

**Caracterización del Mecanismo de Resistencia a *Tagosodes orizicolus*
(Muir) [Homoptera: Delphacidae] en Cultivares de Arroz (*Oryza sativa*).**

SB
191
•RS
P374

⁰
Catherine Pardey Rodríguez
11



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Escuela de Posgrados

Sede Palmira

2000

Caracterización del Mecanismo de Resistencia a *Tagosodes orizicolus* (Muir) [Homoptera: Delphacidae] en Cultivares de Arroz (*Oryza sativa*).

Catherine Pardey Rodríguez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias, Area de Fitomejoramiento

Director: Lee Calvert

Biólogo, Ph.D. Virología

Laboratorio de Virología - CIAT

Director: César Cardona

Ingeniero Agrónomo, Ph.D Entomología

Proyecto Frijol - CIAT

Director: Diosdado Baena

Ingeniero Agrónomo, M.S.c Espec. Mat.

Universidad Nacional de Colombia – Palmira

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Sede Palmira

Escuela de Posgrados

2000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE PALMIRA



ESCUELA DE POSGRADO

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRIA EN CIENCIAS AGRARIAS AREA DE ENFASIS: FITOMEJORAMIENTO

En Palmira a los (30) Treinta días del mes de Octubre de 2000, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores: LEE CALVERT, CESAR CARDONA, DIOSDADO BAENA G., NORA C. MEZA Y ARIEL GUTIERREZ

Para calificar la Tesis de Grado de:

CATHERINE PARDEY RODRIGUEZ

Titulada: "CARACTERIZACION DEL MECANISMO Y MODO DE RESISTENCIA A *Tagosodes orizicolus* (Muir) [Homoptera : Delphacidae] EN CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa*)"

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los Directores LEE CALVERT, CESAR CARDONA, DIOSDADO BAENA G. y los profesores ARIEL GUTIERREZ y NORA CRISTINA MEZA y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADO X

REPROBADO

Cesar Cardona
Director

Nora C. Mesa
Jurado

Lee Calvert
Director

Diosdado Baena
Director

Ariel Gutiérrez
Jurado

“La facultad y los jurados de tesis no serán responsables de las ideas emitidas por
él o los autores de este trabajo”

(Artículo 24, resolución 04 de 1979)

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi mamá M. Teresa, a mi hermana Ingrid y a Luis Carlos porque siempre me apoyaron en iniciar una carrera de pos – grado, la cual incluyo un trabajo de tesis que ocupo tiempo de mi hogar, donde ellos me apoyaron con su ayuda y cuidado con mis dos hijos Nicolás y Juan Pablo a quienes amo muchísimo. Doy gracias a Dios en el nombre del Señor Jesucristo por esta oportunidad que me dio por iniciar y culminar con éxito una investigación tan importante la cual el Señor utilizo para enseñarme a ser una profesional responsable.

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos a:

Dr. Lee Calvert, por su apoyo en la realización del trabajo y la confianza depositada para terminar con éxito mi carrera.

M.S.c. Diosdado Baena, por la supervisión en el desarrollo del trabajo.

Dr. César Cardona, por la dirección del trabajo en la sección de mecanismos de resistencia.

M.S.c. Mario Augusto García, César Martínez por la dirección del trabajo en la sección de herencia genética de la resistencia.

Matemática Myriam Cristina Duque, en la dirección del estudio estadístico.

Matemático James Silva, por el procesamiento y análisis estadísticos

Señores Mauricio Morales, Alejandro Quintero, Efrén Córdoba y Rodrigo Moran, por su ayuda en el desarrollo técnico del trabajo.

Sra. Nidian Gil, por los servicios de cafetería.

A todo el personal del Laboratorio de Virología y Entomología de Arroz del CIAT por la guía en el desarrollo del presente estudio.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	11
2. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1 <i>TAGOSODES ORIZICOLUS</i> = "SOGATA"	13
2.2.1 Taxonomía	13
2.1.2 Importancia	14
2.1.3 Relación insecto - planta	14
2.1.4 Niveles de infestación	15
2.1.5 Manejo del insecto:	16
2.1.6 Resistencia varietal	16
2.1.7 Mecanismos de resistencia	19
2.1.8 Genética y herencia de la resistencia	20
2.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	22
2.2.1 Mecanismos de resistencia en plantas	22
2.2.1.1 Antixenosis o no preferencia	22
2.2.1.2 Antibiosis	22
2.2.1.3 Tolerancia	24
2.2.2 Factores que afectan la expresión de la resistencia	24
2.2.3 Combinación de mecanismos de resistencia	25
2.2.4 Técnicas para determinar mecanismos de resistencia en plantas	26
2.2.4.1 Antixenosis	26
2.2.4.2 Antibiosis	26
2.2.4.3 Tolerancia	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 MECANISMO DE RESISTENCIA	31
3.1.1 Comportamiento de variedades al daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> en condiciones de invernadero	32
3.1.2 Experimentos sobre antixenosis	33
3.1.2.1 Estudios de alimentación y oviposición en prueba de libre escogencia:	33
3.1.2.2 Estudios de Oviposición en prueba de no escogencia o alimentación forzada	34
3.1.3 Experimentos sobre antibiosis	35
3.1.3.1 Estudio del ciclo ninfal	35
3.1.3.2 Estudio del peso de los insectos en estado adulto:	35
3.1.3.3 Estudio de emergencia de ninfas	36
3.1.3.4 Tabla de vida de <i>T. orizicolus</i>	36
3.1.4 Experimentos sobre tolerancia	37
3.1.4.1 Niveles de infestación con ninfas	37
3.2 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA HERENCIA DE LA RESISTENCIA	37
3.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS	39
3.3.1 Comportamiento de variedades con el daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> en condiciones de invernadero	39
3.3.2 Experimentos sobre antixenosis	39
3.3.2.1 Estudios de alimentación y oviposición en prueba de libre escogencia	39
3.3.2.2 Estudios de oviposición en prueba de no escogencia ó alimentación forzada	40
3.3.3 Experimentos sobre antibiosis	40
3.3.3.1 Estudio del ciclo ninfal	40
3.3.3.2 Estudio del peso de los insectos en estado adulto	41
3.3.3.3 Estudio de emergencia ninfal	41
3.3.3.4 Tabla de vida de <i>T. orizicolus</i>	41
3.3.4 Experimento de tolerancia	42

3.3.4.1 Niveles de infestación con ninfas	42
3.3.5 Herencia de la resistencia	43
4. RESULTADOS	44
4.1 COMPORTAMIENTO DE VARIEDADES AL DAÑO MECÁNICO DE <i>T. ORIZICOLUS</i> EN CONDICIONES DE INVERNADERO	44
4.2 EXPERIMENTOS SOBRE ANTIXENOSIS.....	45
4.2.1 Estudios de preferencia por alimentación y oviposición de <i>T. orizicolus</i> en prueba de libre escogencia sobre cuatro variedades.....	45
4.2.2 Estudios de oviposición en prueba de no escogencia ó alimentación forzada.	48
4.3 EXPERIMENTOS SOBRE ANTIBIOSIS	50
4.3.1 Estudio del Ciclo ninfal.....	50
4.3.2 ESTUDIO DEL PESO DE LOS INSECTOS EN ESTADO ADULTO	54
4.3.3 Estudio de emergencia ninfal.....	55
4.3.4 Tabla de vida de <i>T. orizicolus</i>	57
4.4 ENSAYO DE TOLERANCIA.....	60
4.4.1 Niveles de infestación con ninfas.....	60
4.5 ANALISIS PRELIMINAR DE LA HERENCIA DE LA RESISTENCIA.....	65
5. DISCUSIÓN.....	73
6. CONCLUSIONES	78
7. RECOMENDACIONES	80
8. RESUMEN.....	81
9. SUMMARY	85
10. ANEXOS.....	88
11. BIBLIOGRAFIA.....	96

Lista de Tablas

Tabla 1. Escala de daño mecánico a <i>T. orizicolus</i> para prueba en invernadero 4ta edición IRRI, 1996	17
Tabla 2. Factores que afectan la expresión de la resistencia.....	25
Tabla 3. Resultados que se esperan de una combinación de antibiosis y antixenosis	26
Tabla 4. Reacción conocida de variedades de arroz al daño mecánico de <i>T. orizicolus</i>	31
Tabla 5. Programa de cruzamiento del cruce entre las línea P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 en la determinación de la herencia genética de la resistencia a <i>T. orizicolus</i> .38	
Tabla 6. Porcentaje de mortalidad de plantas debido al daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> en cuatro variedades de arroz en prueba de invernadero.....	44
Tabla 7. Porcentaje de mortalidad de plantas debido al daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> en cinco variedades de arroz en prueba de invernadero.	45
Tabla 8. Número de huevos ovipositados por planta durante cinco días de <i>T. orizicolus</i> sobre cuatro variedades de arroz en prueba de libre escogencia.	48
Tabla 9. Número de huevos ovipositados por planta durante cinco días de <i>T. orizicolus</i> sobre cinco variedades de arroz en prueba de libre escogencia.	48
Tabla 10. Ciclo de oviposición de <i>T. orizicolus</i> , sobre seis variedades de arroz	49
Tabla 11. Porcentaje de mortalidad ninfal, duración del estado ninfal y relación de sexos en <i>T. orizicolus</i> sobre seis variedades de arroz.	51
Tabla 12. Número de ninfas muertas de <i>T. orizicolus</i> en cada ínstar sobre seis variedades de arroz	52
Tabla 13. Peso (10^{-4} gramos) de insectos adultos de <i>T. orizicolus</i> en seis variedades de arroz54	
Tabla 14. Ciclo ninfal de <i>T. orizicolus</i> sobre seis variedades de arroz.	55
Tabla 15. Ciclo de Reproducción de <i>T. orizicolus</i> en IR 8 y Fedearroz 50	57
Tabla 16. Tabla de vida de <i>T. orizicolus</i> en IR 8 y Fedearroz 50	60
Tabla 17. Índice de Tolerancia con relación al nivel de infestación según Dixon <i>et al.</i> (1990)...	63
Tabla 18. Promedio del Porcentaje de mortalidad de <i>T. orizicolus</i> durante 15 a 20 días de infestación.	64
Tabla 19. Índice de tolerancia con relación al peso del insecto y el porcentaje de supervivencia.64	
Tabla 20. Reacción de daño mecánico según la escala de evaluación (IRRI, 1996) en testigos y generaciones del cruce entre P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4	67
Tabla 21. Reacción de daño mecánico según la escala de evaluación agrupado en dos categorías en testigos y generaciones del cruce entre P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4.....	68
Tabla 22. Clasificación genotípica y fenotípica de acuerdo con la escala de evaluación a daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> propuesta para el cruzamiento entre P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4.....	69
Tabla 23. Segregación genotípica y fenotípica esperada para la resistencia al daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> con base al modelo propuesto	70
Tabla 24. Clasificación de las plantas de las poblaciones segregantes del cruzamiento P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4 por su reacción al daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> .72	
Tabla 25. Resultados que se esperan de una combinación de antibiosis y antixenosis con las variedades evaluadas.....	77

Lista de Figuras

Figura 1. Hembra de <i>T. orizicolus</i> (arriba) y forma de la oviposición (abajo). Tomada de la guía de estudio de Jennings <i>et al.</i> , 1980.	13
Figura 2. Daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> , según la escala de evaluación del CIAT. Grado 1 (izquierda), Grado 5 (centro), Grado 9 (derecha). Tomado de la guía de estudio del CIAT de Jennings <i>et al.</i> 1980.....	18
Figura 3. Plantas de arroz de 20 días de edad sembradas en una bandeja y ubicada dentro de una jaula de malla al momento de ser infestadas con insectos de <i>T. orizicolus</i> . Tomada por el autor, CIAT, 1998.....	32
Figura 4. Transplante en forma de círculo con 30 plantas de arroz. Tomada por Yolima Ospina, CIAT, 2000	33
Figura 5. Plantas de arroz de 20 días de edad cubiertas con un tubo de acetato transparente para ser infestada con una pareja de <i>T. orizicolus</i> . Tomada del audiovisual del CIAT de Jennings <i>et al.</i> , 1980.....	34
Figura 6. Materos con plantas cubiertas con tubos de acetato transparente para ser infestados con ninfas, éste diseño se conoce con el nombre de "individuales". Tomada por Yolima Ospina, CIAT, 2000	35
Figura 7. Reacción al daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> sobre las poblaciones al momento de la evaluación (muerte de IR 8, surco séptimo de izquierda a derecha). Tomada por Harol Narvaez, CIAT, 2000.....	39
Figura 8. Preferencia de <i>T. orizicolus</i> por alimentación en prueba de libre escogencia sobre cuatro variedades de arroz.....	46
Figura 9. Preferencia de <i>T. orizicolus</i> por alimentación en prueba de libre escogencia sobre cinco variedades de arroz.....	46
Figura 10. Secuencia de aparición de ninfas vivas de <i>T. orizicolus</i> en seis variedades de arroz.....	53
Figura 11. Oviposición de <i>T. orizicolus</i> en dos variedades de arroz.....	57
Figura 12. Supervivencia de la hembra(lx) de <i>T. orizicolus</i> en dos variedades de arroz.....	59
Figura 13. Hembras producidas por una hembra (mx) de <i>T. orizicolus</i> en dos variedades de arroz.....	59
Figura 14. Relación entre el nivel de infestación con ninfas y el porcentaje de pérdida de peso causado por <i>T. orizicolus</i> en seis variedades de arroz.....	61

Listado de Anexos

ANEXO 1. Escala de daño mecánico a <i>T. orizicolus</i> para prueba en invernadero Jennings y Pineda, 1969.	88
ANEXO 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de mortalidad de plantas por surco al daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> en cuatro variedades de arroz.	88
ANEXO 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de mortalidad de plantas por surco al daño mecánico de <i>T. orizicolus</i> en cinco variedades de arroz.	88
ANEXO 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de <i>T. orizicolus</i> posados en cuatro variedades de arroz a través del tiempo y número de huevos ovipositados.	89
ANEXO 5. Porcentaje de insectos posados de <i>T. orizicolus</i> sobre cuatro variedades de arroz en diferentes horas de evaluación.	89
ANEXO 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de <i>T. orizicolus</i> posados en cinco variedades de arroz a través del tiempo y número de huevos ovipositados.	89
ANEXO 7. Porcentaje de insectos posados de <i>T. orizicolus</i> sobre cinco variedades de arroz en diferentes horas de evaluación.	90
ANEXO 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para oviposición, longevidad y fecundidad por planta de <i>T. orizicolus</i> en seis variedades de arroz.	90
ANEXO 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para mortalidad ninfal de <i>T. orizicolus</i> en seis variedades de arroz.	90
ANEXO 10. Cuadrados medios del análisis de varianza para duración ninfal de <i>T. orizicolus</i> en seis variedades de arroz.	91
ANEXO 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para peso de <i>T. orizicolus</i> en seis variedades de arroz.	91
ANEXO 12. Cuadrados medios del análisis de varianza para emergencia ninfal de <i>T. orizicolus</i> por planta en seis variedades de arroz.	91
ANEXO 13. Tabla de vida de <i>T. orizicolus</i> sobre Fedearroz 50.	92
ANEXO 14. Tabla de vida de <i>T. orizicolus</i> sobre IR 8.	93
ANEXO 15. Datos de las variables del ensayo de tolerancia.	94
ANEXO 16. Cuadrados medios del análisis de varianza para mortalidad de <i>T. orizicolus</i> en seis variedades de arroz en prueba de tolerancia.	95
ANEXO 17. Calificación de resistencia al daño mecánico en generaciones del cruce entre P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4.	95

1. INTRODUCCIÓN

Tagosodes orizicolus (Muir), conocido comúnmente como “sogata” es una de las principales plagas del arroz en América Latina. La hembra causa daño mecánico al ovipositar y las ninfas al alimentarse (Little, 1957). El insecto actúa como vector del virus de la hoja blanca (RHBV) (Adair *et al.* 1958; Jennings *et al.* 1958; Galvez y Jennings, 1959). La mejor forma de control es el Manejo Integrado de Plagas y en particular la resistencia varietal (Anónimo, 1958; Martínez, 1971, Hernández *et al.* 1989). Para evaluar en forma masiva líneas de arroz al daño mecánico de “sogata”, se usa la escala visual de evaluación del IRRI (1996); CIAT reconoce como genotipos resistentes a los cultivares Makalioka, todas las líneas Irat y Mudgo, como susceptibles a Chiannan-8, Colombia 1, Bluebonnet-50 e IR-8 y como intermedios a Cica 8 y Tetep (Jennings y Pineda 1969, 1970a; Gavidia 1970; CIAT 1987ab, 1993).

Para determinar la resistencia a “sogata” el Programa de Arroz del CIAT realiza en sus pruebas, evaluaciones de conteo de ninfas, de huevos y daño mecánico, observaciones que llevan a pensar en posibles mecanismos de resistencia. Jennings y Pineda (1970b) consideraron a Irat 124 como un material antibiótico; Orellana (1981), reportó a Cica 4 y Naylamp como tolerantes; Triana *et al.* (1994), afirmaron que existe un posible mecanismo de antixenosis en Tetep, antibiosis en Makalioka e Irat 124, y tolerancia en Cica 8.

Las pruebas anteriores no son concluyentes en el mecanismo que confiere resistencia varietal, porque es necesario realizar ensayos que evalúen parámetros en la planta y que midan el efecto de la planta en el insecto. El Programa de Entomología Arroz del CIAT está interesado en clasificar la resistencia que hay en las variedades de arroz usados como donantes de resistencia a “sogata”, usando las categorías de tolerancia, antibiosis, y antixenosis descritas por Painter (1951), a su vez determinar el número de genes involucrados en la resistencia.

Por estas razones, en este trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

- ♦ Identificar el mecanismo de resistencia que actúa en Makalioka, Fedearroz 50 (FB 50), Oryzica Llanos 5, Oryzica Llanos 4 y la línea P1274-6-8M-1-3M-1 (P1274).
- ♦ Realizar un análisis preliminar de la herencia de la resistencia al daño mecánico de *Tagosodes orizicolus* en el cruzamiento entre Oryzica Llanos 4 y P1274-6-8M-1-3M-1, los progenitores de la variedad comercial Fedearroz 50

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 *Tagosodes orizicolus* = "sogata"

2.2.1 Taxonomía

El género *Sogatodes* Fennah, es hoy en día reportado como sinónimo de *Sogatella* (Asche y Wilson, 1990). Todas las especies actualmente agrupadas en el género *Sogatodes* quedaron distribuidas en tres géneros nuevos: *Sogatellana*, *Latistria* y *Tagosodes*. El género *Tagosodes* fue descrito para acomodar las especies: *Tagosodes cubanus* (Crawford), *Tagosodes orizicolus* (Muir) y *Tagosodes pusanus* (Distant).

Pantoja y Hernández (1993) reportan la sinonimia de la plaga hasta el momento:

<i>Sogata orizicola</i>	(Muir) 1926	Muir
<i>Sogatodes orizicola</i>	(Muir) 1963	Fennah
<i>Sogatodes oryzicola</i>	(Muir) 1966	Ishihara & Nasu
<i>Sogatodes orizicola</i>	(Muir) 1969	Ishihara
<i>Tagosodes orizicolus</i>	(Muir) 1990	Asche & Wilson

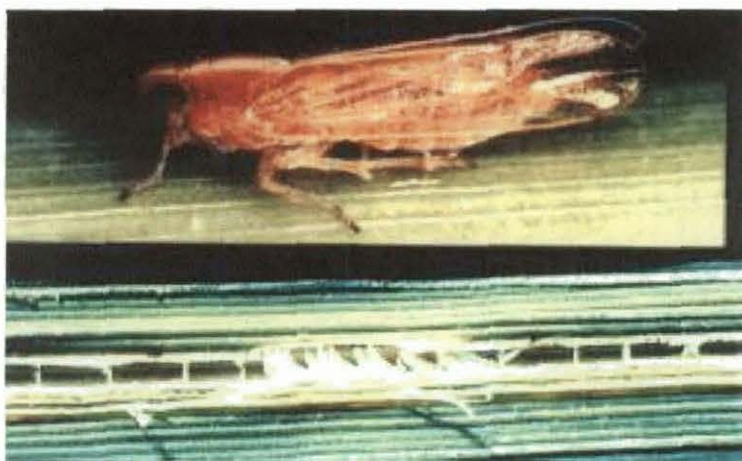


Figura 1. Hembra de *T. orizicolus* (arriba) y forma de la oviposición (abajo). Tomada de la guía de estudio de Jennings *et al.*, 1980.

2.1.2 Importancia

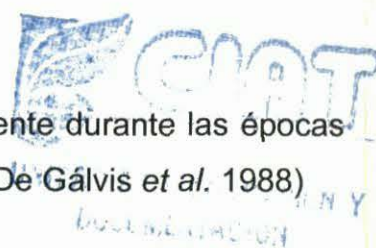
T. orizicolus (Muir) es el vector del virus de la hoja blanca del arroz el cual ha ocasionado grandes pérdidas económicas en América Latina, se han señalado epidemias de hoja blanca aproximadamente cada 10 a 15 años y luego la enfermedad desaparece. En 1957 esta enfermedad amenazó la industria arrocería colombiana ocasionando pérdidas de más del 50 % en la producción (Samper 1968). La última epidemia de hoja blanca en Colombia fue reportada en 1982 con la variedad Cica 8 (Vargas 1985).

