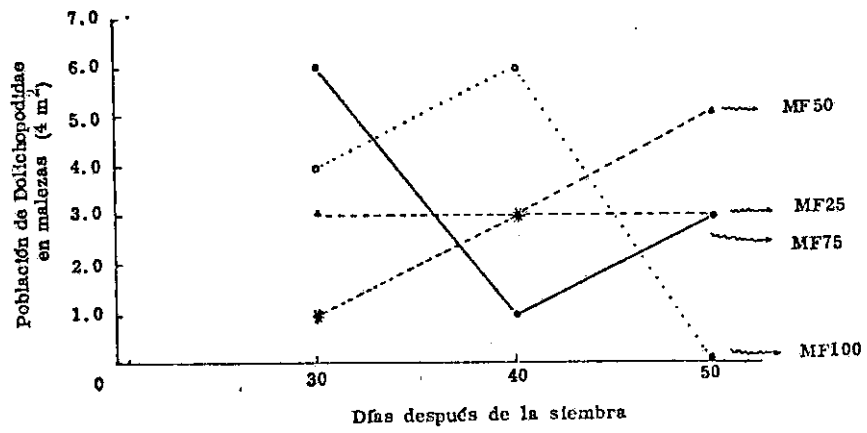


FIG. 17. Población de Dolichopodidae en malezas en los mono y policultivos.

TABLA 2. Abundancia de predadores de E. kraemeri en diferentes habitats fríjol-
malezas (Promedio de cuatro muestreos replicados tres veces y realizados
a los 30, 40, 50 y 60 días)¹

% de suelo cubierto con malezas	Adultos / 80 plantas de fríjol	
	Dolichopodidae	Reduvidae y Nabidae
0	0.98	1.48
25	0.60	2.60
50	1.40	2.60
75	0.95	3.30
100	0.83	3.70
	N.S.	N.S.

Mymaridae) mostró una actividad similar en los habitats enmalezados (54%) y en los monocultivos limpios (57%). En los policultivos su actividad fue un 20% mayor que los sistemas F (Figura 18). Los valores observados concuerdan con porcentajes de hasta 66% anteriormente reportados (CIAT, 1975).

Pimentel (1961) obtuvo mayores poblaciones de enemigos naturales en monocultivos que en sistemas complejos principalmente como consecuencia de una mayor concentración de recursos (presas y huéspedes) y debido a migración de agentes desde parcelas enmalezadas. Bajo las condiciones de este estudio las diferencias entre los diferentes habitats fueron similares y esto posiblemente puede deberse a la proximidad entre las parcelas (menos de 2 metros) por lo que se asume que los enemigos naturales no fueron los principales responsables de las diferencias poblacionales de *E. kraemeri*. Esta conclusión concuerda con lo establecido por Tahvanainen y Root (1972) en sus estudios con *Phyllotreta cruciferae*.

Las malezas también constituyen fuentes de insectos neutrales que en algún momento sirven de presas alternativas para algunos predadores. Este es el caso del parásito *Horogeres* sp. que encuentra huéspedes alternativos en malezas del género *Rubus* sp. (van Emden y Williams, 1974). Bajo las condiciones experimentales del presente ensayo, se determinó la dinámica poblacional de algunas especies de Homopteros (excluyendo *E. kraemeri*) (Figura 19) y de otras especies de crisomélidos (excluyendo *D. balteata*). Ambos grupos presentaron mayores poblaciones en los habitats enmalezados (35 y 37% respectivamente), lo que indica el posible efecto de las