Entre 1964 y 1965, el insecto pasó de ser plaga indirecta a ser plaga directa ocasionando daño mecánico como chupador al hacer incisiones para alimentarse u ovipositar (Figura 1), el daño redujo los rendimientos hasta en un 90% en áreas severamente afectadas, especialmente en el Huila y Tolima (Samper, 1968).

La Federación Nacional de arroceros en 1999, realizó una encuesta a 147 agricultores en cinco zonas, sobre manejo de insectos plagas en arroz, de los cuales el 75% son agrónomos y el 25% restante agricultores; cuando se preguntó cuál era la plaga más importante, los encuestados de Tolima-Sur, Huila y Valle reconocieron en "sogata" el problema más importante, el 86% de ellos hacen una aplicación para controlarla, el 14% restante realiza entre 2 y 3 aplicaciones (Calvert y Reyes, 2000).

2.1.3 Relación insecto - planta

El insecto se encuentra en todos los estados de desarrollo de la planta, principalmente en plantas jóvenes (desde germinación hasta ahijamiento activo), por ser sus tejidos más tiernos y por lo tanto más adecuados para la alimentación.



Los mayores niveles de población se registran especialmente durante las épocas secas, (Galvez, 1967; Alvarez, 1974; Meneses *et al.* 1990; De Gálvis *et al.* 1988)

Nadie sabe por qué los saltahojas en general, se propagan tan rápidamente, pero la mayoría de las teorías indican que se debe al cultivo intensivo de arroz; el cual provoca aumentos de la población de insectos plagas. Las variedades de arroz se siembran a corta distancia entre sí y tienen gran capacidad de ahijamiento, esto les promueve un mejor hábitat a los insectos, los cuales se desarrollan en la base de los tallos. La fertilización y riego promueven el desarrollo de un follaje denso y succulento ideal para el crecimiento del saltahoja. A medida que se expanden los almacenamientos del agua de riego, los agricultores producen arroz durante todo el año, de modo que la época seca ya no rompe el ciclo de vida del insecto, el uso indiscriminado de insecticidas contra la plaga provoca la eliminación de sus enemigos naturales los cuales reducen la población del insecto (IRRI, 1989).

2.1.4 Niveles de infestación

Gutiérrez y Rodríguez (1980) determinaron el rendimiento de un grupo de variedades en función de los daños causados por "sogata" empleando uno y dos pares de insectos por planta, inoculados a partir de los 20 días de germinado el cultivo y dejándolos a libre multiplicación. Los resultados mostraron que aún en las variedades resistentes Cica 4, Caribe 1, J 104 presentaron reducciones en el rendimiento, sugiriendo la necesidad de aplicar medidas fitosanitarias durante los primeros 20 días del cultivo.

Arias *et al.* (1985) determinaron que 2 insectos/m² en libre reproducción a partir de los 15 hasta los 45 días de germinado el arroz, producen una disminución en el número de panículas y por consiguiente en los rendimientos. El índice de 250 insectos/m², a partir de los 15 días de germinado el arroz, conduce a la muerte de las plantas a pesar de la resistencia de las variedades a "sogata".

2.1.5 Manejo del insecto:

Para manejar el complejo “sogata” - hoja blanca son necesarias tanto variedades resistentes como prácticas culturales adecuadas. Se debe determinar el nivel de infección con hoja blanca antes de los 50 – 60 días de emergencia. Si la incidencia es menor del 3% se puede sembrar cualquier variedad. El control se debe efectuar cuando el nivel de “sogata” sea de 200 insectos en 10 pases dobles de jama (pdj) en los primeros 25 días de edad del cultivo; entre 3-10% de infección se recomienda sembrar variedades con resistencia al virus y hacer un control cuando el nivel de “sogata” sea mayor que 50 insectos en 10pdj; si la incidencia es mayor al 10% se recomienda sembrar variedades resistentes al virus y hacer un control cuando el nivel de “sogata” sea mayor de 10 pdj (Calvert y Reyes, 1999)

2.1.6 Resistencia varietal

Los estudios de resistencia varietal a “sogata” se iniciaron a partir de 1970, cuando en 1967 y 1968 se observó la resistencia de la variedad IR 8 al estar sembrada al lado de la variedad susceptible Bluebonnet 50, Jennings y Pineda (1969), establecieron inicialmente la metodología de evaluación masiva de resistencia a “sogata” usando la escala de 1 a 5 en la cual 1 correspondía a planta sana y 5 a planta muerta (anexo 1). Se usó como testigo susceptible la variedad Bluebonnet 50 y como testigo resistente la variedad Mudgo. Los resultados mostraron que hubo resistencia al insecto y la resistencia se encontró en los genotipos indicas del Sureste asiático. Esta resistencia fue altamente hereditaria y pudo ser combinada fácilmente con otras características agronómicas como altura de la planta, resistencia al vuelco, rendimiento y enfermedades, etc.

Jennings y Pineda (1970a), definieron la relación entre la edad de la planta y la reacción al daño mecánico causado por el insecto, concluyeron que plántulas de 15 días de sembradas, de variedades resistentes conservan su resistencia hasta

edades avanzadas, las variedades susceptibles en estado de plántula también lo son en edades avanzadas; la única diferencia que observó entre los estados de crecimiento fue que el insecto requería más tiempo para matar las plantas más viejas de la variedad susceptible.

Gavidia (1970), estudió la asociación entre resistencia al insecto y al virus y concluyó que no hay asociación, la resistencia al insecto es diferente a la resistencia al virus, por lo tanto variedades resistentes al insecto no protegen la planta contra el virus de la hoja blanca.

La metodología masal de evaluación de resistencia a “sogata” fue modificada, usando cajas de madera o semilleros en vez de potes, para sembrar las plantas dejando 10 plantas por surco (Jennings *et al.* 1981). Se continuó con los mismos testigos Bluebonnet 50 y Mudgo, y se cambió el enfoque de la escala de evaluación. La escala original tenía dos visiones una de daño mecánico y la otra de muerte de la planta; estas dos visiones se combinaron para dar finalmente una sola escala (Tabla 1, Figura 2) y se validó por comparación de la reacción de los testigos resistentes y susceptibles (Jennings *et al.* 1981, CIAT, 1991). En 1997 el CIAT reportó el uso de la variedad IR 8 como nuevo testigo susceptible con el fin de incrementar la presión de selección de las líneas resistentes y como testigo resistente Makalioka.

Tabla 1. Escala de daño mecánico a *T. orizicolus* para prueba en invernadero 4ta edición IRRI, 1996

Escala	Reacción en la planta
0	No daño
1	Daño muy suave / decoloración de la hoja
3	Primera y segunda hoja parcialmente amarilla
5	Amarillamiento pronunciado en las hojas y algo atrofiadas, menos que el 50% de la planta muerta
7	Fuerte amarillamiento en las hojas, más del 50% de la planta muerta
9	Toda la planta muerta

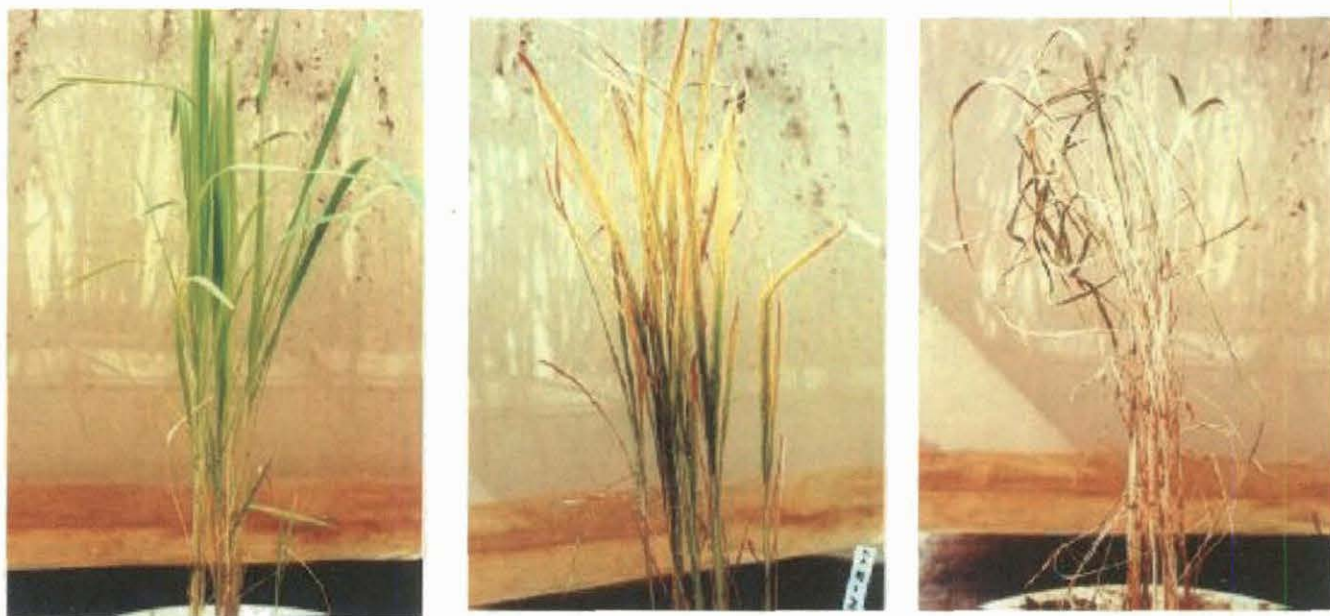


Figura 2. Daño mecánico de *T. orizicolus*, según la escala de evaluación del CIAT. Grado 1 (izquierda), Grado 5 (centro), Grado 9 (derecha). Tomado de la guía de estudio del CIAT de Jennings *et al.* 1980

Cada año en el CIAT se evalúa la reacción de aproximadamente 12000 líneas a "sogata". Cerca del 50% de los materiales son clasificados como resistentes, indicando que se está utilizando mejor el germoplasma de arroz, permitiendo al mejorador seguir seleccionando para otras características agronómicas deseables (CIAT, 1998).

Actualmente la Federación Nacional de Arroceros y el Fondo Nacional del Arroz han lanzado tres nuevas variedades que presentan resistencia tanto al virus como al insecto: Fedearroz 50, Fedearroz 2000 y Colombia XXI (CIAT, 1997; FEDEARROZ, 1999).

La variedad IR 8 se liberó en 1966 y fue el resultado de un cruce entre un arroz semienano de China y una variedad Indonesia alta y vigorosa. IR 8 es de porte bajo, de tallos fuertes, con muchas panículas portadoras de los granos. Los

agricultores la adoptaron rápidamente en el Asia, y posteriormente en Latinoamérica. Estudios iniciales de materiales resistentes al daño mecánico de "sogata", reportan a IR 8 como variedad resistente (Jennings y Pineda, 1970a; Gavidia, 1970; Rosero *et al.* 1970). Blanco y González (1974) la describieron como una variedad rústica y de alto rendimiento pero de baja calidad. En Cuba, Pérez *et al.* (1977) calificaron a IR 8 como una variedad susceptible. Orellana *et al.* (1982) utilizaron a IR 8 como material para multiplicar "sogata" en sus colonias. Hernández (1987), estudió la reacción de IR 8 con insectos traídos de Cuba y de Colombia (CIAT) concluyó que los insectos procedentes de Cuba son más agresivos que los insectos procedentes de Colombia. Jennings (1983), concluyó que la reacción diferencial de IR 8 es una consecuencia de la metodología y no a un biotipo diferente en Cuba. Cuba utiliza a IR 8 como testigo susceptible y Colombia a Bluebonnet 50. La diferencia en días de la muerte de IR 8 con respecto a Bluebonnet 50 en plantas de 15 días de sembradas en semilleros fue de 16 días y en prueba sin escogencia es de 7 días, estas diferencias se atribuyeron a que los insectos en los semilleros tienen la opción de alimentarse y multiplicarse sobre los materiales que prefieren; a diferencia de la prueba sin escogencia donde el insecto es obligado a alimentarse de un solo material (Pardey, 1996),

2.1.7 Mecanismos de resistencia

Jennings y Pineda, (1970b) sugirieron que la resistencia a "sogata" se debe a antibiosis y no preferencia. En América Latina se usa la tolerancia varietal a "sogata", para asegurar esta estrategia. En el CIAT (1987b), estudiaron los posibles efectos relacionados con el uso de antibiosis y desarrollaron un ensayo donde se midió el efecto antibiótico de la variedad resistente IRAT 124 en la variedad susceptible Bluebonnet 50 utilizando ensayos de crecimiento poblacional. Los resultados mostraron que insectos alimentados durante 10 meses sobre la variedad resistente IRAT 124 y trasladados posteriormente por un periodo de 18

días a plantas tanto de la variedad susceptible Bluebonnet 50 como de IRAT 124, la población fue mayor en IRAT 124 que en Bluebonnet 50. Se concluyó que se presenta una adaptación genética y fisiológica en el insecto sobre variedades antibióticas, porque la resistencia se pierde en 2 a 3 años; Además se confirmó la presencia de 43 líneas del Banco de Germoplasma con resistencia de tipo antibiosis procedentes del IRRI principalmente, donde se recomendó que en líneas avanzadas donde se usen progenitores con antibiosis se deben evaluar con un método especial para antibiosis.

En el CIAT (1991), continuaron haciendo estudios para entender la naturaleza de la resistencia del arroz al daño mecánico. La variedad Bluebonnet 50 mostró el 80% de mortalidad en plantas de 25 días de edad cuando fueron infestadas con 24 adultos/5 plantas por 7 días, la variedad Cica 8, presentó gran resistencia. La biología del insecto en las dos variedades no se alteró, indicando que la tolerancia es el mecanismo de resistencia en Cica 8.

2.1.8 Genética y herencia de la resistencia.

El conocimiento de la genética de la resistencia es tan importante como el conocimiento de los mecanismos que la gobiernan, esto le permite al mejorador, desarrollar cultivares con una base genética amplia que minimice el peligro de biotipos, entendiendo por biotipos a insectos dentro de una especie que por sus características genéticas logran una adaptación a factores tales como resistencia varietal o pesticidas, limitativas para el resto de la población (Weber, 1989). En Asia, variedades resistentes a *Nilaparvata lugens* han llegado a tener gran importancia, porque su resistencia ha sido quebrada, lo que ha motivado a desarrollar estudios para identificar el mecanismo de resistencia presente (Seetharaman *et al.* 1984).

Martínez *et al.* (1978) estudiaron la herencia de la resistencia de las variedades: Remadja, Bahagia, Pelita, BG94-1, H5, IR 8, RD3, Mudgo, K8 y Raminad St.3 con la variedad susceptible Bluebonnet 50. Se evaluó las poblaciones F1 y F2 de cruces simples y F1 de retrocruces con el progenitor susceptible. Debido a la alta esterilidad, los cruzamientos de Mudgo y RD3 no se pudieron evaluar. Se sugirió que el modo de herencia de la resistencia en IR 8 es controlado por un par de genes recesivos y en H5 un par de genes dominantes.

Orellana *et al.* (1985), estudiaron la herencia de la resistencia a "sogata" en cinco cultivares de arroz, cruzando con la variedad susceptible "Blue Belle". Se evaluaron las poblaciones F₁ y F₃ para la cual infestaron plantas de 10 a 12 días después de sembradas con 6 a 8 insectos adultos. La evaluación se hizo usando la escala propuesta por Jennings y Pineda (1970a). Los resultados mostraron que en Blue Belle / J-104 y Blue Belle / IR-1529-430 la resistencia es de control dominante monogénica. La resistencia en los cultivares CP1 C8 Naylamp e IR 1544-284-3-5, es gobernada por dos genes dominantes con efecto de epistásis en el estado recesivo.

Pardey (1996), estudio el modo de herencia de la resistencia en los cultivares resistentes Makalioka y Mudgo cruzados con el material susceptible IR 8. evaluó las poblaciones F1 y F2 en prueba de libre escogencia con reacción al daño mecánico del insecto y comparando con los progenitores. Afirma que la resistencia en Makalioka y Mudgo es atribuible a un gen dominante de forma homocigota (AA), acompañado de un gen modificador que interfiere en mayor o menor grado la manifestación de la resistencia ($bb > Bb > BB$), dependiendo del material y del tiempo de exposición de la planta al ataque del insecto. Para Mudgo se propone la forma recesiva (bb) del modificador que acelera la expresión del fenotipo susceptible y para Makalioka, la forma homocigota dominante (BB) que retarda la expresión del fenotipo susceptible.

2.2 Metodología de evaluación

2.2.1 Mecanismos de resistencia en plantas

Cardona (1996) describe los tres mecanismos de resistencia de plantas a insectos, definidos inicialmente por Painter en 1951 en su libro de resistencia a insectos en plantas:

2.2.1.1 Antixenosis o no preferencia

Es el conjunto de características que hacen que una variedad sea menos preferida por el insecto para los procesos de alimentación o de oviposición. Generalmente se debe a características de olor, color, sabor de la planta que hacen que ésta no sea seleccionada por el insecto.

Los mecanismos de defensa de la planta pueden ser físicos: presencia de tricomas o de superficies cerosas, dureza del tejido, o químicos: repelentes (terpenos, aceites) o deterrentes (alcaloides, flavonoides, lectonas, fenoles, taninos). Entre los factores que condicionan la antixenosis se mencionan que la planta no sirva como refugio o como sitio de oviposición, que las estructuras de las hojas no favorezcan la oviposición, o que haya repelencia hacia los adultos; se acepta que la antixenosis da lugar a niveles bajos de resistencia. Las dos formas en que la antixenosis puede dar lugar a niveles aceptables de resistencia son: a) que la variedad antixenótica carezca de una o más de las cualidades que la harían atractiva si fuera susceptible o b) que la variedad antixenótica posea cualidades repelentes que sobrepasen a los estímulos atractivos o los enmascaren.

2.2.1.2 Antibiosis

Se dice que hay antibiosis cuando la planta tiene un efecto adverso en la biología del insecto. Ocurre por la presencia de alomonas (sustancias que favorecen a la

planta) o por la ausencia de kairomonas (sustancias que benefician o favorecen al insecto). La antibiosis puede deberse a la presencia de factores químicos tales como: proteínas, toxinas (alcaloides, quetonas, ácidos orgánicos) inhibidores (de α amilasa, de tripsina, de proteasas); o de factores físicos (crecimiento hipersensitivos, tricomas, deposiciones de sílice etc.).

El efecto total de todos estos fenómenos es una reducción sustancial de la población del insecto en la variedad resistente. La expresión de resistencia en variedades antibióticas puede deberse al efecto deletéreo sobre el insecto que tienen ciertos químicos presentes en la planta, o por la falta de nutrientes esenciales (caroteno, vitaminas, ácido linoleico, carbohidratos, proteínas, glucosa, sucrosa, etc.), o por la dureza extrema de tejidos.

La antibiosis es tan alta que el insecto vive muy poco y no logra reproducirse en la variedad resistente o tan baja que sólo mediante experimentos sensibles se puede detectar las diferencias entre variedades. La muerte de los insectos en variedades antibióticas ocurre generalmente en el primer ínstar larval o ninfal. La antibiosis también causa una significativa prolongación del ciclo de vida del insecto, de tal manera que en una variedad antibiótica ocurrirán menos generaciones por año que en una variedad susceptible. La tasa de oviposición de las hembras que logran emerger de una variedad antibiótica es menor, lo cual a su vez afecta la tasa de reproducción de la especie.

Las principales formas en las que la antibiosis se expresa, son:

- A mayor mortalidad de primeros ínstares, mayor resistencia.
- A mayor prolongación del ciclo, mayor resistencia.
- A menor duración del periodo de oviposición mayor resistencia.
- A menor longevidad de los adultos, mayor resistencia.
- A menor tamaño y menor peso de los insectos, mayor resistencia.
- A menor fecundidad de las hembras, mayor resistencia.

2.2.1.3 Tolerancia

Es la habilidad genética de una planta para soportar un ataque y sobreponerse a él mediante recuperación de tejidos o adición de tejidos nuevos después de la destrucción o remoción causada por un insecto. Involucra únicamente caracteres vegetales y no forma parte de la interacción insecto-planta como si ocurre en antixenosis y antibiosis. Es mucho más dependiente de las condiciones ambientales que los otros mecanismos. Así, el grado de adaptación de la variedad, su edad y el vigor de la planta son factores que influyen en la expresión de la tolerancia.

Las formas en que se manifiesta puede ser el reemplazo, rebrote o reparación de tejidos afectados, el reemplazo de raíces afectadas, la proliferación de nuevas yemas de crecimiento, la producción acelerada de hormonas de crecimiento o la formación de callos para curar heridas. Cuando el daño se debe a la inyección de toxinas, el mecanismo de defensa puede ser la desactivación de la toxina, cuando el daño causa achaparramiento de la planta, entonces la defensa consiste en producir auxinas.

2.2.2 Factores que afectan la expresión de la resistencia

La resistencia genética puede estar influenciada por condiciones ambientales pero no controlada por ella (Cardona, 1996). La influencia se manifiesta en la magnitud y en la expresión de la resistencia. En términos de magnitud, los niveles del insecto en la planta pueden aumentar o disminuir pero, la proporción relativa entre germoplasma resistente y susceptible no se altera significativamente. En el caso de la expresión, esta sí puede verse afectada en grados diferentes en materiales resistentes y susceptibles, lo cual se traduce en una interacción genotipo ambiente que puede ser fuerte o no (Tabla 2).

Tabla 2. Factores que afectan la expresión de la resistencia

De la planta	Del insecto	Del ambiente
Densidad	Edad	Luz
Altura	Sexo	Temperatura
Edad	Periodo de actividad	Fertilidad del suelo
Tipo de tejido	Biotipos	Humedad del suelo
Enfermedades	Acondicionamiento antes de evaluación	Humedad relativa
Método de evaluación		Presencia de agroquímicos

Tomado de Cardona, 1996

La temperatura puede afectar la expresión de resistencia por cambios en niveles químicos (calidad nutritiva, aleloquímicos) o en la morfología de la planta, cambios en la actividad fisiológica del insecto y esto a su vez en la capacidad de la planta para responder al daño. Las variaciones de fertilidad, humedad y pH del suelo afectan la expresión de resistencia por la influencia en el crecimiento y desarrollo de la planta (Cardona, 1996).

La densidad de siembra, edad y altura de planta y otras variables relacionadas con la planta (Tabla 2) se deben establecer de acuerdo al hábito de daño del insecto para hacer una correcta evaluación de resistencia, de igual forma, se deben homogeneizar las variables relacionadas con el insecto como son principalmente edad, sexo y condición de crecimiento.

2.2.3 Combinación de mecanismos de resistencia

Muchas veces una variedad puede presentar combinaciones de mecanismos de resistencia a un insecto dado (Tabla 3). Esas combinaciones pueden dar lugar a diferentes efectos en la población de insectos de generaciones posteriores en la preferencia del insecto sobre la planta, para dar una expresión de la resistencia.

Tabla 3. Resultados que se esperan de una combinación de antibiosis y antixenosis

Cantidad de efecto antibiótico en la siguiente generación.	Conducta		
	Preferencia	No preferencia	Repelencia
Desarrollo normal.	Susceptible	Resistencia baja	Resistencia
Desarrollo lento, menor tamaño menor fecundidad.	Resistencia baja	Resistencia	Resistencia alta
Alta mortalidad, pero un bajo porcentaje de los insectos se desarrollan normales.	Resistencia Peligro de biotipos	Resistencia Menos peligro de biotipos	Resistencia alta Poco peligro de biotipos
No se desarrollan inmaduros.	Resistencia alta	Casi inmunidad	Inmunidad

Tomado de Cardona, 1996

2.2.4 Técnicas para determinar mecanismos de resistencia en plantas

Panda y Khush (1995) describen la forma de diferenciar cada uno de los tres mecanismos de resistencia: antixenosis, antibiosis y tolerancia

2.2.4.1 Antixenosis.

Plantas uniformes se infestan con insectos de la misma edad, sexo y condición de crecimiento. Las plantas sembradas en el invernadero son frecuentemente organizadas en círculo y los insectos son liberados en el centro para ofrecerles libre escogencia del material. Los insectos son dejados en las plantas hasta que la variedad que es testigo susceptible muestre daño o una acumulación de la población con una oviposición. Las variedades que posean antixenosis pueden ser identificados en esta prueba de libre escogencia.

2.2.4.2 Antibiosis

Puede ser evaluada a través de pruebas forzadas, donde las variedades son separadas e infestadas individualmente. Las pruebas de antibiosis son diseñadas

para determinar si la biología del insecto es afectada negativamente cuando el insecto es alimentado en materiales susceptibles versus materiales resistentes. Sin embargo la antixenosis y la antibiosis no son fácilmente separables, el retardo del crecimiento larval puede ser debido a factores potencialmente deletéreos responsable de antixenosis o a la presencia de inhibidores de crecimiento o toxinas, resultando en antibiosis.

- * Una forma de medir la antibiosis es a través de "Tablas de vida" que se definen como "un horario de nacimientos por edad de la hembra" (Andrewartha y Birch, 1954; Odum, 1959). Mesa (1993) describe en forma práctica cómo hacer una Tabla de vida. Se parte de un grupo de individuos que tienen la misma edad, es decir una cohorte; a ellos se les hace un seguimiento desde su estado de huevo hasta que se convierte a adulto (tiempo de desarrollo de huevo a adulto). Después de que la hembra adulta se aparee se le registra diariamente los periodos reproductivos y la fecundidad, hasta que todas las hembras mueren (longevidad). De este modo se observan los cambios que experimenta la población en cada edad, es decir, se puede calcular la supervivencia por edad específica en la población. Reunida esta información, es posible calcular los parámetros de la Tabla de vida.

Andrewartha y Birch (1954) y Odum (1959) explican la forma de construir y analizar la Tabla de vida, señalando que estas están formadas por cuatro columnas diferentes: La columna x , formada por el tiempo o periodo al cual se están tomando las observaciones (diarias); columna M_x , da el número de hembras producida por una hembra en una unidad de tiempo, donde el subíndice X denota la edad del grupo en la columna X , si nacen igual número de machos que de hembras, el total de M_x se divide entre dos (número de hembras que coloca una hembra diariamente); La columna L_x , representa la probabilidad de supervivencia en un tiempo X o proporción de hembras vivas en un determinado tiempo. La

columna $LxMx$ indica el número de hembras que aporta una hembra diariamente a la población.

A partir de aquí se pueden estimar R_o , T , R_m , λ , TD

R_o : tasa neta de reproducción

Es conocida también como índice de reemplazo; refleja el número promedio de progenie femenina que es capaz de producir una hembra de la población durante toda su vida. Cuando R_o sea exactamente igual a 1, entonces la población se reemplazaría a sí misma de manera precisa de generación en generación; por otra parte, cuando R_o sea mayor que 1, la población estará en un estado de crecimiento, y cuando R_o sea menor que 1 la población estará decreciendo.

$$R_o = \sum LxMx$$

T : Tiempo generacional

Representa el tiempo promedio transcurrido entre dos generaciones sucesivas, es decir, el tiempo promedio que pasa desde el momento en que se deposita un huevo y el día en que este se convierte en una hembra capaz de ovipositar los huevos de su propia progenie.

$$T = \frac{\sum lxMxX}{\sum lxMx}$$

R_m : tasa intrínseca de crecimiento natural

Es la máxima capacidad de multiplicación o de crecimiento natural de una población, alcanzada en condiciones particulares de temperatura, humedad y calidad de alimento, y con una distribución estable de edades.

$$R_m = \frac{\log e R_o}{T}$$

λ Tasa finita de multiplicación

Se interpreta como el número de individuos que se agrega a la población por individuo y por unidad de tiempo.

$$\lambda = R^m$$

TD Tiempo de duplicación

Es el tiempo que requiere una población que tenga una distribución estable de edades para duplicar el número de sus individuos

$$TD = \frac{\ln 2}{r_m}$$

2.2.4.3 Tolerancia

La evaluación de plantas tolerantes no incluye la interacción de la planta con el comportamiento del insecto o su fisiología, a diferencia de los dos anteriores tipos de resistencia. La tolerancia involucra una comparación de la pérdida de biomasa bajo la presión del insecto y en ausencia de él. La diferencia de campo entre plantas infestadas y no infestada puede ser usada como una estimativa del porcentaje de pérdidas. La evaluación de tolerancia es conducida con mediciones comparables de la población del insecto y pérdidas de campo de las variedades tolerantes versus las susceptibles.

Smith *et al.*, 1994 reporta varios índices utilizados por varios investigadores para medir la tolerancia en términos del porcentaje de pérdida de peso.

$$\text{Índice de Tolerancia} = \frac{100 \times (\text{peso seco planta sin infestar} - \text{peso seco planta infestada})}{\text{Nivel de infestación}}$$

$$\text{Índice de Tolerancia} = \frac{100 \times (\text{peso seco planta sin infestar} - \text{peso seco planta infestada})}{\text{Peso del insecto}}$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), situado en el municipio de Palmira, Departamento del Valle del Cauca, Colombia, con coordenadas geográficas: Latitud 3°31'N y Longitud 76°20'0 temperatura promedio anual de 23.9°C, humedad relativa de 78%, altitud de 965 m.s.n.m. y precipitación promedio de 1100 mm durante los años 1998 hasta el 2000.

El estudio se desarrolló en dos etapas:

1. Identificación del mecanismo de resistencia que actúa en seis variedades.

Las variedades fueron distribuidas en dos grupos:

Grupo 1: Formado por el testigo susceptible IR 8 y el testigo resistente Makalioka, las variedades comerciales Oryzica Llanos 5, y la línea FB0007-3-1-6-1-M (Fedearroz 50).

Grupo 2: Formado por el testigo susceptible IR 8 y el testigo resistente Makalioka, los parentales directos de Fedearroz 50 que son Oryzica Llanos 4 y la línea P1274-6-8M-1-3M-1 y Fedearroz 50.

Se realizaron las siguientes pruebas:

- Comportamiento de las variedades al daño mecánico de *T. orizicolus* en condiciones de invernadero
- Experimentos sobre antixenosis
 - ♦ Estudio de alimentación y oviposición en prueba de libre escogencia
 - ♦ Estudio de oviposición en prueba sin escogencia o alimentación forzada
- Experimentos sobre antibiosis
 - ♦ Estudio del ciclo ninfal
 - ♦ Estudio del peso de los insectos en estado adulto
 - ♦ Estudios de emergencia ninfal
 - ♦ Tabla de vida de *T. orizicolus*

4 clav

- Experimento de Tolerancia, evaluado por la pérdida de biomasa a diferentes niveles de infestación
2. Análisis preliminar sobre la herencia de la resistencia al daño mecánico de *T. orizicolus* en el cruzamiento entre P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4.
 - 4.
 3. 1 Mecanismo de resistencia

De las variedades elegidas para este estudio se conocen informes de su reacción al daño mecánico de "sogata", dadas por el programa de Entomología de Arroz, en las pruebas de selección masal de líneas por resistencia (Tabla 4).

Tabla 4. Reacción conocida de variedades de arroz al daño mecánico de .. *T. orizicolus*.

Código ¹	Variedad	DM ²
Cuba	IR 8	7,9
ACC1282	Makalioka	1,3
	Oryzica Llanos 5	5,7,9
ACC1261	Oryzica Llanos 4	1,3
WC334	FB0007-3-1-6-1-M (Fedearroz 50)	1,3
ACC558	P1274-6-8M-1-3M-1	1,3

¹ Código del banco de germoplasma CIAT- FLAR

² Calificaciones por surco de daño mecánico que obtuvo las variedades durante el primer y segundo semestre de evaluación en el años 1998.

La metodología que se siguió es la reportada por Panda y Khush (1995) y Panda y Heinrichs (1983). Andrewartha y Birch (1954) y Odum (1959) Los insectos utilizados para todas las pruebas desarrolladas en este trabajo fueron tomados de las colonias sanas secuenciales de *Tagosodes orizicolus* (Muir) alimentados sobre plantas de Bluebonnet-50.

3.1.1 Comportamiento de variedades al daño mecánico de *T. orizicolus* en condiciones de invernadero

El primer grupo de variedades se sembró en bandejas plásticas de 27 x 53 x 7 cm. La semilla se distribuyó en cuatro surcos por variedad para dejar 10 plantas por surco. A los 19 días de sembradas se introdujeron las plantas a una jaula de malla de 1.95 m de largo, 1.10 m de ancho y 1 m de altura (con capacidad máxima de 9 bandejas) para infestarlas con aproximadamente 10 insectos adultos por planta (Figura3). El daño mecánico de cada planta se evaluó usando la escala del IRRI (1996) cuando al menos el 80% de las plantas del testigo susceptible IR 8 exhibió daño igual a 9 (planta muerta). La prueba se hizo una vez en el tiempo con seis repeticiones (bandejas), en un diseño experimental de bloques completos al azar. Un experimento similar se hizo con el segundo grupo de variedades replicadas dos veces en el tiempo con seis repeticiones.



Figura 3. Plantas de arroz de 20 días de edad sembradas en una bandeja y ubicada dentro de una jaula de malla al momento de ser infestadas con insectos de *T. orizicolus*. Tomada por el autor, CIAT, 1998

3.1.2 Experimentos sobre antixenosis

3.1.2.1 Estudios de alimentación y oviposición en prueba de libre escogencia:

En una bandeja de aluminio de 70 x 70 x 10 cm, se transplantaron 7 plantas por variedad de 10 días de sembradas en disposición circular y aleatoria el primer grupo de variedades (Figura 4). A los 14 días después del trasplante se introdujo la bandeja a una jaula de malla de 1 m³ y se infestó con 250 insectos adultos jóvenes (200 hembras y 50 machos). Los insectos se liberaron en el centro para que escogieran la planta donde posarse. Las variables evaluadas fueron: 1) Número de insectos posados en planta a las 24, 48, 72, 96 y 120 horas después de infestación 2) Número de huevos ovipositados en cada planta después de retirados los insectos a las 120 horas. El conteo de huevos se hizo colocando la planta bajo el microscopio. La prueba se hizo tres veces en el tiempo con cuatro repeticiones (bandejas) en un diseño de bloques completos al azar (BCA). Un experimento similar se hizo con el segundo grupo de variedades, se utilizaron seis plantas por variedad. El experimento se replicó tres veces en el tiempo con cuatro repeticiones.



Figura 4. Transplante en forma de círculo con 30 plantas de arroz. Tomada por Yolima Ospina, CIAT, 2000

3.1.2.2 Estudios de Oviposición en prueba de no escogencia o alimentación forzada.

Se cubrieron con un tubo de acetato transparente de 5 cm de diámetro por 35 cm de alto (Figura 5) 10 plantas por variedad de 20 días de sembradas con una pareja de insectos adultos recién emergidos. Cada cinco días las plantas fueron reemplazadas hasta cuando la hembra murió. Las plantas reemplazadas se observaron bajo el microscopio para contar el número de huevos depositados. El experimento se replicó tres veces en el tiempo en un diseño completamente al azar (CAA). Las variables evaluadas fueron: 1) Número de huevos ovipositados durante el ciclo de vida de la hembra 2) Duración de la hembra (longevidad) en días.

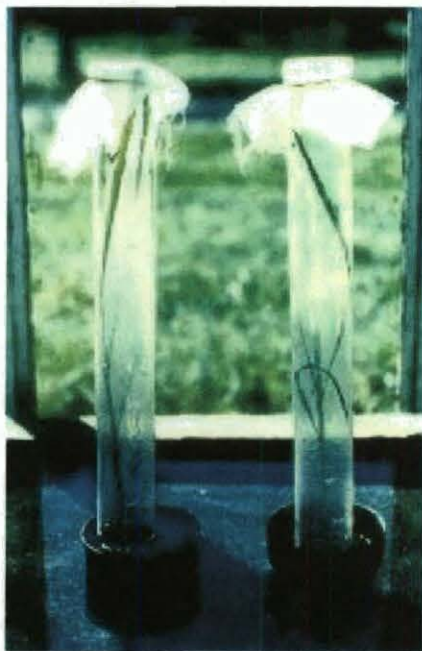


Figura 5. Plantas de arroz de 20 días de edad cubiertas con un tubo de acetato transparente para ser infestada con una pareja de *T. orizicolus*. Tomada del audiovisual del CIAT de Jennings *et al.*, 1980

3.1.3 Experimentos sobre antibiosis

3.1.3.1 Estudio del ciclo ninfal

Se cubrieron con un tubo de acetato transparente de 2 cm de diámetro y 25 cm de alto, 35 plantas por variedad de 10 días de sembradas. Las plantas se infestaron con una ninfa de primer ínstar (Figura 6). Las ninfas se observaron diariamente hasta que alcanzaron el estado adulto. El ensayo se replicó dos veces en el tiempo en un diseño completamente al azar. Las variables evaluadas fueron: 1) Días que tarda la ninfa en pasar por cada uno de los ínstaes 2) Mortalidad ninfal en cada ínstar 3) Sexo



Figura 6. Materos con plantas cubiertas con tubos de acetato transparente para ser infestados con ninfas, éste diseño se conoce con el nombre de "individuales". Tomada por Yoloma Ospina, CIAT, 2000

3.1.3.2 Estudio del peso de los insectos en estado adulto:

Se cubrieron con un tubo de acetato transparente 35 Plantas por variedad de 10 días de sembradas (Figura 6). Las plantas se infestaron con una ninfa de primer ínstar. Los insectos se recolectaron en el momento en que alcanzaron el estado adulto. El ensayo se replicó dos veces en el tiempo en un diseño completamente al azar; la variable evaluada fue el peso del insecto.

3.1.3.3 Estudio de emergencia de ninfas

Se cubrieron con un tubo de acetato transparente 10 plantas por variedad de 20 días de sembradas (Figura 5). Las plantas se infestaron con una pareja de insectos adultos recién emergidos. Cada cinco días las plantas fueron reemplazadas hasta cuando la hembra murió; las plantas reemplazadas fueron cubiertas con otro tubo de acetato transparente por 15 días para contar el número de ninfas emergidas. El experimento se replicó tres veces en el tiempo y se utilizó un diseño completamente al azar. Las variables evaluadas fueron: 1) Número de ninfas emergidas en cada cambio de planta 2) Duración de la hembra (longevidad).

5.1.3.4 Tabla de vida de *T. orizicolus*

Se elaboro dos tablas de vida para las variedades IR 8 (Susceptible) y Fedearroz 50 (Resistente). Inicialmente se formó una colonia de insectos sobre IR 8 y otra sobre Fedearroz 50. Establecidas las colonias se tomaron 100 hembras recién emergidas de cada una de ellas para que ovipositaran sobre 10 plantas de 50 días de edad de la misma variedad en jaulas individuales por 6 horas. Emergidas las ninfas se tomaron 60 ninfas por variedad y se colocaron individualmente en plantas de arroz de 10 días de sembradas cubiertas con un tubo de acetato (Figura 6) para observar diariamente el momento de cambio de muda de la ninfa. Cuando los insectos alcanzaron el estado adulto se formaron 60 parejas por variedad completando con insectos de la colonia (de la misma cohorte). Los insectos se pasaron diariamente a plantas individuales de 20 días de sembradas cubiertas cada una con un tubo de acetato transparente hasta cuando la hembra murió (Figura 5). Las variables evaluadas fueron: 1) Mortalidad ninfal 2) Número de huevos ovipositados diariamente 3) Duración de la hembra (Longevidad).

3.1.4 Experimentos sobre tolerancia

3.1.4.1 Niveles de infestación con ninfas

Se cubrieron con un tubo de acetato transparente de 5 cm de diámetro por 35 cm de alto 40 plantas por variedad de 20 días después de sembradas (Figura 5). Las plantas se infestaron con 0, 2, 5, 8, 11, 14, 17 y 20 ninfas de 7 días de emergidas. Las plantas se evaluaron al momento de la emergencia ninfal. Las variables evaluadas fueron: 1) Daño mecánico de las plantas. 2) Peso seco (gr.) de la parte aérea de cada planta (75°C/60h) 3) Número de insectos presentes al momento de la evaluación. El experimento se replicó dos veces en el tiempo con 5 plantas por nivel, se utilizó un diseño de bloques completos al azar.

3.2 **Análisis preliminar de la herencia de la resistencia**

Los datos reportados en la literatura indican que distintos cultivares pueden poseer diferentes mecanismos de resistencia a "sogata" los cuales pueden estar controlados por varios genes. Como complemento a los mecanismos de resistencia presentes en los cultivares estudiados se hicieron cruzamientos entre P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 con el fin de hacer un análisis preliminar sobre los genes de resistencia involucrados en el cruzamiento y sugerir un modelo genético que explique las diferencias observadas.

La programación del cruzamiento se llevó a cabo teniendo en cuenta el método modificado de arroz utilizado por Sarkarung (1989) quien tiene en cuenta la fecha de siembra de los parentales, la preparación de las panículas madres, enmasculación, polinización, desarrollo de la F1 y cosecha de la F1.

Para identificar el número de genes involucrados en la resistencia se evaluó la semilla del cruce entre las líneas P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 (Tabla 5),

Tabla 5. Programa de cruzamiento del cruce entre las línea P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 en la determinación de la herencia genética de la resistencia a *T. orizicolus*.

Cruzamiento				Tipo de semilla	No. Plantas evaluadas	
					I Ensayo	II Ensayo
P1274	x	Oryzica Llanos 4	=	F ₁	40	39
F ₁	x	P1274	=	RCP ₁	74	114
F ₁	x	Oryzica Llanos 4	=	RCP ₂	129	72
F ₁	x	F ₁	=	F ₂	947	306
Testigos				Reacción		
Bluebonnet 50				Susceptible	90	89
IR 8				Susceptible	97	91
Makalioka				Resistente	90	96
P1274-6-8M-1-3M-1				intermedia	84	58
Oryzica Llanos 4				Resistente	93	26
FB 0007-3-1-6-1M (Fedearroz 50)				Resistente	80	101

La caracterización al daño mecánico de “sogata” en las poblaciones F₁, F₂ y retrocruzas hacia ambos padres (RC₁, RC₂) se realizaron mediante la prueba de “Comportamiento de las plantas al daño mecánico de “sogata” en condiciones de invernadero”. La siembra se hizo en bandejas plásticas de 53 x 27 x 6 cm de alto con capacidad de 17 surcos por bandeja, 10-15 plantas por surco, con distribución al azar del material. Cuando las plantas tenían 19 días de sembradas se introdujeron a una jaula de malla de 1.95 m de largo, 1.10 m de ancho y 1 m de altura para infestarlas con aproximadamente 10 insectos adultos por planta. La evaluación se realizó individualmente usando la escala de evaluación del IRRI (Tabla 1) al momento que el testigo susceptible IR 8 presentó muerte en todos los surcos (Figura 7). La prueba se hizo dos veces en el tiempo, distribuyendo el material en 9 bandejas. En cada bandeja se sembraron los testigos susceptibles Bluebonnet 50 e IR 8, el testigo resistente Makalioka, la variedad Fedearroz 50 y los progenitores Oryzica Llanos 4 y P1274. En los surcos sobrantes de cada bandeja se distribuyeron las poblaciones F₁, F₂, y las dos retrocruzas RC₁ y RC₂.