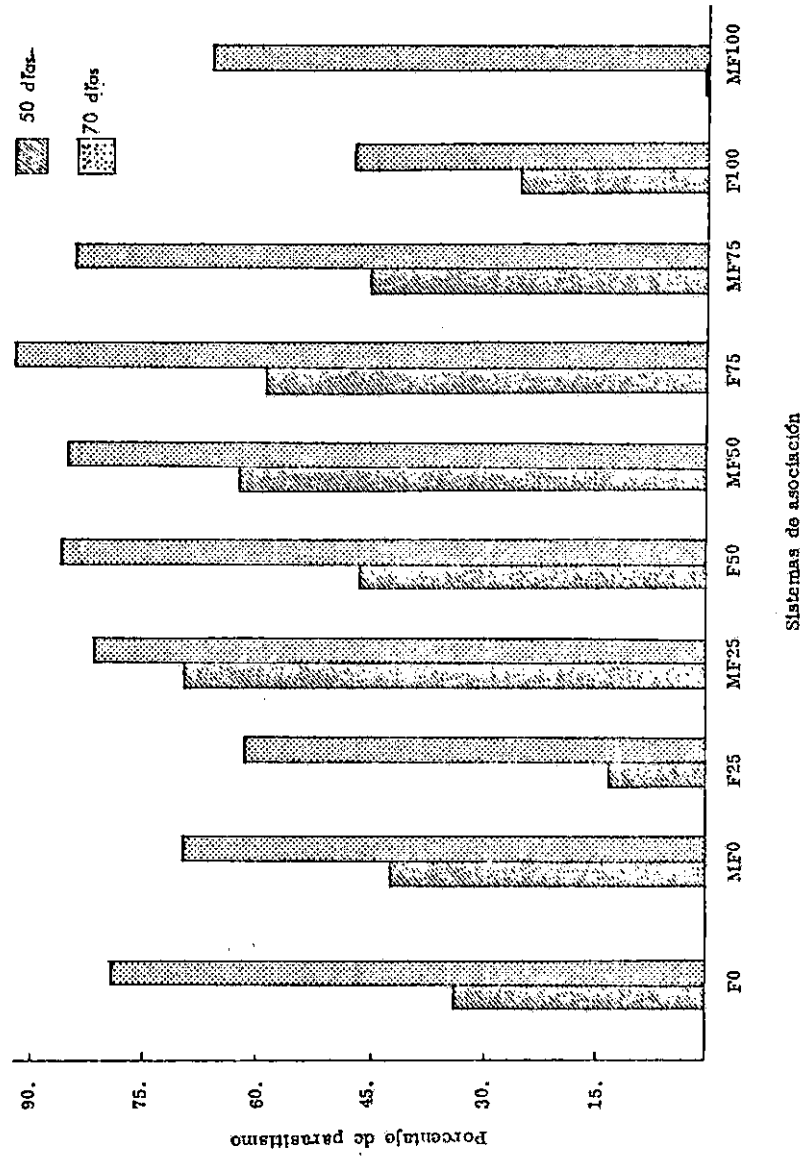


FIG. 18. Efecto de la diversidad del habitat sobre el parasitismo de huevos de Empoasca por Anagrus sp.