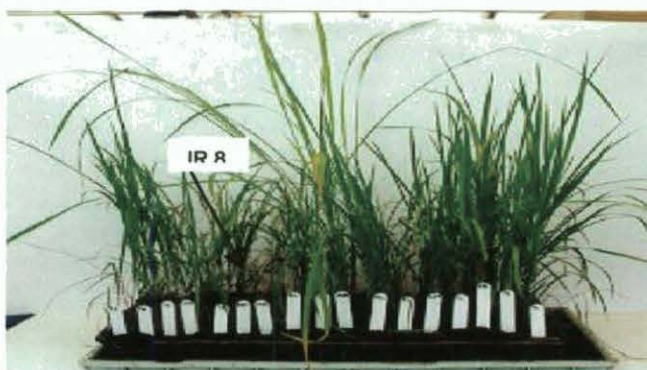


Figura 7. Reacción al daño mecánico de *T. orizicolus* sobre las poblaciones al momento de la evaluación (muerte de IR 8, surco séptimo de izquierda a derecha). Tomada por Harol Narvaez, CIAT, 2000

3.3 Análisis de los datos

3.3.1 Comportamiento de variedades con el daño mecánico de *T. orizicolus* en condiciones de invernadero.

La calificación de las plantas evaluadas se redujo a las categorías de planta “viva” o “muerta” para obtener finalmente un porcentaje de mortalidad de cada variedad por surco. Para el análisis de varianza, los datos se transformaron a la forma ($\arccos \sqrt{\% \text{ mortalidad}}$); cuando hubo diferencias significativas, la separación de medias se hizo utilizando la prueba de Duncan. Este análisis se aplicó para ambos grupos de variedades.

3.3.2 Experimentos sobre antixenosis

3.3.2.1 Estudios de alimentación y oviposición en prueba de libre escogencia.

La preferencia por alimentación se determinó con el porcentaje de insectos posados sobre cada variedad

$$\% \text{ de insectos posados en la variedad X} = \frac{\# \text{ insectos posados sobre la variedad X}}{\# \text{ total de insectos posados en total de plantas}} \times 100$$

La preferencia por oviposición se determinó como el número total de huevos depositados sobre plantas de una misma variedad.

Para el análisis de varianza, los datos se transformaron a la forma $(\arcseno \sqrt{\% \text{ insectos posados}})$ y $\text{Ln}(\# \text{ total de huevos})$. Cuando hubo diferencias significativas, la separación de medias se hizo utilizando la prueba de Duncan. Este análisis se hizo para ambos grupos de variedades.

3.3.2.2 Estudios de oviposición en prueba de no escogencia ó alimentación forzada

La oviposición total se determinó sumando el número de huevos depositados por la hembra en cada cambio de planta. Se calculó el índice de fecundidad, que es una relación entre el número total de huevos ovipositados dividido entre la duración o longevidad de la hembra. Los datos se transformaron a la forma $\text{Ln}(\# \text{ total de huevos})$, $\text{Ln}(\text{Longevidad de la hembra})$ y $\text{Ln}(\text{índice de fecundidad})$. Cuando se detectaron diferencias significativas entre variedades la comparación de medias se hizo con la prueba de Duncan.

3.3.3 Experimentos sobre antibiosis

3.3.3.1 Estudio del ciclo ninfal

Los cambios de instares de las ninfas en cada variedad, se resumieron en una Tabla de frecuencias. Se determinó la mortalidad del insecto en cada uno de los instares, duración del ciclo ninfal y la relación de sexos. El análisis utilizado fue una prueba de Chi cuadrado de independencia entre la variable de interés y la variedad. Para el análisis de varianza, se transformaron los datos a la forma

(arcoseno $\sqrt{\% \text{ mortalidad}}$), los datos de la duración del ciclo ninfal no se transformaron. Las diferencias significativas entre variedades se compararon con la prueba de Duncan.

3.3.3.2 Estudio del peso de los insectos en estado adulto

El análisis de varianza del peso que alcanzó un insecto en cada variedad fue separado para ambos sexos por cada variedad. Las diferencias significativas entre variedades fueron comparadas con la prueba de Duncan.

3.3.3.3 Estudio de emergencia ninfal.

La progenie producida por una pareja de "sogata" en cada variedad se determinó sumando el número de ninfas emergidas en cada cambio de planta. se calculó el índice de emergencia, que es una relación entre el número total de ninfas emergidas dividido entre la duración o longevidad de la hembra. Para el análisis de varianza, los datos se transformaron a la forma $\text{Ln}(\# \text{ total de ninfas})$, $\text{Ln}(\text{Longevidad de la hembra})$ y $\text{Ln}(\text{índice de emergencia})$. Las diferencias significativas entre variedades se compararon con la prueba de Duncan.

3.3.3.4 Tabla de vida de *T. orizicolus*

Los datos diarios de las hembras de "sogata" en la variedad fueron registrados en una Tabla formada por diez columnas (Anexo 13 y 14). La columna 1, registra un consecutivo de tiempo en días desde la emergencia de las hembras hasta que muere la última; La columna 2, registra el número de hembras vivas; La columna 3, el número de hembras que están ovipositando; La columna 4, el número total de huevos puesto; La columna 5 Lx , registra el porcentaje de supervivencia de las ninfas; La columna 6 Mx , el número de hembras que diariamente se añaden a la

colonia por cada hembra activa; es una división entre la columna 4 y la columna 3 multiplicada por un factor dado por la relación de sexos; La columna 7 $LxMx$, registra la probabilidad de supervivencia de las hembras que se añaden a la población; La columna 8 X , la edad de la hembra; La columna 9 y columna 10, cálculos matemático que fueron utilizado para estimar los parámetros de la Tabla de vida:

Tasa neta de reproducción: $R_0 = \sum LxMx$

Tiempo generacional: $T = \frac{\sum l_x M_x X}{\sum l_x M_x}$

Tasa intrínseca de crecimiento generacional: $R_m = \frac{\log e R_0}{T}$

Tasa finita de incremento $\lambda = R^m$

Tiempo de duplicación $TD = \frac{\ln 2}{r_m}$

3.3.4 Experimento de tolerancia

3.3.4.1 Niveles de infestación con ninfas

Con los datos de peso seco de planta en cada uno de los niveles de infestación se calcularon los porcentajes de reducción en peso con respecto al testigo no infestado. Con la información de porcentaje de pérdida de peso por variedad se ajusto a un modelo de regresión lineal simple para la comparación de pendientes. Cuando se detectaron diferencias significativas en el valor de la pendiente, la comparación de medias se hizo con la prueba de Duncan.

Para los cálculos del índice de tolerancia se uso el porcentaje de perdida de peso, los niveles de infestación el peso promedio del insecto y la supervivencia del insecto. Se usaron las fórmulas reportadas por Smith *et al.*, 1994 en su libro "Técnicas para medir la resistencia del insecto en plantas" pagina 124.

Dixon *et al.*, 1990:

$$\text{Indice de Tolerancia} = \frac{100 \times (\text{Peso planta sin infestar} - \text{Peso planta infestada})}{(\text{Peso planta sin infestar} \times \text{nivel de infestación})}$$

Robinson *et al.*, 1991:

$$\text{Indice de Tolerancia} = \frac{100 \times (\text{Peso planta sin infestar} - \text{Peso planta infestada})}{(\text{Peso planta sin infestar} \times \text{Peso del insecto})}$$

$$\text{Indice de tolerancia} = \frac{100 \times (\text{Peso planta sin infestar} - \text{Peso planta infestada})}{(\text{Peso planta sin infestar} \times \text{Peso del insecto} \times \text{Supervivencia})}$$

Este último índice es el usado por la autora, sugerido por Myriam Cristina Duque¹

3.3.5 Herencia de la resistencia

La calificación de las plantas evaluadas individualmente se agrupó en una Tabla de frecuencias para estimar el modelo genético más apropiado. El análisis utilizado fue una prueba de Chi cuadrado de independencia entre la variable de interés y la variedad. La hipótesis sobre la validez del modelo genético se probó aplicando el Chi cuadrado de bondad de ajuste.

¹ Matematica , Asesor de estadística, Centro Internacional de Agricultura Tropical. A.A. 6713. Cali, Colombia

4. RESULTADOS

4.1 Comportamiento de variedades al daño mecánico de *T. orizicolus* en condiciones de invernadero

La clasificación de las variedades por su reacción al daño mecánico de “sogata” medida en términos del porcentaje de mortalidad de plantas por surco, mostró diferencias significativas principalmente atribuidas a las variedades para ambos grupos (Anexo 2 y 3). La comparación entre los promedios de variedades se describe en la Tabla 6 y 7. Para el primer grupo, Oryzica Llanos 5 se comportó estadísticamente similar al testigo susceptible IR 8, y Fedearroz 50 se comportó similar al testigo resistente Makalioka.

Tabla 6. Porcentaje de mortalidad de plantas debido al daño mecánico de *T. orizicolus* en cuatro variedades de arroz en prueba de invernadero.

Porcentaje de mortalidad (10 planta / surco)		
Variedad	N (surcos)	Promedio
IR 8	24	92.9 a*
Oryzica Llanos 5	24	97.9 a
Fedearroz 50	24	2.1 b
Makalioka	24	0.0 b

*En la columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05).

Para el segundo grupo, el parental P1274 presentó un comportamiento diferente al testigo susceptible IR 8; el parental Oryzica Llanos 4 se comportó estadísticamente similar a Makalioka y a Fedearroz 50.

Con base en la evaluación del daño mecánico de “sogata” al momento en que IR 8 presentó más del 80% de plantas muertas por surco, se clasificaron ambos grupos de variedades así: Variedades susceptibles IR 8, Oryzica Llanos 5; Variedad Intermedia, P1274; Variedades resistentes, Oryzica Llanos 4, Fedearroz 50 y Makalioka.

Tabla 7. Porcentaje de mortalidad de plantas debido al daño mecánico de *T. orizicolus* en cinco variedades de arroz en prueba de invernadero.

Porcentaje de mortalidad (10 planta / surco)		
Variedad	N (surco)	Promedio
IR 8	36	90.8 a*
P1274-6-8M-1-3M-1	36	49.2 b
Oryzica Llanos 4	36	0.0 c
Fedearroz 50	36	0.0 c
Makalioka	36	0.0 c

*En la columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05).

4.2 Experimentos sobre antixenosis

4.2.1 Estudios de preferencia por alimentación y oviposición de *T. orizicolus* en prueba de libre escogencia sobre cuatro variedades

En las Figuras 8 y 9 se muestra la preferencia por alimentación de los insectos para ambos grupos de las variedades, expresado como el porcentaje medio de insectos posados por planta. La variedad determina la preferencia del insecto y no el tiempo de exposición (Anexos 4 y 6), puesto que el comportamiento de los insectos en las plantas en ambos grupos de variedades fue el mismo en cualquier tiempo (Anexos 5 y 7). Para el primer grupo, la variedad preferida por el insecto para su alimentación fue IR 8 a lo largo del período de evaluación; la variedad menos preferida fue Makalioka. Los insectos en Oryzica Llanos 5 presentaron una preferencia media y los insectos en Fedearroz 50 tienden a comportarse como en Makalioka. Para el segundo grupo, la variedad de mayor preferencia fue la línea P1274, con un porcentaje estadísticamente similar al testigo IR 8, la variedad Oryzica Llanos 4 mostró una preferencia media, los insectos no la repelen como en Fedearroz 50 y Makalioka (Figura 9).

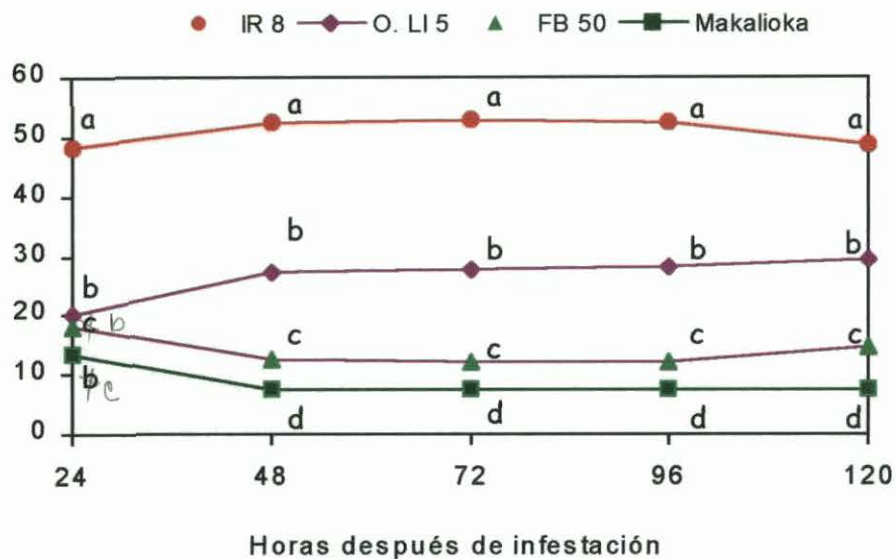


FIGURA 8 Preferencia de *T. orizicolus* por alimentación en prueba de libre escogencia sobre cuatro variedades de arroz.

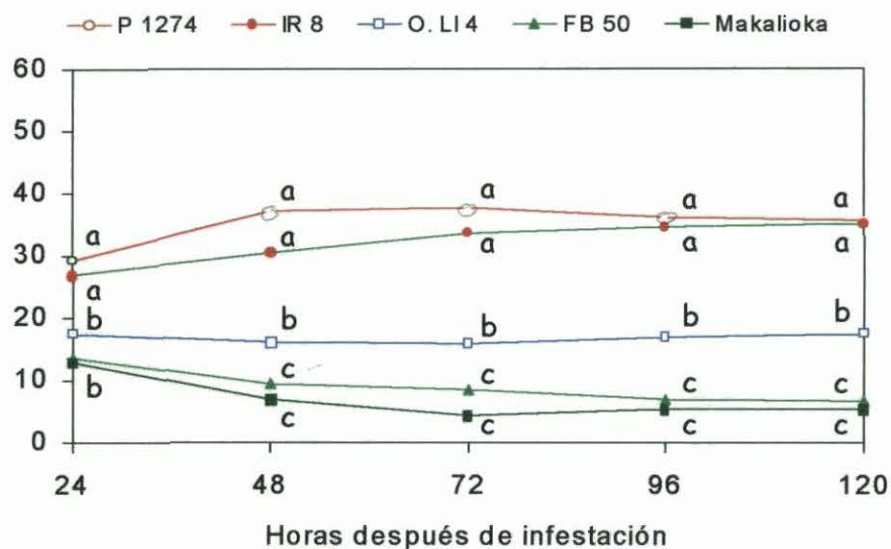


FIGURA 9 Preferencia de *T. orizicolus* por alimentación en prueba de libre escogencia sobre cinco variedades de arroz.

Esta respuesta del insecto coincide con lo observado inicialmente en la prueba de "Comportamiento de las variedades por su reacción al daño mecánico de "sogata"" donde el testigo susceptible IR 8 fue el que presentó el mayor porcentaje de plantas muertas, debido a que es la variedad preferida por el insecto para su alimentación, de igual forma, el testigo resistente Makalioka fue el que presentó el menor porcentaje de plantas muertas, por tener el menor número de insectos posados. Sogawa y Pathak (1970) encontraron que los insectos saltadores discriminan entre variedades después de alimentarse, al identificar la no preferencia a través del estímulo gustativo más que del estímulo olfativo y visual.

En las Tablas 8 y 9 se muestra la oviposición de "sogata" a libre escogencia de las variedades durante 120 horas. Se presentaron diferencias entre las variedades (Anexo 4 y 6). En el primer grupo, la variedad que presentó la mayor cantidad de huevos fue IR 8, seguida por Oryzica Llanos 5. Las variedades con menor cantidad de huevos fueron Makalioka y Fedearroz 50. Para el segundo grupo, la línea P1274 presentó la mayor oviposición, y su comportamiento fue similar a IR 8. Oryzica Llanos 4 tuvo una oviposición media, no tan reducida como Fedearroz 50 y Makalioka, siendo Makalioka la variedad menos preferida para ovipositar.

La cantidad de huevos ovipositados en cada una de las variedades, es el reflejo del número de insectos posados sobre ellas, las variedades con mayor presencia del insecto presentaron la mayor oviposición. Estos datos corroboran lo dicho por Choi *et al.* (1979), Reddy y Kalode (1981) y Seetharaman *et al.* (1984) cuando realizaron estudios de preferencia por alimentación y oviposición en *Nilaparvata lugens*, quienes concluyeron que la alimentación está relacionada con la oviposición, de tal manera que en variedades resistentes la no preferencia por alimentación conlleva a una baja oviposición.

Tabla 8. Número de huevos ovipositados por planta durante cinco días de *T. orizicolus* sobre cuatro variedades de arroz en prueba de libre escogencia.

Variedad	Número de huevos por planta		
	N (planta)	Promedio	Error Std
IR 8	84	344.26 a	18.28
Oryzica Llanos 5	84	201.19 b	12.89
Fedearroz 50	83	160.95 c	11.42
Makalioka	84	157.46 c	13.43

*En la columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05).

Tabla 9. Número de huevos ovipositados por planta durante cinco días de *T. orizicolus* sobre cinco variedades de arroz en prueba de libre escogencia.

Variedad	Número de huevos por planta		
	N (plantas)	Promedio	Error Std
P1274	48	363.90 a	29.95
IR 8	48	312.13 a	26.55
Oryzica Llanos 4	48	193.38 b	19.48
Fedearroz 50	48	127.81 c	18.93
Makalioka	48	99.00 d	13.88

*En la columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05).

4.2.2 Estudios de oviposición en prueba de no escogencia ó alimentación forzada.

En la Tabla 10 se resumen los promedios de oviposición, la longevidad y la fecundidad diaria de la hembra de "sogata" en cada una de las variedades. Se presentaron diferencias significativas entre las variedades para cada una de las variables estudiadas (Anexo 8). La variedad IR 8 fue la de mayor preferencia para la oviposición, seguida de P1274 y Oryzica Llanos 5; en Oryzica Llanos 4 la oviposición fue 90% menos que en IR 8. En Fedearroz 50 la oviposición fue muy reducida, y en Makalioka, las hembras no ovipositaron. En general las hembras se reproducen en mayor cantidad en plantas de su preferencia (variedades

susceptibles) y se reduce la oviposición en las plantas no-preferidas (variedades resistentes).

Tabla 10. Ciclo de oviposición de *T. orizicolus*, sobre seis variedades de arroz

Variedad	N (parejas)	Huevos		Longevidad ♀		Fecundidad (diaria)	
		Promedio	Error Std	Promedio	Error Std	Promedio	Error Std
IR 8	38	404.8 a*	32.4	32.6 a	1.8	12.2 a	0.7
P1274	36	296.9 a	22.2	26.6 ab	1.5	11.4 a	0.7
O. LI.5	36	277.2 a	25.6	30.1 ab	2.2	8.7 a	0.6
O.LI.4	32	38.1 b	7.2	18.1 b	1.5	1.7 b	0.3
FB 50	37	5.6 c	4.0	10.3 c	1.1	0.3 c	0.1
Makalioka	39	0.6 c	0.4	7.5 c	0.4	0.1 c	0.0

*En cada columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05).

La longevidad de la hembra fluctuó entre 8 y 33 días. Se presentaron diferencias significativas entre variedades (Anexo 8). La mayor longevidad se presentó en IR 8, Oryzica Llanos 5 y la Línea P1274 (Tabla 10). Las hembras criadas sobre Oryzica Llanos 4 vivieron un poco más de la mitad del tiempo en comparación con las hembras del testigo susceptible IR 8, las hembras criadas sobre Fedearroz 50 vivieron menos de la tercera parte y en Makalioka apenas una semana. La longevidad del insecto esta relacionada con la resistencia de la planta.

La relación entre el número total de huevos ovipositados y la longevidad de la hembra llamada "índice de fecundidad diaria" mostró que el índice se va reduciendo de acuerdo a la resistencia del material. Variedades susceptibles muestran índices mayores con respecto a las variedades resistentes y de acuerdo al grado de resistencia los índices se fueron reduciendo hasta el punto de ser casi nulo para Fedearroz 50 y Makalioka.(Tabla 10).

Comparación de las pruebas en los ensayos de antixenosis.

En la prueba de libre escogencia los insectos tienen la opción de alimentarse y multiplicarse sobre el material que prefieren; a diferencia de la prueba forzada donde el insecto es obligado a alimentarse y reproducirse en un material. Las variedades preferidas por el insecto para la alimentación y como consecuencia presentó una oviposición alta fueron IR 8, P1274 y Oryzica Llanos 5. Oryzica Llanos 4, Fedearroz 50 y Makalioka fueron variedades poco visitadas y además la oviposición fue baja por causa de la preferencia del insecto. La longevidad del insecto fue una respuesta biológica directa del insecto hacia la variedad. La mayor duración del insecto se presentó en las variedades susceptibles que correspondieron a las preferidas para su desarrollo.

Se concluye que en las variedades resistentes Oryzica Llanos 4, Fedearroz 50 y Makalioka se presenta el mecanismo de antixenosis (no preferencia) para alimentación y oviposición de "sogata". Esta aseveración no coincide con lo dicho inicialmente por Jennings y Pineda en 1970b al sugerir que el mecanismo de antixenosis no es importante al observar aproximadamente el mismo número de insectos posadas en variedades resistentes y susceptibles. En 1983 estos mismos autores encontraron el mecanismo de no preferencia para oviposición en Cica 8 y Cica 4.

4.3 Experimentos sobre antibiosis

4.3.1 Estudio del Ciclo ninfal

En la Tabla 11 se resumen los promedios asociados con el desarrollo ninfal cuando las ninfas fueron criadas en variedades resistentes y susceptibles. Se presentaron diferencias entre variedades para la mortalidad ninfal (Anexo 9) y en la duración del estado ninfal (Anexo 10). Makalioka fue la variedad que más alta mortalidad ocasionó seguida por Fedearroz 50 donde el 24% de las ninfas

sobrevivió y en Oryzica Llanos 4 la mitad de la población ninfal murio. Estos datos confirman que el insecto en su estado adulto como inmaduro es afectado por la variedad.

Tabla 11. Porcentaje de mortalidad ninfal, duración del estado ninfal y relación de sexos en *T. orizicolus* sobre seis variedades de arroz.

Variedad	N (ninfas)	Mortalidad		Duración ninfal		Relación sexos
		Porcentaje	Error Std	Media	Error Std	
IR 8	72	5.19 c	0.42	17.4 c	0.2	38 : 30
P1274	72	4.17 c	1.48	17.3 c	0.2	31 : 37
O.LI.5	75	13.08 c	3.19	17.3 c	0.2	44 : 20
O.LI. 4	75	55.02 b	10.19	19.8 b	0.6	17 : 15
Fedearroz 50	72	76.51 b	5.67	20.2 b	1.0	7 : 10
Makalioka	74	96.81 a	4.17	28.0 a	2.1	1 : 2
						χ^2 : ns**

*En cada columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05). ** La relación de sexos es 1:1 en todas las variedades

En la Tabla 12 se muestra la frecuencia de la distribución de la mortalidad de las ninfas en cada uno de los instares. En Makalioka la mayor mortalidad ninfal se presentó en los primeros instares, en Fedearroz 50 fue en los últimos instares, similar al de su parental Oryzica Llanos 4. En IR 8, Oryzica Llanos 5 y P1274 la mortalidad de las ninfas fue menos del 13% y se atribuyó a causas naturales. Seetharaman *et al.* (1984) en los estudios de biología de los saltahoja cafés en diferentes variedades encontraron que la carencia o deficiencia en la alimentación, la presencia de sustancias tóxicas ó alguna combinación entre ellos causan efecto de mortalidad en el insecto. Misra, *et al.* (1986) y Senguttuvan *et al.* (1991), concluyeron que los principales efectos antibióticos en los saltahoja cafés son la baja supervivencia de las ninfas y la reducción en la fecundidad.

La duración media del estado ninfal es de 17 días para las variedades IR 8, P1274 y Oryzica Llanos 5; de 19 a 20 días para Oryzica Llanos 4 y Fedearroz 50; Makalioka de 28 días (Tabla 11). Se observó en general una tendencia hacia la

prolongación de este estado ninfal de acuerdo al grado de resistencia de las variedades. En las variedades susceptibles este periodo es corto y en las resistentes es más largo. Esto significa que en una variedad resistente ocurren menos generaciones del insecto por año que en una variedad susceptible. Esta prolongación del estado ninfal fue reportada inicialmente en *N. lugens* por el IRRI en 1978 en variedades resistentes. La variedad no afectó significativamente la relación 1:1 entre sexos.

Tabla 12. Número de ninfas muertas de *T. orizicolus* en cada ínstar sobre seis variedades de arroz

Ínstar	IR 8 (n = 72)	P1274 (n = 72)	O.LL.5 (n = 75)	O.LL.4 (n = 75)	FB 50 (n = 72)	Makalioka (n = 74)
1	1	2	4	2	2	11
2	1	1	1	2	3	22
3	1	0	1	7	9	25
4	1	1	4	10	16	7
5	0	0	1	22	25	6
Total*	4	4	11	43	55	71

* El total de ninfas muertas en cada variedad es equivalente al porcentaje de mortalidad que se muestra en la tabla 11.

La desuniformidad en la aparición de las ninfas en las variedades resistentes con respecto a las variedades susceptibles se observa en la Figura 10. En Makalioka, Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 4 se presentó desuniformidad en el desarrollo ninfal, básicamente debida a trastornos en la duración de cada ínstar, llegando al punto que en un mismo día se presentaron cuatro ínstares. Este comportamiento anormal en estados inmaduros implica una emergencia desuniforme de los adultos que se traduce en trastornos sobre el proceso de apareamiento del insecto. En las variedades IR 8, P1274 y Oryzica Llanos 5 el desarrollo fue uniforme, la mayoría de las ninfas se encuentran en un ínstar y solo una minoría fueron retardadas o precoces como es natural.

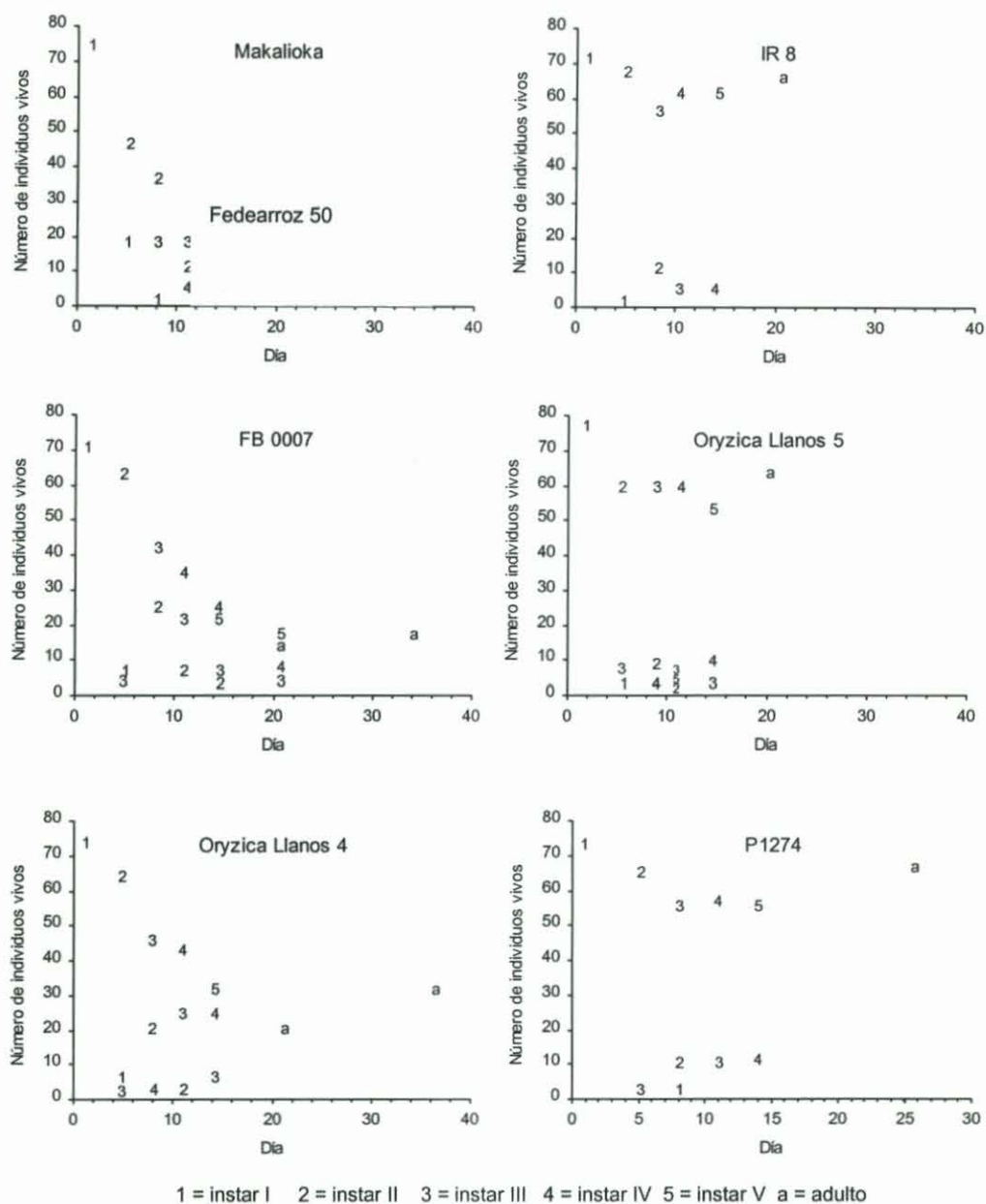


FIGURA 10. Secuencia de aparición de ninfas vivas de *T. orycolus* en seis variedades de arroz

4.3.2 Estudio del peso de los insectos en estado adulto

En la Tabla 13 se registran el peso que alcanzaron los insectos al desarrollarse en cada variedad. Se presentaron diferencias significativas entre variedades para peso de las hembras y de los machos (Anexo 11).

Las hembras criadas sobre variedades susceptibles como P1274, Oryzica Llanos 5 e IR 8 pesaron más del doble que las hembras criadas en variedades resistentes Oryzica Llanos 4 y Fedearroz 50. En Makalioka debido al bajo número de insectos que alcanzaron el estado adulto (3 insectos), no fue posible obtener un dato confiable para incluirlo en la comparación. Estos datos confirmaron los resultados logrados por Pagua *et al.* (1980) y Cook *et al.* (1987) quienes afirmaron que en variedades susceptibles la actividad alimenticia de *N. lugens* es alta y se reduce hasta el límite de ser nula en variedades resistentes. El peso de los machos en Fedearroz 50 fue significativamente menor con respecto al resto de las variedades. Lo cual sugirió que el alimento que el insecto toma de esta variedad le causó un efecto deletéreo en su desarrollo, y dado que su función principal es la de fecundar la hembra, su longevidad fue menor a la de ésta. Las hembras son las que causan el daño mecánico por alimentación y oviposición. El desarrollo corporal que un insecto alcanza en una variedad susceptible es mayor con respecto a los insectos que lo hacen sobre variedades resistentes.

Tabla 13. Peso (10^{-4} gramos) de insectos adultos de *T. orizicolus* en seis variedades de arroz

Variedad	N	Hembra Promedio	Error Std	N	Macho Promedio	Error Std
✓ IR 8	27	6.259 b*	0.448	32	2.750 a	0.127
✓ P1274	29	8.310 a	0.604	29	2.483 a	0.169
✓ Oryzica Llanos 5	31	7.935 a	0.488	28	2.714 a	0.191
Oryzica Llanos 4	27	3.148 c	0.265	33	2.697 a	0.147
Fedearroz 50	31	2.097 c	0.201	20	1.800 b	0.183
Makalioka	3	2.167**	0.833	2	2.500**	0.500

*En cada columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05). ** la media del peso obtenido no se comparó por tener tres y dos datos.

4.3.3 Estudio de emergencia ninfal

En la Tabla 14 se resumen parámetros asociados con la actividad de la hembra en su ciclo de vida. Se presentaron diferencias entre variedades para número de ninfas emergidas, longevidad de la hembra (días) y el índice de emergencia diario (Anexo 12). El número de ninfas que emergen depende de la variedad donde la hembra se desarrolle: IR 8, P1274 y Oryzica Llanos 5 presentaron la mayor oviposición que así mismo fue la emergencia ninfal; Oryzica Llanos 4 presento baja cantidad de ninfas, siendo estadísticamente diferentes a Fedearroz 50 y Makalioka con un número reducido. Estas diferencias en emergencia ninfal fue el reflejó de la oviposición en la variedad (Tabla 10). Estos datos fueron comparables con los observados en campo en el departamento del Tolima en estudios de "Fluctuación poblacional de *T. orizicolus* en tres variedades de arroz", donde se encontró que la menor población del insecto se presentó en la variedad Fedearroz 50 en comparación con las variedades Oryzica 1 y Oryzica Caribe 8 (Calvert y Reyes 2000).

Tabla 14. Ciclo ninfal de *T. orizicolus* sobre seis variedades de arroz.

Variedad	N (parejas)	Ninfas		Longevidad		Emergencia	
		Promedio	Error Std	Promedio	Error Std	Promedio	Error Std
IR 8	38	315.3 a*	24.2	30.4 a	1.9	10.2 a	0.6
P1274	32	245.9 a	16.8	26.7 a	1.8	9.3 a	0.4
O.LI.5	31	231.0 a	24.3	33.5 a	2.1	6.7 a	0.6
O.LI.4	33	28.8 b	6.1	16.9 b	1.3	1.4 b	0.2
FB 50	35	3.4 c	1.1	8.8 c	0.8	0.3 bc	0.1
Makalioka	34	0.3 c	0.2	6.9 c	0.4	0.0 c	0.0

*En cada columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05).

La longevidad de la hembra fluctuó entre 7 y 33 días, la mayor duración ocurrió sobre Oryzica Llanos 5, similar a la que ocurrió en IR 8 y P1274. Oryzica Llanos 4

promovió una longevidad media en comparación con las otras variedades. La menor duración de la hembra ocurrió en Fedearroz 50 y Makalioka que fue aproximadamente una semana (Tabla 14).

La relación entre emergencia total de ninfas y longevidad de la hembra definida como “índice de emergencia diaria” es mayor en IR 8 seguida de P1274 y Oryzica Llanos 5. Los menores índices se presentaron en Oryzica Llanos 4, Fedearroz 50 y Makalioka (Tabla 14). Estos índices fueron consistentes con los de fecundidad diaria (Tabla 10). Se deduce entonces que no hay un efecto deletéreo de la variedad en el desarrollo de los huevos.

Comparación entre los experimentos de antibiosis

Las pruebas de antibiosis fueron diseñadas para analizar individualmente el comportamiento del insecto criado en diferentes variedades para detectar si hay efectos deletéreos. Las variedades preferidas por el insecto para alimentación y oviposición fueron IR 8, P1274 y Oryzica Llanos 5, éstas variedades se caracterizaron por permitir en el estado ninfal mayor uniformidad en el desarrollo, menor porcentaje de mortalidad y menor duración del ciclo ninfal; las hembras criadas en estas variedades son pesadas, duran más y ovipositan sin ninguna restricción obteniendo así una mayor población del insecto. Las variedades Oryzica Llanos 4, Fedearroz 50 y Makalioka que fueron no preferidas por el insecto, presentaron en el estado ninfal ciclos largos, desuniformes y con alta mortalidad; las hembras criadas sobre estas variedades obtuvieron poco peso, se reduce la oviposición y su longevidad se acortó, lo que indicó que la población que se desarrolla en éstas variedades tiende a ser diezmada con el tiempo. Estos factores deletéreos sobre el desarrollo del insecto permiten concluir que Oryzica Llanos 4, Fedearroz 50 y Makalioka son variedades antibióticas. Jennings y Pineda en 1970b sugirieron que la resistencia a “sogata” es debida a antibiosis.

4.3.4 Tabla de vida de *T. orizicolus*

Otros parámetros de importancia en la comprobación del efecto antibiótico de las variedades son los relacionados con la oviposición, En la Tabla 15 se resumen estos parámetros para las dos variedades IR 8 y Fedearroz 50. En Fedearroz 50 el tiempo de pre - oviposición se alargó un 31% más en días y se redujo en un 61% el tiempo de oviposición. El periodo de post - oviposición fue igual para ambas variedades. La longevidad de la hembra se acorta un 43% con respecto a IR 8. La diferencia en términos de huevos totales en las dos variedades se aprecia en la Figura 11.

Tabla 15. Ciclo de Reproducción de *T. orizicolus* en IR 8 y Fedearroz 50

Variedad	N	Pre-oviposición (Días/hembra)			Oviposición (Días/hembra)		Post-oviposición (Días/hembra)		Longevidad (Días/hembra)	
		media	Err	Std	media	Err Std	media	Err Std	Media	Err Std
IR 8	53	3.53 a*	0.14		21.98 a	1.12	2.00	0.26	27.49 a	1.22
Fedearroz 50	54	5.11 b	0.27		8.41 b	0.70	1.89	0.17	15.49 b	0.72

*En cada columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente diferentes $t = 0.005$).

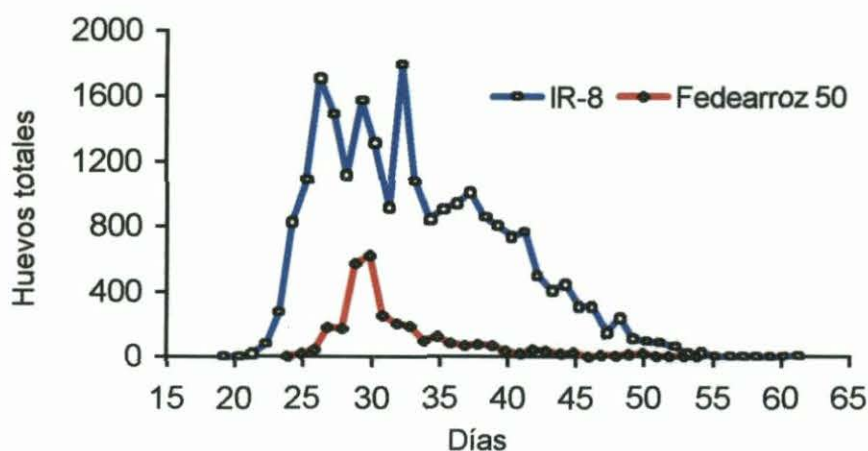


Figura 11. Oviposición total de *T. orizicolus* en dos variedades de arroz

El cálculo de las Tablas de vida (Anexo 13 y 14), se hizo con base en los datos de supervivencia de la ninfa (Lx) y oviposición diaria por hembra (Mx) que se muestran en la Figura 12 y 13. La supervivencia fue afectada por la variedad tal como se muestra en la Figura 12. En IR 8 la población presentó desde su comienzo una estabilidad promedia alrededor del 90% de supervivencia, la cual se mantuvo hasta el día 35 donde se inició una caída gradual por la terminación del ciclo adulto. En Fedearroz 50 la caída de la curva fue mucho menor, pues la supervivencia de la hembra fue alrededor del 20%, la población de hembras disminuyó también debido a la finalización del ciclo adulto. La producción diaria de hembras por una hembra de la población fue mayor en IR 8, los picos inferiores de IR 8 fueron los puntos máximos en Fedearroz 50 (Figura 13).

En la Tabla 16 se presentan los parámetros asociados con el efecto antibiótico de la variedad resistente sobre la biología del insecto. Los parámetros mortalidad ninfal, supervivencia ninfal, tiempo de desarrollo ninfal, oviposición y longevidad de la hembra permitieron estimar la tasa reproductora neta (R_0), la cual indica que cada hembra de *T. orizicolus* será reemplazada por 237.44 hembras cuando el insecto es criado sobre IR 8, mientras que la hembra criada sobre Fedearroz 50 será reemplazada por 12.11 hembras. La tasa finita de incremento (λ), en Fedearroz 50 indica que cada hembra diariamente se conserva y además procrea 0.08 hembras más, mientras que en IR 8 se conserva una y producen 0.2 hembras más.

El tiempo generacional (T), o tiempo medio desde que un individuo nace hasta que obtiene el 50% de su progenie, es similar para ambas variedades, 33.13 días para IR 8 y 31.06 días para Fedearroz 50, pero con porcentajes de crecimiento diario (R_m) diferentes; IR 8 incrementa diariamente en un 18% y Fedearroz 50 en un 8% diario. El tiempo de duplicación (TD) de "sogata" en Fedearroz es 56% más rápido (en días) que en IR 8.