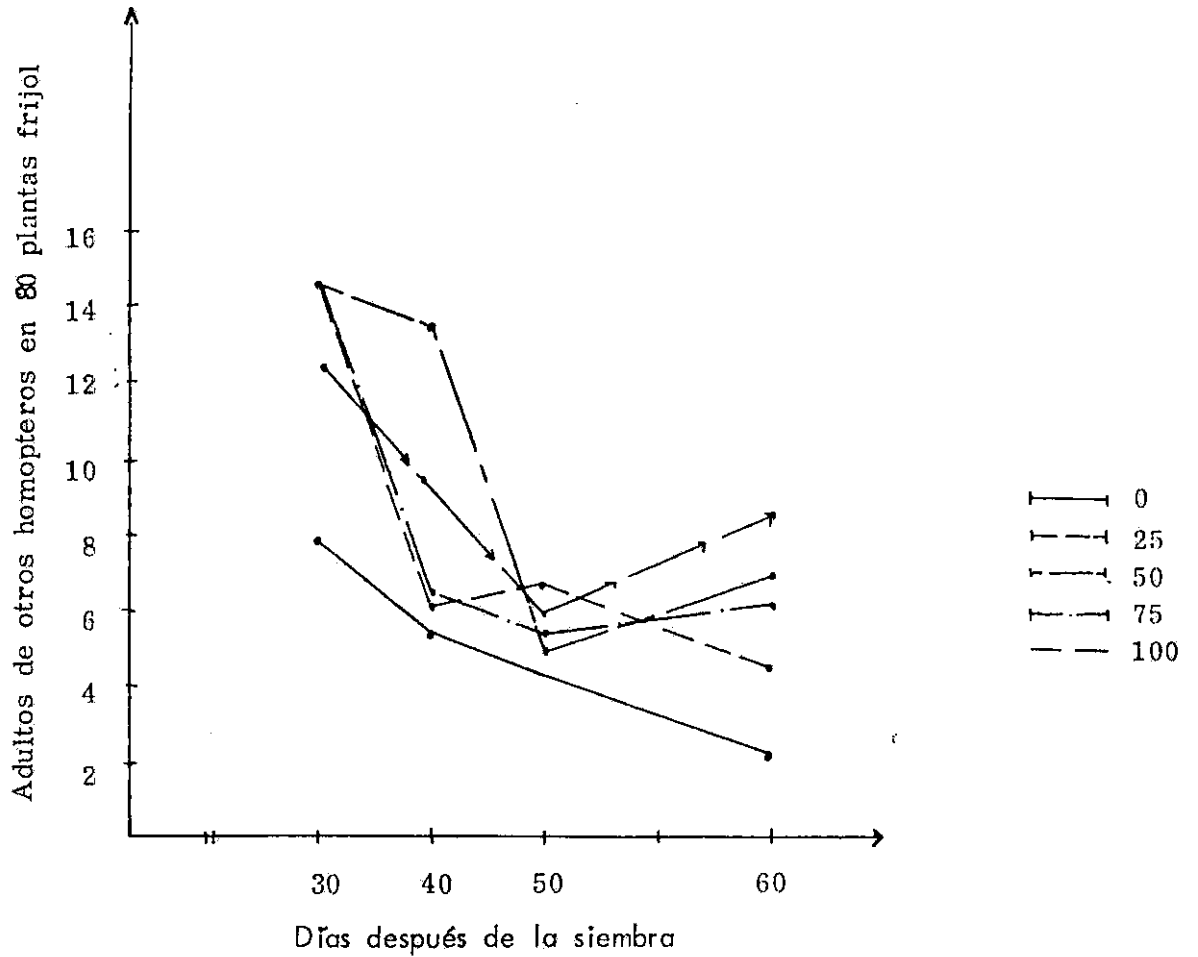


FIG. 19. Efecto de la diversidad de malezas sobre la dinámica de otros homopteros

malezas como reservorio de presas. Este proceso fue más marcado a los 40 y 70 días en que se obtuvo diferencias significativas.

Igualmente en los policultivos se encontraron mayores poblaciones de Homopteros (Figura 20) y otros crisomélidos (5 y 39% respectivamente), aunque se obtuvieron diferencias significativas solo a los 70 días. Van Emden (1974), sugirió el concepto de "desplazamiento competitivo", que consiste en introducir una especie competitiva exitosa para reemplazar especies existentes en el área.

En relación al presente estudio es posible que los homópteros presentes en los diferentes sistemas hayan ejercido cierta presión competitiva limitando en espacio y recursos a E. kraemeri. En los habitats diversificados se obtuvo un promedio de 8.15 individuos homópteros/80 plantas de frijol comparado con 10.7 individuos de E. kraemeri /80 plantas de frijol. Aunque esto no explica totalmente las diferencias poblacionales observadas, al menos sugiere la presencia de otro factor sustractivo en el sistema de vida de E. kraemeri.