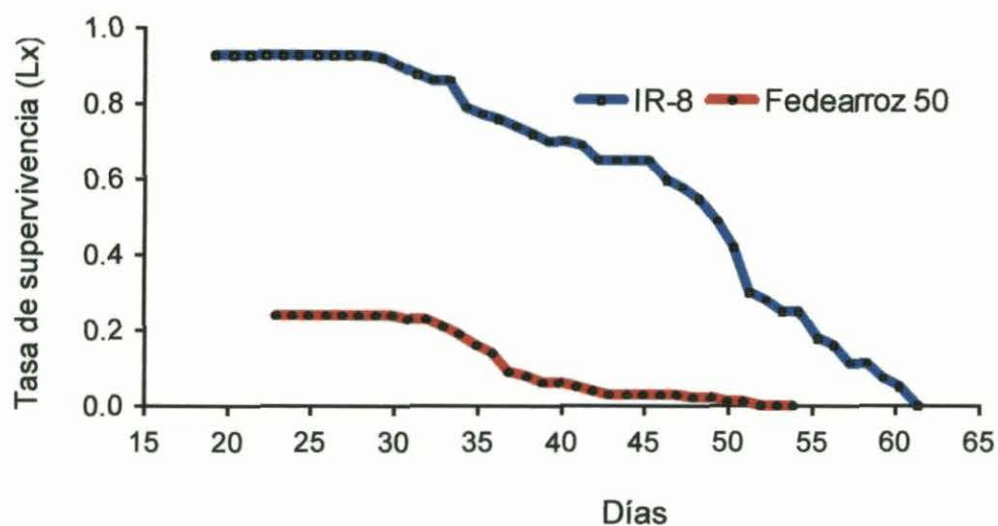


FIGURA 12. Supervivencia de la hembra (Lx) de *T. orizicolus* en dos variedades de arroz

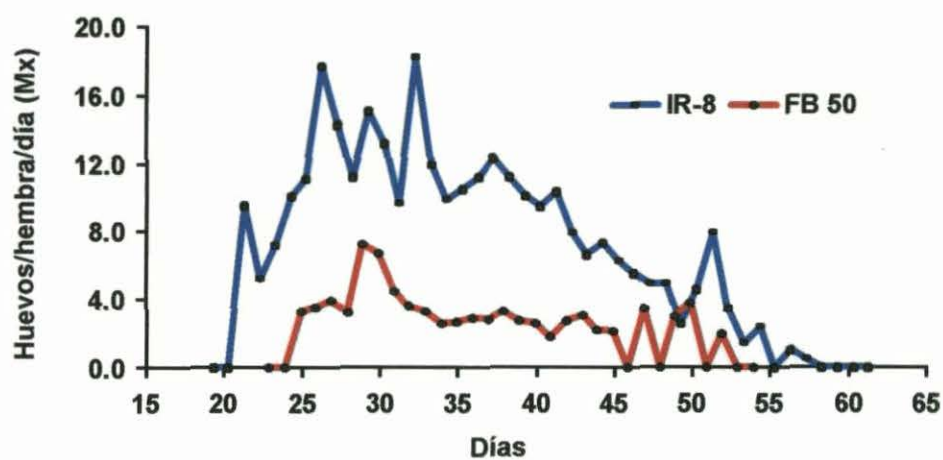


FIGURA 13. Hembras Producidas por una hembra (Mx) de *T. orizicolus* en dos variedades de arroz

Tabla 16. Tabla de vida de *T. orizicolus* en IR 8 y Fedearroz 50

Variedad	R_0	λ	T	R_m	TD
IR 8	237.44	1.20	33.13	0.187	3.69
Fedearroz 50	12.11	1.08	31.06	0.08	8.41

R_0 = Tasa reproductora neta

T = tiempo generacional

R_m = tasa de incremento intrínseco

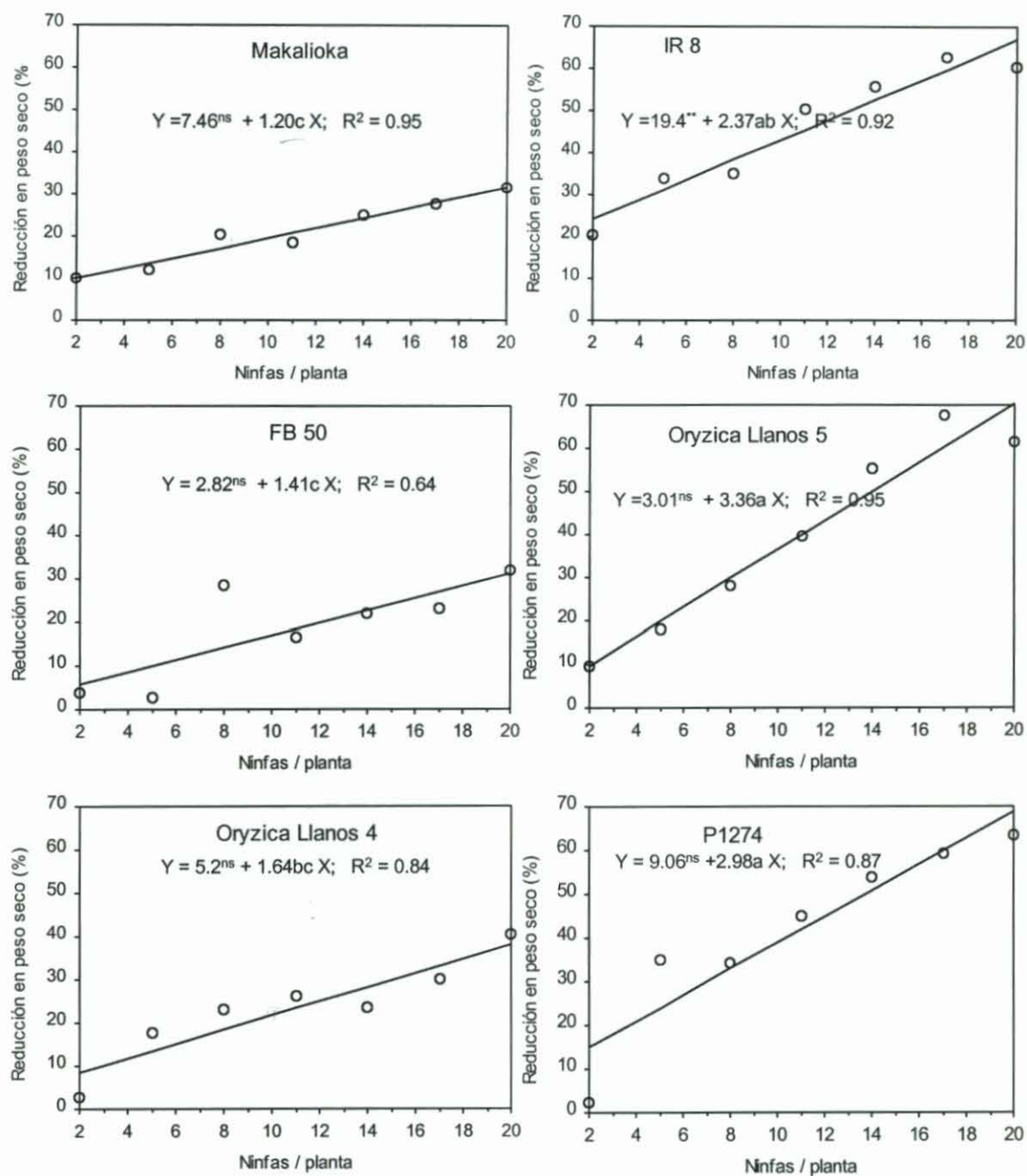
λ = tasa finita de incremento

TD = tiempo de duplicación

4.4 Ensayo de tolerancia

4.4.1 Niveles de infestación con ninfas.

Las evaluaciones de tolerancia involucraron una comparación de la biomasa bajo la presión del insecto y en ausencia de él. La diferencia entre una planta infestada y no infestada fue usada como estimativo del porcentaje de pérdida de peso. En la Figura 14 se muestran las ecuaciones de la relación entre el nivel de infestación y el porcentaje de reducción en peso seco (gramos) de la planta para las seis variedades de arroz. El modelo ajustado corresponde a una regresión lineal simple, donde el valor del intercepto resulta no significativo, de acuerdo con lo esperado porque no debe haber pérdida de peso en la planta cuando no hay insectos. En IR 8 el intercepto fue significativo, diferente de cero, posiblemente debido a que el modelo en este rango 0 a 2 es diferente (la pendiente es otra) ó la regresión lineal no es una buena representación del proceso en esta variedad. Éste modelo pretendió describir el proceso ocurrido para la pérdida de peso de la planta entre los niveles de 2 ninfas por planta hasta 20 ninfas por planta y no buscó derivar conclusiones fuera de este rango.



ns: Valores no significativamente diferentes de cero. ** Valor significativo al 1 %

Pendientes seguidas de la misma letra no difieren significativamente Duncan =10%

FIGURA 14. Relación entre el nivel de infestación con ninfas y el porcentaje de pérdida de peso causado por *T. orizicolus* en seis variedades de arroz.

Este modelo lineal, se aplicó a todas las variedades para hacer una comparación uniforme con el valor de la pendiente, no descartando la posibilidad de que cada material tiene su propio modelo matemático con alta significancia.

La comparación entre pendientes de las variedades se muestran en la misma gráfica 14, el valor de la pendiente significa cuanto pierde la planta (porcentaje) por cada ninfa que se añade. Las variedades Makalioka, Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 4 presentaron reducciones en peso al rededor del 1.5%. Estas pérdidas de peso en las variedades fueron estadísticamente similares entre sí y menores que IR 8, Oryzica Llanos 5 y P1274. En estas últimas variedades las perdidas de peso fueron mayores, superiores al 2.3% por cada ninfa que se añade a plantas de 20 días durante 15 días de infestación; para llegar al 50% de pérdida de peso solo se necesitaron 13 ninfas, las pérdidas de peso máxima calculada fue aproximadamente del 70% valor que fue considerable porque las plantas fueron muy debilitadas. Reducciones del 30% en el peso de las plantas se alcanzaron con 8 ninfas, este nivel de población por planta es muy común en los arrozales.

En las variedades Makalioka y Fedearroz 50 que son altamente resistentes, se presentaron pérdidas máximas del 30% con 20 ninfas por planta; Oryzica Llanos 4 alcanzo un máximo de 40% de reducción. Para el nivel de 20 ninfas por planta las pérdidas en promedio, reemplazando en las ecuaciones, fueron del 68.6% entre IR 8, Oryzica Llanos 5 y P1274 y del 33.5% entre Makalioka, Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 4. Esto indica que las variedades susceptibles perdieron en promedio 48.8% de más con respecto a las variedades resistentes. A medida que se aumentaron los niveles de infestación en las variedades, aumentaron las perdidas de peso en las plantas; el índice de Dixon *et al.* (1990) que se muestra en la Tabla 17, nos relaciona estos componentes.

Tabla 17. Índice de Tolerancia con relación al nivel de infestación según Dixon *et al.*(1990).

Variedad	Niveles de infestación						
	2	5	8	11	14	17	20
IR 8	10.34*	6.53	4.30	4.71	4.05	3.74	3.03
Oryzica Llanos 5	1.44	2.40	3.07	3.19	3.70	3.93	2.99
P1274	0.80	6.93	4.62	4.22	4.02	3.48	3.20
Oryzica Llanos 4	0.02	3.50	2.63	2.19	1.63	1.74	1.89
Fedearroz 50	1.99	0.68	3.37	1.74	1.48	1.23	1.43
Makalioka	4.62	2.72	2.72	1.69	1.89	1.66	1.61

* Índice de tolerancia =
$$\frac{(\text{peso pl. sin infestar} - \text{peso pl. infestada}) / \text{peso pl. sin infestar} \times 100}{\text{nivel de infestación}}$$

Este índice significa cuanto pierde la planta con relación al nivel de infestación; a medida que se aumenta el nivel los índices se fueron estabilizando. En las variedades IR 8, Oryzica Llanos 5 y P1274, las perdidas de peso fueron mayores con respecto Oryzica Llanos 4, Fedearroz 50 y Makalioka. Esto podría indicar que las variedades resistentes toleran el daño causado por “sogata” si fuera cierto que los niveles de infestación permanecieron constantes, pero este supuesto no se cumplió, por lo tanto el índice no fue adecuado.

En la Tabla 18 se muestran los porcentajes de mortalidad con todos los niveles de infestación al momento de la evaluación. El análisis de varianza mostró que se presentaron diferencias entre variedades y no entre niveles (Anexo 15).

Las variedades IR 8, Oryzica Llanos 5 y P1274 presentaron los menores porcentajes de mortalidad, Makalioka presento los mayores porcentajes de mortalidad. En Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 4 la población de los insectos se redujo a la mitad. P1274 y Oryzica Llanos 4 presentaron porcentajes de mortalidad estadísticamente similares, donde se declaró inicialmente un posible efecto de tolerancia.

Tabla 18. Promedio del Porcentaje de mortalidad de *T. orizicolus* durante 15 a 20 días de infestación.

	N (plantas)	Peso (10 ⁻⁴ g)	Mortalidad (Porcentaje ¹)
IR 8	14	4.35	12.66d
Oryzica Llanos 5	14	5.45	19.40d
P1274-6-8M-1-3M-1	14	5.40	23.95dc
Oryzica Llanos 4	14	2.90	33.47bc
Fedearroz 50	14	1.98	42.64b
Makalioka	14	2.30	64.85a

¹ Promedio general del porcentaje de mortalidad

² Peso promedio del insecto hembra y macho

En la tabla 19 se muestra un índice de tolerancia que modifica el usado por Robinson *et al.* (1991), el cual involucra el porcentaje de pérdida de peso de las plantas con el peso que obtiene el insecto. La modificación del índice consistió en incluir en el denominador el porcentaje de supervivencia de los insectos; éste nuevo índice representa la pérdida de la planta por cada unidad de peso del insecto presente en la planta.

Tabla 19. Índice de tolerancia con relación al peso del insecto y el porcentaje de supervivencia.

Variedad	Niveles de infestación						
	2	5	8	11	14	17	20
IR 8	0.05	0.08	0.09	0.16	0.15	0.16	0.17
Oryzica Llanos 5	0.01	0.03	0.07	0.09	0.13	0.23	0.20
P1274	0.00	0.09	0.13	0.14	0.18	0.19	0.23
Oryzica Llanos 4	0.00	0.05	0.08	0.10	0.08	0.10	0.14
Fedearroz 50	0.01	0.01	0.12	0.08	0.08	0.10	0.14
Makalioka	0.14	0.39	0.18	0.11	0.11	0.12	0.16

* Índice de tolerancia =
$$\frac{(\text{peso pl. sin infestar} - \text{peso pl. infestada}) / \text{peso pl. sin infestar} \times 100}{\text{Peso del insecto} \times \% \text{ supervivencia}}$$

Este índice homogeneiza la pérdida, en términos del peso y supervivencia del insecto, lo cual equivale a eliminar un posible efecto antibiótico en términos de mortalidad y peso con el que pudiera confundirse la tolerancia. Los resultados

muestran estabilidad entre las variedades para niveles mayores de 11, donde no se encontró diferencias en la tolerancia sino en la presión ejercida por la robustez de los insectos sobrevivientes; por lo tanto, las diferencias observadas de pérdida de peso en las variedades se explican por la acción antibiótica y antixenótica ejercida por las plantas sobre sus huéspedes.

4.5 Analisis preliminar de la herencia de la resistencia

Los datos encontrados en la primera parte del trabajo indicaron que P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 difieren en los mecanismos de resistencia que poseen cuando son expuestos a infestaciones de "sogata". Oryzica Llanos 4 posee una resistencia con poco peligro de biotipos y P12746-8M-1-3M-1 no fue tan susceptible como IR 8, dado que estos dos parentales son los progenitores de la variedad comercial Fedearroz 50.

Para proceder a la formulación del posible modelo de herencia para la reacción al daño mecánico de "sogata" en P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 a través del cruzamiento entre ellos utilizando la información generada en parentales, F1, F2 y retrocruzas, fue necesario considerar dos aspectos fundamentales.

1. La metodología de infestación: La siembra de las plantas en bandejas y posteriormente confinarlas en jaulas para someterlas a una prueba de libre escogencia, puede conducir a que la carga utilizada de 10 insectos por planta, no se distribuya uniformemente en cada planta. Esto puede traer como consecuencia variación en la evaluación, se puede observar desde plantas sanas como resultado del "escape" hasta plantas muertas por sobrecarga de insectos, todo ello independiente del grado de resistencia que exhiba el genotipo. Esto explicaría en buena medida la gradación de categorías de daño que se presentan tanto en genotipos reconocidos como resistentes como en los susceptibles (Tabla 20). Se recomienda modificar la metodología de

infestación artificial de libre escogencia por la de alimentación forzada. En estudios que busquen determinar el modo de herencia de la resistencia a *T. orizicolus*.

2. Los parentales: Para estudios de modelos de herencia se deben hacer cruzamientos entre líneas homocigotas altamente contrastantes en la reacción al daño mecánico (altamente susceptible x altamente resistente) para obtener el mayor número de genotipos posibles. Esta estrategia de tipo general permite identificar con mayor precisión la herencia de la resistencia a "sogata". Sin embargo el interés de esta cruce fue particular y específico, ya que se quiso conocer el modo de herencia de la resistencia en P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 que fueron los parentales de la variedad comercial Fedearroz 50.

En condiciones de invernadero el parental P1274-6-8M-1-3M-1 mostró una reacción intermedia al daño mecánico de "sogata" con 49% de plantas muertas y Oryzica Llanos 4 se comportó como resistente (Tabla 7). Estos resultados fueron consistentes con los consignados en la Tabla 20 los cuales correspondieron al estudio de herencia. Por lo tanto se deduce que el cruzamiento que dio origen a la variedad comercial Fedearroz 50, la cual presenta un alto nivel de resistencia a "sogata" fue el producto de cruzar entre un genotipo intermedio (P1274-6-8M-1-3M-1) con un genotipo resistente (Oryzica Llanos 4).

Tabla 20. Reacción de daño mecánico según la escala de evaluación (IRRI, 1996) en testigos y generaciones del cruce entre P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4

Cruzamiento	Valor de daño mecánico					
	0	1	3	5	7	9
F1	11	21	2	0	0	0
RC1	3	34	14	7	1	15
RC2	37	87	1	1	0	3
F2	67	526	112	20	8	210
Testigos						
Bluebonnet 50	0	0	0	0	0	90
IR 8	0	0	1	4	1	91
Makalioka	6	20	64	0	0	0
P1274-6-8M-1-3M-1	0	4	10	31	7	32
Oryzica Llanos 4	13	72	7	0	0	1
Fedearroz 50	5	64	7	1	0	3

F1 = Oryzica Llanos 4 x P1274
 RC1 = F1 x P1274
 RC2 = F1 x Oryzica Llanos 4
 F2 = F1 autofecundada

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se procedió a evaluar diferentes modelos genéticos, para seleccionar aquel que mejor explicase los resultados observados.

Formulación del modelo de herencia

Se postularon tres posibles modelos de herencia para la resistencia al daño mecánico de "sogata" en los parentales P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 a través del cruzamiento de ambos parentales. Los modelos planteados se basaron en las segregaciones observadas en las progenies F2, retrocruza hacia P1274-6-8M-1-3M-1 (RC1) y retrocruza hacia Oryzica Llanos 4 (RC2). En la Tabla 21 se muestra la segregación fenotípica de las plantas por su reacción al daño mecánico de "sogata" según la escala de evaluación (IRRI, 1996). Para efectos prácticos de selección la escala se agrupo en dos categorías. Categoría susceptible, las

plantas que presentaron valor de daño 5, 7 y 9 donde se observó un pronunciado amarillamiento de las hojas y achaparramiento, con una muerte de planta cercana o más al 50% que va a incidir significativamente en los rendimientos. Categoría resistente, Las plantas que presentaron valor 0, 1 y 3 donde se observó desde ninguna clase de daño hasta un daño leve en las primera y segunda hoja y que no afecta significativamente los rendimientos (Tabla 1, Figura 2).

Modelo 1: Modelo de herencia simple (monogénica)

Se parte del supuesto de que la herencia de la resistencia al daño mecánico de "sogata" es controlada por un gen simple dominante. El parental susceptible P1274 presenta la forma homocigota recesiva (bb) y Oryzica Llanos 4 (parental resistente) la forma homocigota (BB). Este modelo explicaría de manera razonable el modo de herencia pero las pruebas de antibiosis y antixenosis mostraron un gradiente de resistencia en las variedades estudiadas lo que sugirió un control oligogénico.

Tabla 21. Reacción de daño mecánico según la escala de evaluación agrupado en dos categorías en testigos y generaciones del cruce entre P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4

Cruzamiento	Reacción en planta	
	0-3	5-9
F1	34	0
RC1	51	23
RC2	125	4
F2	705	238
Testigos		
Bluebonnet 50	0	90
IR 8	1	96
Makalioka	90	0
P1274-6-8M-1-3M-1	14	70
Oryzica Llanos 4	92	1
Fedearroz 50	76	4
F1 = Oryzica Llanos 4 x P1274 F2 = F1 autofecundada RC1 = F1 x P1274 RC2 = F1 x Oryzica Llanos 4		

Modelo 2: Un gen simple y dos genes modificadores

El modelo contempla un gen simple con genes modificadores dando lugar a un número amplio de categorías fenotípicas, que no son consistentes con las categorías definidas según la escala de evaluación.

Modelo 3: Tres genes dominantes con aportes individuales a la resistencia

Según Jennings *et al* (1981) se considera la resistencia a "sogata" en términos generales como un rasgo poligénico porque permite explicar el gradiente de resistencia entre materiales que va desde ser altamente susceptibles como el testigo Bluebonnet 50 (Jennings and Pineda 1969,1970, 1983), hasta los que son altamente resistentes como Makalioka (línea donante de genes de resistencia), pasando por materiales clasificados en categorías intermedias. Con base a la escala de evaluación se hizo una clasificación fenotípica y genotípica planteando la hipótesis de la resistencia para estos genotipos con control de tres genes dominantes con aportes individuales como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Clasificación genotípica y fenotípica de acuerdo con la escala de evaluación a daño mecánico de *T. orizicolus* propuesta para el cruzamiento entre P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4

Genotipo	Rango en la escala	Clasificación
A _ B _ C _	0	Altamente resistente
A _ B _ cc	1 -3	Resistente
A _ bb cc	5 - 7	Susceptibilidad
aa bb cc	9	Altamente susceptible

Con base a este planteamiento y los resultados obtenidos (Tablas 20) se postuló la hipótesis de que la herencia para la reacción al daño mecánico de “sogata” en los parentales P1274 y Oryzica Llanos 4 se debe a la acción de tres genes (A, B y C) que en forma dominante son responsables de la mayor expresión de resistencia con contribución individual de cada uno de ellos y cuya manifestación depende del material y del tiempo de exposición de la planta al ataque del insecto. La expresividad de estos genes estaría supeditada a la interacción con otros factores genéticos y ambientales. Para el parental P1274 se propone un gen dominante (A) en estado homocigoto y dos genes (b y c) en estado recesivo, que le confieren susceptibilidad, aunque no tan acentuada como en materiales altamente susceptibles debido al gen de resistencia A. Para Oryzica Llanos 4 se proponen dos genes dominantes (A y B) en estado homocigoto y un gen (c) en estado recesivo. Cabe anotar que el gen recesivo (c) es lo que marca posiblemente la diferencia con otro material que presente mayor grado de resistencia. En la Tabla 23 se hace una descripción detallada del posible modelo genético para los parentales P1274 y Oryzica Llanos 4 con su fenotipo resultante.

Tabla 23. Segregación genotípica y fenotípica esperada para la resistencia al daño mecánico de *T. orizicolus* con base al modelo propuesto

Población	genotipo	Reacción fenotípica de planta
P1274-6-8M-1-3M-1	AAbbcc	Susceptible
Oryzica Llanos 4	AABBcc	Resistente
F1: P1274 X Oryzica Llanos 4	AABbcc	Resistente
RC1: F1 X P1274	1/2AABbcc 1/2Aabbcc	Resistente : susceptible
RC2 : F1 X Oryzica Llanos 4	1/2AABBcc 1/2AABbcc	Resistente
F2: P1274 x Oryzica Llanos 4	3AAB_cc 1AAbbcc	Resistente : susceptible

En la Tabla 24 se muestra la prueba de Chi cuadrado donde las proporciones observadas se ajustaron a las esperados, el modelo se validó con otro ensayo evaluando según las categorías resistente y susceptible. Es de anotar que las proporciones pueden confundirse con una segregación típica de un solo gen, dado que los dos parentales que intervienen en el cruzamiento comparten un gen de resistencia y uno de susceptibilidad, lo cual conduce a que en la generación F1 se presente la condición monohíbrida a pesar de ser tres genes los que conforman el genotipo para resistencia y es de esperarse una segregación tres a uno en la progenie F2.

Tabla 24. Clasificación de las plantas de las poblaciones segregantes del cruzamiento P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4 por su reacción al daño mecánico de *T. orizicolus*.

	F2				RC1				RC2			
	Replica I		Replica II		Replica I		Replica II		Replica I		Replica II	
Escala	Resist	Susc	Resist	Susc	Resist	Susc	Resist	Susc	Resist	Susc	Resist	Susc
Frec. observada	705	238	225	81	51	23	64	50	125	4	63	9
Prop. teórica	0.75	0.25	0.75	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0	1	0
Frec. esperada	705.25	235.75	229.5	76.5	37	37	57	57	129	0	72	0
Chi calculado	0.00	0.02	0.08	0.26	5.29	5.29	0.85	0.85	0.12	0	1.12	0
Chi. tabulado	3.74		3.74		3.74		3.74		3.74		3.74	

. DISCUSIÓN

La respuesta de las variedades evaluadas en la prueba de "Selección por resistencia al daño mecánico de "sogata" en invernadero" fue un reflejo de los mecanismos que estas plantas poseen (Tablas 6 y 7). El mecanismo de antixenosis que se caracteriza porque las plantas no sirven como refugio o albergue al insecto, se presenta en las variedades Makalioka, Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 4 clasificadas como resistentes al presentar porcentajes de mortalidad en planta por surco menos del 2%. Sogawa y Pathak (1970), realizaron estudios con insectos saltadores en Asia y dijeron que estos insectos discriminan entre variedades es a través del estímulo gustativo más que del estímulo olfativo; esto quiere decir, que el insecto se alimenta primero y después hace su elección. Las gráficas 8 y 9 muestran la preferencia del insecto en términos del porcentaje de insectos posados por hora en cada grupo de variedades. IR 8 mostró la mayor cantidad de insectos posados en planta a cualquier hora de evaluación. Esta variedad fue considerada como el testigo susceptible. El testigo resistente fue Makalioka, ella presentó los menores porcentajes de insectos posados en planta en todos los tiempos de evaluación. Fedearroz 50 tiende a comportarse como Makalioka y Oryzica Llanos 4 y Oryzica Llanos 5 tuvieron una preferencia media. Estos resultados muestran que existe un gradiente en la preferencia del insecto por las variedades, o sea que el insecto se alimenta y oviposita inicialmente en las plantas más preferidas, por lo tanto son las variedades que presentan más daño mecánico. Cuando el insecto acaba con estas variedades que se clasifican como susceptibles pasan a la siguiente variedad de preferencia hasta ir cubriendo todo el espacio. Hay varios autores con estudios sobre saltahoja cafés del Asia donde encontraron una relación alta entre la alimentación y la oviposición. Los materiales estudiados por Choi *et al.* (1979), Reddy y Kalode (1981) y Seetharaman *et al.* (1984) mostraron que en algunas variedades resistentes la no-preferencia por alimentación presento una baja oviposición. La línea P1274-6-8M-1-3M-1, clasificada como material intermedio, al

ser evaluada en los ensayos de antixenosis, mostró ser altamente preferida, su comportamiento fue similar a IR 8.

El mecanismo de antixenosis en las plantas afectó la biología del insecto, la falta de alimento redujo la longevidad del insecto y la fecundidad (huevos ovipositados diariamente). En la Tabla 10 se observa los extremos en la oviposición y la longevidad de la hembra entre las variedades susceptibles y resistentes. La cantidad de huevos puestos en una planta depende del grado de resistencia de la variedad, influyendo así la velocidad de multiplicación del insecto en la variedad.

El mecanismo de antibiosis permitió estudiar la biología del insecto si se vio afectada o no por la variedad. En las variedades resistentes se hizo presente este mecanismo. Los estudios del ciclo ninfal indicaron que la variedad sí afectó el desarrollo de la ninfa, Makalioka mató al rededor del 96% a las ninfas, Fedearroz el 76% y Oryzica Llanos 4 el 55% (Tabla 11). El ciclo ninfal se alargó. El ciclo fue de 28 días para Makalioka, casi el doble en días con respecto a las variedades susceptibles que fue de 17 días. El ciclo fue de 20 días para Fedearroz 50 y de 19 días para Oryzica Llanos 4. Con estos datos de duración del ciclo ninfal, se dice que de acuerdo al grado de resistencia de la planta se va prolongado el tiempo de desarrollo de la ninfa para alcanzar el estado adulto. El peso que alcanzaron las ninfas en variedades susceptibles fue mayor con respecto a las variedades resistentes (Tabla 13). Los cálculos hechos con base en los periodos reproductivos de la hembra y la fecundidad diaria, permitieron cuantificar como se incrementaría una población de insectos desarrollada en una variedad susceptible como IR 8, donde una hembra puede ser reemplazada por 237.44 hembras más, representada por una tasa de crecimiento diario del 18.7% y un tiempo de duplicación de los individuos de 3.69 días (Tabla 16). Estos valores se consideran altos. Odum (1959) dijo que los valores de los parámetros de las tablas de vida en insectos son mayores que los observados en los animales vertebrados.

Sí se combinan estos resultados de antibiosis con los de antixenosis para dar una expresión de resistencia como la describió Cardona, 1996 (Tabla 3), se ubicó a Makalioka como una variedad casi inmune (Tabla 20), en Fedearroz 50 hay resistencia alta y en Oryzica Llanos 4 hay resistencia con poco peligro de biotipos. Nielson *et al.* (1971), escribió que los biotipos en los insectos son un factor importante a tener en cuenta en la resistencia de las plantas, es un mecanismo natural de supervivencia del insecto para perpetuar su especie, se presenta en los campos de cultivares resistentes sembradas en grandes áreas donde se obliga al insecto a mutar. Webber (1989) complementa esta definición de biotipo, diciendo que son una adaptación a factores tales como resistencia varietal o a pesticidas. Gallun (1972), dijo que raramente se han desarrollado biotipos con el mecanismo de antixenosis y Tolerancia. En el Asia con el descubrimiento de diversos biotipos en *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) (4 ó 5 biotipos hasta el momento), por la búsqueda de niveles altos de resistencia, a dificultado el uso de la resistencia monogénica en el controlar del insecto (Panda y Khush, 1995).

El CIAT (1987a) informó que todas las variedades mejoradas en el trópico son tolerantes al daño mecánico de "sogata", siendo esta su estrategia de mejoramiento. Jennings *et al.* (1981), reportó la resistencia estable a "sogata" en ciertas variedades mejoradas y líneas de mejoramiento, donde cita las variedades colombianas CICAS que mantuvieron su resistencia al insecto después de haber sido cultivadas por varios años desde México hasta el Sur del Brasil, lo que indicó que en Colombia no se han desarrollado biotipos; por lo tanto el insecto se redujo a la categoría de plaga secundaria. Las variedades tolerantes aguantan hasta 10 veces más la población de insectos con respecto a una variedad susceptible, por lo tanto se debe dar tiempo a que el control biológico actúe (CIAT, 1987a). Webber (1989) habló respecto al manejo que hace el agricultor a este insecto por la alta capacidad de multiplicación con las aplicaciones de insecticidas (Piretroídes y organofosforados) que promueven la resurgencia de la plaga además de la resistencia que hace el insecto a estos productos.

El estudio de Tolerancia que se hizo a las seis variedades mostró que no se presentó este mecanismo (Figura 14). Las menores pérdidas de peso en Makalioka, Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 4 estadísticamente similares entre sí (Figura 15), se debieron a que el daño que hizo la ninfa fue menor por causa de los mecanismos de antixenosis y antibiosis presente en estas variedades. Las pérdidas en IR 8, P1274 y Oryzica Llanos 5 que fueron mayores y similares entre sí, se debieron a que estas plantas no poseen ninguno de estos mecanismos, por lo tanto el daño que causan los insectos en estas variedades fue mayor.

La variedad Oryzica Llanos 5 es una variedad comercial, liberada en el año 1989, a un permanece sembrada en los campos y ocupa el cuarto puesto (7.5%) en Colombia (CIAT, 1999), se caracteriza por ser susceptible a “sogata”. Fedearroz 50 es una variedad liberada por Fedearroz como alternativa al problema de hoja blanca- “sogata” que presenta el país actualmente (Calvert y Reyes, 2000), las practicas de manejo del cultivo contra este insecto han reducido el problema de “sogata”- hoja blanca. La variedad Fedearroz 50 se caracterizó por ser resistente tanto al insecto como al virus de la hoja blanca (CIAT, 1997). Con la actual investigación desarrollada en estas variedades se reafirma que Fedearroz 50 es un material resistente. Es recomendable que materiales con altas resistencias no sean sembrados en forma comercial, con el fin de no forzar al insecto a mutar ó aumentar la presión de selección del insecto en la población.

El segundo objetivo de la investigación que hizo referencia a determinar el modelo genético de la resistencia al daño mecánico de “sogata” del cruzamiento entre P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4, se propuso un posible modelo de herencia de tres genes (A, B, C) que en forma dominante pueden ser responsables de la mayor expresión de resistencia con contribución individual de cada uno de ellos y cuya manifestación depende del material y del tiempo de exposición de la planta al ataque del insecto. La expresividad de estos genes

estaría supeditada a la interacción con otros factores genéticos ambientales. Para el parental P1274 se propone un gen dominante (A) en estado homocigoto y dos genes (b y c) en estado recesivo que le confieren susceptibilidad, aunque no tan acentuada como otro material altamente susceptible debido al gen de resistencia (A). Para Oryzica Llanos 4 se propuso dos genes dominantes (A y B) en estado homocigoto y un gen (c) en estado recesivo, que haría que se comportara como resistente, siendo el gen recesivo (c) el que marca la diferencia entre otro material con mayor grado de resistencia. Se propone verificar este modelo de herencia haciendo infestaciones individuales en plantas para evaluar con mayor precisión.

Tabla 25. Resultados que se esperan de una combinación de antibiosis y antixenosis con las variedades evaluadas.

Cantidad de efecto antibiótico en la siguiente generación	Conducta		
	Preferencia	No preferencia	Repelencia
Desarrollo normal.	IR 8 P1274-6-8M-1-3M Oryzica Llanos 5 Susceptible		
Desarrollo lento, menor tamaño y menor fecundidad.		Oryzica Llanos 4 Menos peligro de biotipos	
Alta mortalidad, pero un bajo porcentaje de los insectos se desarrollan normales.		Fedearroz 50 Resistencia alta Poco peligro de biotipos	
No se desarrollan inmaduros.		Makalioka Inmunidad	

Adaptado: Cardona, 1996

6. CONCLUSIONES

1. Este estudio corrobora la expresión de resistencia al daño mecánico de “sogata” en prueba de invernadero de las seis variedades estudiadas.

Variedades susceptibles a daño mecánico de *T. orizicolus*: IR 8, Oryzica Llanos 5.

Variedad intermedia: Línea P1274-6-8M-1-3M-1.

Variedades resistentes: Oryzica Llanos 4, Fedearroz 50 y Makalioka.

2. Se presentó el mecanismo de antixenosis a *T. orizicolus* en las variedades Makalioka, Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 4 para alimentación y oviposición.
3. Se presentó el mecanismo de antibiosis en las variedades Makalioka, Fedearroz 50 y Oryzica Llanos 4, medida en términos del porcentaje de mortalidad en el estado ninfal y adulto de *T. orizicolus*, duración ninfal, longevidad y peso del adulto.
4. Con la construcción de Tablas de vida y comparación de los parámetros (tasa reproductiva, tiempo generacional, tasa intrínseca de incremento, tasa finita de incremento y tiempo de duplicación) se afirmó y cuantificó la resistencia que presenta la variedad Fedearroz 50 al daño mecánico de *T. orizicolus*.
5. Los altos niveles de antixenosis y antibiosis detectadas en este estudio permitieron reconfirmar la naturaleza genética de la resistencia al daño mecánico de *T. orizicolus* en estas líneas donantes de genes de resistencia a “sogata”.
6. No se presentó el mecanismo de Tolerancia en las variedades Makalioka, Oryzica Llanos 4 y Fedearroz 50.

7. Las variedades IR 8, Oryzica Llanos 5 y la Línea P1274-6- no presentaron mecanismos de resistencia en plantas.
8. Se postulo el modelo de herencia de la resistencia a *T. orizicolus* en los parentales P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 debido a tres genes que en forma dominante son responsables de la mayor expresión de resistencia con contribución individual de cada uno de ellos, cuya manifestación depende del material y del tiempo de exposición de la planta al ataque del insecto. La expresividad de estos genes estaría supeditada a la interacción con otros factores genéticos y ambientales para el progenitor P1274-6-8M-1-3M-1 se propone un gen dominante (A) en estado homocigoto y dos genes (b y c) en estado recesivo. Para Oryzica Llanos 4 se propone dos genes dominantes (A y B) en estado homocigoto y un gen (c) en estado recesivo.

7. RECOMENDACIONES

1. Continuar con los estudios del mecanismo de tolerancia, combinando edad de planta con el estado ninfal y adulto del insecto.
2. Realizar estudios morfológicos y químicos en las plantas para determinar la causa de la antibiosis y antixenosis.
3. Continuar evaluando el mecanismo de resistencia en líneas elite del Programa de Mejoramiento de Arroz.
4. Determinar el nivel de infestación óptimo de *T. orizicolus*, como edad de la planta para producir daño mecánico en las evaluaciones de selección por resistencia.
5. Comparar los resultados obtenidos entre una evaluación con infestación de plantas en alimentación forzada o sin escogencia y una infestación de libre escogencia o con alternativa.

8. RESUMEN

Palabras claves: *Tagosodes orizicolus*, “sogata”, *Sogatodes orizicola*, *Sogatodes oryzicola*, *Sogata orizicola* Mecanismos de resistencia, Herencia de la resistencia.

En los invernaderos del CIAT, Palmira se realizó el trabajo de identificar los mecanismos de resistencia presente en seis variedades de arroz (Makalioka, Fedearroz 50, Oryzica Llanos 4, Oryzica Llanos 5, P1274 e IR 8), y determinar la herencia de la resistencia en dos de esos materiales (Oryzica Llanos 4 y P1274).

El estudio se dividió en dos partes siendo la primera denominada Mecanismos de resistencia. El objetivo de esta fue entender la relación insecto planta en seis variedades. Se desarrollaron cuatro ensayos donde el primer ensayo fue caracterizar las variedades por su reacción al daño mecánico de “sogata”, donde las seis variedades fueron divididas en dos grupos. Un grupo de cuatro variedades formada por el testigo susceptible IR 8 y el testigo resistente Makalioka, las variedades comerciales Oryzica Llanos 5 y Fedearroz 50. El segundo grupo de cinco variedades formada por los mismos testigos susceptible y resistente y los progenitores de la variedad Fedearroz 50 que son Oryzica Llanos 4 y P1274-6-8M-1-3M-1. El ensayo se hizo sembrando en forma separada ambos grupos de variedades en bandejas plásticas, en surcos debidamente identificados. Cuando las plantas tenían 19 días de sembradas se introdujeron a jaulas donde se infestaron con aproximadamente 10 ninfas por planta. Las evaluaciones de las plantas se hicieron en forma individual, usando la escala de evaluación propuesta por el IRRI versión 1996. Un segundo ensayo llamado antixenosis que abarco dos experimentos, un experimento donde se sembraron en forma separada ambos grupos de variedades en forma de círculo, los insectos se colocaron en el centro para dar oportunidad de que los insectos se posaran en cualquiera de las plantas. Se evaluó el número de insectos posados en cada variedad y la oviposición en

cada planta. Un segundo experimento de “no escogencia” o alimentación forzada donde se hizo el seguimiento a las hembras para cuantificar la oviposición, la duración (longevidad) y la fecundidad (huevos por día). El tercer ensayo llamado antibiosis que abarco 4 experimentos. Dos de los experimentos que se llamaron “estudio del ciclo ninfal” y “peso del adulto”. A ambos experimentos se hizo el seguimiento de las ninfas en forma individual hasta que alcanzará el estado adulto. Los experimentos se hicieron cubriendo con tubos de acetato transparente plantas de 10 días de sembradas, las plantas se infestaron con una ninfa recién emergida y se evaluó diariamente la ninfa para observar el cambio de muda, la mortalidad de las ninfas, el sexo y el peso alcanzado en el estado adulto. El tercer experimento que se llamo “emergencia de ninfas” donde se hizo un conteo de las ninfas que emergen de cada variedad, duración de la hembra (longevidad en días) y se calculó un índice de emergencia diario (ninfas por día). El experimento se hizo sembrando plantas individuales en materos y cubriéndola con un tubo de acetato transparente cuando las plantas tienen 15 días de edad se infestó con una pareja de insectos cambiando las plantas cada 5 días hasta cuando la hembra murió. Un cuarto experimento que se llamo “tablas de vida” que se construyó para las variedades IR 8 y Fedearroz 50 donde se parió de un grupo de individuos que tenían la misma edad. Las hembras ovipositaron y se les hizo un seguimiento a los huevos hasta cuando eclosionaron. Se tomaron 60 ninfas y se les continuó haciendo el seguimiento hasta cuando alcanzan el estado adulto. Se formaron 60 parejas con estos insectos y se continuó haciendo el seguimiento diario cambiando la planta hasta cuando la hembra murió para cuantificar la duración de los periodos reproductivos y la fecundidad diaria. Con estos datos se calculó los parámetros de la tabla vida que fue: Tasa reproductora neta (el número de hijas que reemplazaran una hembra de la población en el transcurso de una generación), La tasa intrínseca de incremento (crecimiento diario de la población en términos de porcentaje), Tasa finita de multiplicación (es el número de individuos que se agrega a la población por individuo y por unidad de tiempo), Tiempo generacional (que es tiempo transcurrido desde la eclosión de un huevo

hasta cuando este huevo siendo hembra es capaz de colocar los huevos de su propia prole) y Tiempo de duplicación (tiempo que tarda una población para duplicar el número de sus individuos). La construcción de la Tabla de vida y la comparación de sus parámetros afirmó y cuantifico la resistencia que presenta Fedearroz 50 al ataque de *T. orizicolus*. El cuarto ensayo de Tolerancia, que evaluó la pérdida de biomasa a diferentes niveles de infestación. Se hizo el experimento infestando plantas de 20 días de sembradas con 2, 5, 8, 11, 14, 17 y 20 ninfas por planta para calcular la pérdida de peso de las plantas a diferentes niveles de infestación. Se uso el modelo lineal simple para la comparación de las pérdidas de peso en términos del valor de la pendiente. Se hicieron los cálculos de Índice de tolerancia, los reportados por Smith *et al.* (1990) para medir tolerancia en las variedades. Los resultados obtenidos de esta primera parte corroboraron el grado de resistencia de las variedades estudiadas. IR 8 y Oryzica Llanos 5 fueron susceptibles al daño del insecto, P1274 fue un material intermedio y Oryzica Llanos 4, Fedearroz 50 y Makalioka fueron resistentes. La resistencia de las variedades fue atribuida al mecanismo de antixenosis para alimentación y oviposición y al mecanismo de antibiosis que afectó la biología del insecto en el estado ninfal y adulto. En la ninfa causó alta mortalidad y alargamiento del ciclo; en el estado adulto actuó sobre la fecundidad hasta ser nula, la longevidad se acorto y el peso se redujo. El mecanismo de tolerancia no actuó en las variedades estudiadas, debido a la presencia del mecanismo de antixenosis y antibiosis.