En insectos polífagos, la presencia de otras plantas puede desviar la atención de estos de una planta determinada. Efectivamente, la población de adultos de E. kraemeri en las malezas fue 36.7% mayor que sobre el frijol, lo que al menos sugiere un efecto de dilución de la acción de E. kraemeri en este cultivo. Cabe destacar sin embargo que no se obtuvo diferencias significativas en los valores poblacionales de E. kraemeri sobre malezas en los diferentes sistemas (Figura 21).

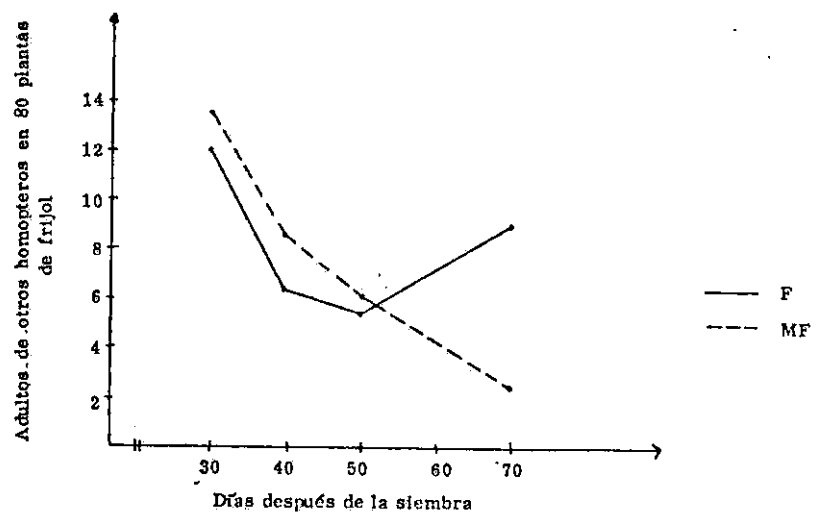


FIG. 20, Dinámica de otros homopteros en mono y policultivos de frijol.

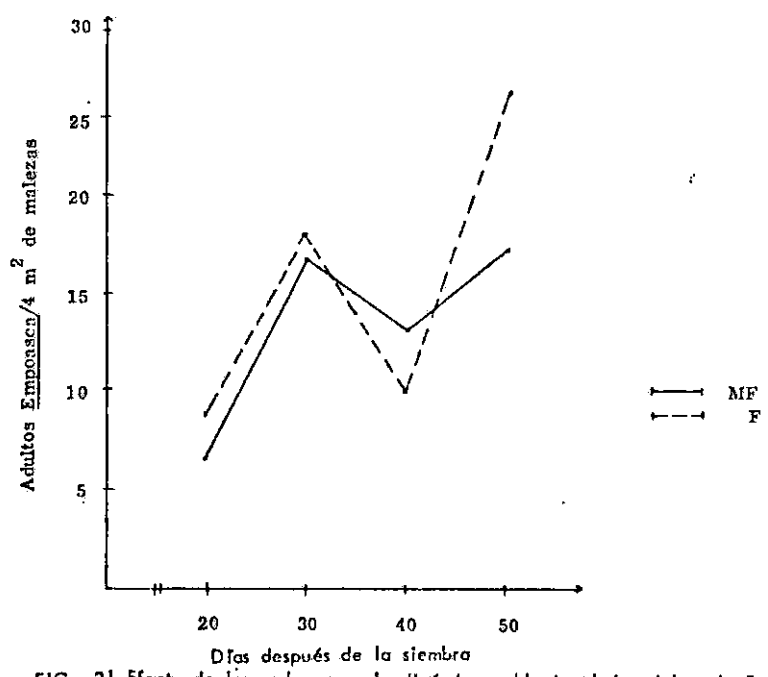


FIG. 21, Efecto de las malezas en la dinámica poblacional de adultos de *E. kraemerii*.