En la segunda parte del estudio se propuso un posible modelo de herencia de la resistencia a *T. orizicolus* en P1274-6-8M-1-3M-1 y Oryzica Llanos 4 a través del cruce entre ellos dos usando la población F2 y la retrocruza hacia ambos padres (RC1 y RC2), teniendo como testigos susceptibles a Bluebonnet 50 e IR 8, testigos resistentes Makalioka y Fedearroz 50, además de los mismos parentales. En cada bandeja plástica se sembró todo el grupo de testigos, en los surcos sobrantes de cada bandeja se distribuyeron al azar la F1, F2 y retrocruzas. Cuando las plantas tuvieron 19 días de edad, las plantas se metieron a las jaulas y

se infestaron con 10 insectos por planta aproximadamente. Con los resultados obtenidos de evaluación individual de las plantas se procedió a formular posibles modelos genéticos que se ajustaran a las segregaciones observadas a la progenie de los cruzamientos (F2, RC1 y RC2). El modelo que más se ajustó propuso que la herencia de la resistencia en P1274 y Oryzica Llanos 4 a "sogata" se debe posiblemente a la acción de tres genes (A, B, C) que en forma dominante son responsables de la mayor expresión de resistencia con contribución individual de cada uno de ellos y cuya manifestación depende del material y del tiempo de exposición de la planta al ataque del insecto. La expresividad de estos genes estaría supeditada a la interacción con otros factores genéticos y ambientales. Para el parental P1274 se propuso un gen dominante (A) en estado homocigoto y dos genes (b y c) en estado recesivo, que le confieren susceptibilidad, aunque no tan acentuada como en un material altamente susceptible debido al gen de resistencia A. Para Oryzica Llanos 4 se propuso dos genes dominantes (A y B) en estado homocigoto y un gen (c) en estado recesivo, que hace que se comporte como resistente. Cabe anotar que el gen recesivo (c) es lo que marca la diferencia entre otro material con mayor grado de resistencia.

9. SUMMARY

keys word : *Tagosodes orizicolus*, "sogata", *Sogatodes orizicola*, *Sogatodes orizicola*, *Sogata orizicola* Mechanisms of resistance, inherence of the resistance.

Several experiments to identify the mechanisms of resistance of six rice varieties (Makalioka, Fedearroz 50, Oryzica Llanos 4, Oryzica Llanos 5, P1274 and IR 8) and to determine the inheritance of resistance in the cross P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4 were conducted in the greenhouses of CIAT, Palmira, from January 1998 until July 2000.

The study was divided in two parts: (I) Characterization of the resistance mechanisms, which intended to understand the insect-plant relationship. Four studies were conducted. In the first study, the initial screening of varieties, they were characterized according to their response to mechanic damage of *Tagosodes orizicolus* ("Sogata"). The varieties were separated in two groups. The first group was formed by IR 8 (susceptible check), Makalioka (resistant check), Oryzica Llanos 5 (commercial variety), Fedearroz 50 (commercial variety). The second group was formed by IR 8, Makalioka, Oryzica Llanos 4 (progenitor of Fedearroz 50), P1274-6-8M-1-3M-1 (progenitor of Fedearroz 50) and Fedearroz 50. Both groups were planted separately in plastic trays with furrows well identified. The plants were moved into a cage 19 days after the sowing and then were infected with 10 nymphs per plant. The plants were evaluated individually, using the scale proposed by IRRI (1996). In the second study, named antixenosis, two experiments were conducted. In the first one (free choice), both of the groups of varieties in the first study were randomly arranged in a circle around a zinc tray with water. 250 adult insects were placed a center of the tray. The number of insects alighting on each plant was counted 24, 48, 72, 96 and 120 hours after

release and the percentage of insects settling on each variety were calculated (settling preference). Finally, the number of eggs laid on each plant was counted (ovipositional preference). This experiment was conducted twice in different times using a randomized block design with four replications. In the second one (not free choice), the potted plant of each variety was covered with cylindrical mylar film cages and infested with a pair of newly emerged adults. The longevity of the female and the number of eggs laid on each plant were counted. In the third study, named antibiosis, four experiments were conducted. In the first two experiments (nymph cycle), the potted plant of each variety was covered with cylindrical mylar film cages and infested with a nymph newly emerged. The nymph survival, the duration of the nymph periods, the sex ratio and the weight of the adults was calculated. In the third experiment the potted plant of each variety was covered with cylindrical mylar film cages and infested with a pair of newly emerged adults. The longevity of the female and the number of emerging nymphs on each plant were counted. In the fourth experiment two life tables were built, one for the variety Fedearroz 50 and another for the variety IR 8, using the eggs laid by a group of insects of the same age. The measured factors included the number of females and their individual progenies, the number of daughters that replaced each female, the average duration of one generation, the intrinsic rate of increase in population and the time elapsed from eclosion until half of the progeny. In the fourth study, named tolerance, five potted plants on each variety were infested with 0, 2, 5, 8, 11, 14, 17 and 20 nymphs and the plant weight loss caused by "sogata" feeding was used as a measurement of tolerance and the survival of the insects was used as a measurement of antibiosis. This experiment was conducted twice in different times. (ii) The second part of the study was the identification of the mechanisms of inheritance of resistance in the cross P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzcia Llanos 4. The populations F1 and F2, the backcrosses (BC1 and BC2), the susceptible checks Bluebonnet 50 and IR 8, the resistance check Makalioka, the commercial variety Fedearroz 50 and its progenitors P1274 and Oryzica Llanos 4, were planted separately in plastic trays with furrows well identified. The plants

were moved into a cage 19 days after the sowing and then were infected with 10 nymphs per plant. The plants were evaluated individually, using the scale proposed by IRRI (1996).

The Results on resistance mechanisms showed that antixenosis to *T. orizicolus* influences the feeding and egg laying habits in the resistant varieties Makalioka, Fedearroz 50 and Oryzica Llanos 4. The antibiosis acted on the nymphs causing high mortality and a longer duration of the nymph stages. In the adult phase, the plant antibiosis affected the fertility reducing it in some cases up to zero, the longevity of the adult cycle was shortened and body weight was reduced. The insect body weight was reduced in those same varieties that exhibited the antixenosis. The tolerance mechanism could not be determined in the varieties under study since insect populations were adversely affected due to the occurrence of antixenosis and antibiosis and the low populations resulted in reduced plant damage. By comparing the parameters of the life tables, the resistance to *T. orizicolus* exhibited by Fedearroz 50 was reaffirmed and quantified. In the second part of the study the inheritance of resistance was determined. This model has to be validated by using highly contrasting parents and a not free choice methodology. The model proposed that three dominant genes could be responsible for most expression of resistance. Gene expression could be subject to other genetic and environmental factors to show plant with differential reaction in the evaluation scale. For the progenitor P1274 a dominant gene in the homozygous stage and two recessive genes is proposed to explain the segregation of resistance. For Oryzica Llanos 4 it is proposed that ~~there are~~ two dominant genes at the homozygous stage and a recessive gene could be responsible for most of the resistance to *T. orizicolus*.

10. ANEXOS

ANEXO 1. Escala de daño mecánico a *T. orizicolus* para prueba en invernadero Jennings y Pineda, 1969.

1. Planta libre de daño
2. Hojas parcialmente amarillas en el ápice y borde de las hojas
3. Amarillamiento pronunciado de las hojas, principio de marchitamiento
4. Decoloración total de las hojas, marchitamiento pronunciado de la planta y principio de enanismo
5. Muerte total de la planta

ANEXO 2 Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de mortalidad de plantas por surco al daño mecánico de *T. orizicolus* en cuatro variedades de arroz.

Fuente de variación	G.l	Cuadrados medios
Bandeja	5	0.0989086 **
Variedad	3	16.3182296 **
Bandeja*variedad	15	0.0457912 **
Error	95	0.0117696
CV		14.61

ANEXO 3 Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de mortalidad de plantas por surco al daño mecánico de *T. orizicolus* en cinco variedades de arroz.

Fuente de variación	G.l	Cuadrados medios
Ensayo	1	0.13393385 *
Variedad	4	13.88962296 **
Ensayo*variedad	4	0.05084480
Error	170	
CV		39.95

ANEXO 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de *T. orizicolus* posados en cuatro variedades de arroz a través del tiempo y número de huevos ovipositados.

Fuente de variación	G.I	Insectos posados					Oviposición	
		24	48	72	96	120	G.I	Huevos
Ensayo	2	0.000928	0.000415	0.000556	0.000717	0.000056	2	19.550823 **
Jaula(ensayo)	9	0.000150	0.000135	0.000187	0.000413	0.000232	9	0.796285
Variedad	3	0.375464 **	0.672313 **	0.706758 **	0.680328 **	0.570309 **	3	16.112646 **
Ensayo(variedad)	6	0.033162 *	0.012542	0.017991 *	0.020383 *	0.019624 *	6	0.970427
Error	27	0.005956	0.006086	0.005419	0.004722 **	0.006228	334	0.292269
CV		15.20	15.68	14.84	13.83	15.80		10.53

ANEXO 5. Porcentaje de insectos posados de *T. orizicolus* sobre cuatro variedades de arroz en diferentes horas de evaluación

% de "sogata" posadas por planta												
	Tiempo (horas)											
	24		48		72		96		120		Total	
Variedad	Media	STD	media	STD	media	STD	Media	STD	media	STD	media	STD
IR 8	48.22a	3.00	52.53a	2.00	52.92a	2.09	52.24a	2.09	48.50a	2.28	50.88	1.04
O.LI.5	20.31b	1.90	27.11b	2.38	27.71b	2.49	27.98b	2.53	29.30b	2.51	26.48	1.10
FB 50	18.09b	1.99	12.69c	1.46	12.00c	1.54	12.16c	1.38	14.81c	1.84	13.95	0.78
Makalioka	13.38c	1.54	7.67d	0.75	7.37d	0.63	7.63d	0.71	7.39d	0.74	8.69	0.51

*En cada columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05).

ANEXO 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para porcentaje de *T. orizicolus* posados en cinco variedades de arroz a través del tiempo y número de huevos ovipositados.

Fuente de variación	G.I	Insectos posados					Oviposición	
		24	48	72	96	120	G.I	Huevos
Ensayo	2	0.002007	0.000083	0.000516	0.000471	0.000264	2	3.364764
Jaula(ensayo)	7	0.000126	0.000208	0.000507	0.000209	0.000886	5	3.984636*
Variedad	4	0.083366**	0.287446**	0.421189**	0.395010 **	0.411984**	4	19.378212**
Ensayo(variedad)	8	0.024800*	0.015633*	0.017656*	0.010954	0.010585	8	3.296268*
Error	28	0.006171	0.006259	0.006394	0.006216	0.006615	219	1.052680
CV		17.38	17.96	18.57	18.17	18.85		20.93

ANEXO 7. Porcentaje de insectos posados de *T. orizicolus* sobre cinco variedades de arroz en diferentes horas de evaluación

% de "sogata" posadas por planta												
	Tiempo (horas)											
	24		48		72		96		120		Total	
Variedad	Media	STD	media	STD	media	STD	media	STD	Media	STD	Media	STD
P1274	29.27a	2.38	37.06a	2.41	37.80a	1.63	36.04a	1.98	35.53a	1.93	35.14	1.00
IR 8	26.87a	2.13	30.50a	2.56	33.64a	2.90	34.72a	2.43	35.23a	1.90	32.19	1.12
O.II.4	17.48b	2.34	16.06b	1.81	15.88b	1.91	16.98b	1.80	17.36b	1.53	16.75	0.82
FB 50	13.67b	2.18	9.57c	1.52	8.40c	1.28	7.00c	1.31	6.61c	1.27	9.05	0.76
Makalioka	12.71b	1.76	6.80c	1.14	4.29d	1.17	5.27c	1.24	5.28c	1.55	6.87	0.74

*En cada columna los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente (Duncan, alfa = 0.05).

ANEXO 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para oviposición, longevidad y fecundidad por planta de *T. orizicolus* en seis variedades de arroz.

Cuadrados medios				
Fuente de variación	G.I	Huevos	Longevidad	Fecundidad
Ensayo	1	0.02774937	0.0324636	0.1952204
Variedad	5	252.12670576 **	12.166613 *	50.435389 **
Ensayo*variedad	5	3.53918044	0.6715232 *	0.4879999 *
Error	206	1.05965274	0.1684257	0.1759995
CV		30.96	14.28	31.00

ANEXO 9. Cuadrados medios del análisis de varianza para mortalidad ninfal de *T. orizicolus* en seis variedades de arroz.

Fuente de variación	G.I	Cuadrados medios
Ensayo	1	0.018699
Variedad	5	0.538311 **
Error	5	0.019051
CV		20.29

ANEXO 10. Cuadrados medios del análisis de varianza para duración ninfal de *T. orizicolus* en seis variedades de arroz.

Fuente de variación	G.I	Cuadrados medios
Variedad	5	94.016842 **
Error	149	4.126128
CV		10.88

ANEXO 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para peso de *T. orizicolus* en seis variedades de arroz.

Fuente de variación	G.I	Cuadrados medios	G.I	Cuadrados medios
		Hembra		Macho
Variedad	4	234.0928974 **	4	3.5302792 **
Error	140	5.3312866	137	0.7490902
CV		41.53		34.04

ANEXO 12. Cuadrados medios del análisis de varianza para emergencia ninfal de *T. orizicolus* por planta en seis variedades de arroz.

Cuadrados medios				
Fuente de variación	G.I	Ninfas	Longevidad	Emergencia
Ensayo	1	3.2847854	0.1588589	0.1457885
Variedad	5	203.9319564 **	13.0215565 **	38.3099138 **
Ensayo*variedad	5	6.4304861 **	0.4124236 *	0.9797065 **
Error	191	0.9700297	0.1657663	0.1642808
CV		30.52	14.33	32.39

ANEXO 13. Tabla de vida de *T. orizicolus* sobre Fedearroz 50.

X = Edad (17.8 + 0.5 + día)

Día	No hembras	Hembras Activas	No huevos	%Supervivencia	hembras/hembra		Edad		
				Lx	Mx	Lx Mx	X	X (Lx Mx)	(lxmx)exp(-Rm X)
1	54	0	0	0.24	0.00	0.00	22.9	0.00	0.0000
2	54	0	0	0.24	0.00	0.00	23.9	0.00	0.0000
3	54	3	20	0.24	3.33	0.80	24.9	19.84	0.1024
4	54	6	43	0.24	3.58	0.86	25.9	22.18	0.1013
5	54	23	181	0.24	3.93	0.94	26.9	25.30	0.1025
6	54	27	175	0.24	3.24	0.77	27.9	21.61	0.0777
7	54	40	577	0.24	7.21	1.72	28.9	49.82	0.1593
8	54	46	619	0.24	6.73	1.61	29.9	48.08	0.1369
9	53	29	258	0.23	4.45	1.04	30.9	32.24	0.0818
10	52	28	204	0.23	3.64	0.84	31.9	26.74	0.0605
11	48	28	186	0.21	3.32	0.71	32.9	23.21	0.0469
12	44	19	98	0.19	2.58	0.50	33.9	17.03	0.0307
13	37	22	119	0.16	2.70	0.44	34.9	15.46	0.0250
14	32	14	81	0.14	2.89	0.41	35.9	14.71	0.0213
15	21	11	63	0.09	2.86	0.27	36.9	9.82	0.0127
16	19	11	72	0.08	3.27	0.28	37.9	10.43	0.0121
17	14	12	66	0.06	2.75	0.17	38.9	6.63	0.0069
18	13	6	31	0.06	2.58	0.15	39.9	5.93	0.0055
19	11	5	18	0.05	1.80	0.09	40.9	3.58	0.0030
20	8	8	44	0.04	2.75	0.10	41.9	4.08	0.0031
21	7	5	31	0.03	3.10	0.10	42.9	4.12	0.0028
22	7	3	13	0.03	2.17	0.07	43.9	2.95	0.0018
23	6	5	21	0.03	2.10	0.06	44.9	2.50	0.0014
24	6	0	0	0.03	0.00	0.00	45.9	0.00	0.0000
25	6	1	7	0.03	3.50	0.09	46.9	4.36	0.0019
26	5	0	0	0.02	0.00	0.00	47.9	0.00	0.0000
27	4	1	6	0.02	3.00	0.05	48.9	2.60	0.0009
28	3	2	15	0.01	3.75	0.05	49.9	2.48	0.0008
29	2	0	0	0.01	0.00	0.00	50.9	0.00	0.0000
30	1	1	4	0.00	2.00	0.01	51.9	0.46	0.0001
31	1	0	0	0.00	0.00	0.00	52.9	0.00	0.0000
32	0	0	0	0.00	0.00	0.00	53.9	0.00	0.0000

Columna 1 = consecutivo de días desde que emergen las hembras hasta que mueren.

Columna 2 = Número de hembras vivas

Columna 3 = Número de hembras que están ovipositando

Columna 4 = Número total de huevos puestos

Columna 5 = porcentaje de supervivencia de las ninfas

Columna 6 = Número de hembras diarias que se añaden a la población por cada hembra activa.

Columna 7 = Probabilidad de supervivencia de las hembras que se añaden a la población

Columna 8 = Edad de la hembra

Columna 9 y 10 = Cálculos matemáticos.

Igual para la Tabla 14

ANEXO 14. Tabla de vida de *T. orizicolus* sobre IR 8.

X = Edad (17.8 + 0.5 + día)

Días	No hembras	Hembras Activas	No huevos	%Super-vivencia	Hembras/hembra		Edad		
				Lx	Mx	Lx Mx	X	X (Lx Mx)	(lxmx)exp(-Rm X)
1	53	0	0	0.93	0.00	0.00	19.3	0.0000	0.00
2	53	0	0	0.93	0.00	0.00	20.3	0.0000	0.00
3	53	1	19	0.93	9.50	8.86	21.3	0.1628	188.79
4	53	7	73	0.93	5.21	4.86	22.3	0.0741	108.49
5	53	19	272	0.93	7.16	6.68	23.3	0.0843	155.60
6	53	41	825	0.93	10.06	9.39	24.3	0.0982	228.10
7	53	49	1086	0.93	11.08	10.34	25.3	0.0897	261.58
8	53	48	1701	0.93	17.72	16.53	26.3	0.1188	434.78
9	53	52	1484	0.93	14.27	13.31	27.3	0.0793	363.45
10	53	50	1115	0.93	11.15	10.40	28.3	0.0514	294.40
11	52	52	1567	0.92	15.07	13.79	29.3	0.0565	404.12
12	51	50	1315	0.90	13.15	11.81	30.3	0.0401	357.72
13	50	48	919	0.88	9.57	8.43	31.3	0.0237	263.73
14	49	49	1783	0.86	18.19	15.69	32.3	0.0366	506.91
15	49	45	1071	0.86	11.90	10.26	33.3	0.0198	341.82
16	45	43	844	0.79	9.81	7.77	34.3	0.0125	266.66
17	44	43	899	0.77	10.45	8.10	35.3	0.0108	285.82
18	43	42	941	0.76	11.20	8.48	36.3	0.0093	307.82
19	42	41	1010	0.74	12.32	9.11	37.3	0.0083	339.68
20	41	38	851	0.72	11.20	8.08	38.3	0.0061	309.53
21	40	40	804	0.70	10.05	7.08	39.3	0.0044	278.11
22	40	39	736	0.70	9.44	6.64	40.3	0.0035	267.77
23	39	37	761	0.69	10.28	7.06	41.3	0.0030	291.59
24	37	32	502	0.65	7.84	5.11	42.3	0.0018	216.11
25	37	31	410	0.65	6.61	4.31	43.3	0.0013	186.50
26	37	31	454	0.65	7.32	4.77	44.3	0.0012	211.29
27	37	25	310	0.65	6.20	4.04	45.3	0.0008	182.94
28	34	28	309	0.60	5.52	3.30	46.3	0.0006	152.91
29	33	15	147	0.58	4.90	2.85	47.3	0.0004	134.64
30	31	24	235	0.55	4.90	2.67	48.3	0.0003	129.05
31	28	21	108	0.49	2.57	1.27	49.3	0.0001	62.49
32	24	10	92	0.42	4.60	1.94	50.3	0.0002	97.76
33	17	5	79	0.30	7.90	2.36	51.3	0.0002	121.28
34	16	8	56	0.28	3.50	0.99	52.3	0.0001	51.56
35	14	5	14	0.25	1.40	0.35	53.3	0.0000	18.39
36	14	5	24	0.25	2.40	0.59	54.3	0.0000	32.12
37	10	0	0	0.18	0.00	0.00	55.3	0.0000	0.00
38	9	2	4	0.16	1.00	0.16	56.3	0.0000	8.92
39	6	1	1	0.11	0.50	0.05	57.3	0.0000	3.03
40	6	0	0	0.11	0.00	0.00	58.3	0.0000	0.00
41	4	0	0	0.07	0.00	0.00	59.3	0.0000	0.00
42	3	0	0	0.05	0.00	0.00	60.3	0.0000	0.00
43	0	0	0	0.00	0.00	0.00	61.3	0.0000	0.00

ANEXO 15. Datos de las variables del ensayo de tolerancia

Variedad	Nive de infestación	# ninfas infestadas	#supervivencia	Peso planta
IR 8	0			0.382
	2	8	7	0.303
	5	25	24	0.257
	8	40	37	0.251
	11	55	40.5	0.184
	14	70	61	0.165
	17	85	79	0.139
	20	100	82.5	0.150
Oryzica Llanos 5	0			0.270
	2	9	7.5	0.262
	5	25	22.5	0.237
	8	40	33.5	0.203
	11	55	47.5	0.175
	14	70	62	0.130
	17	85	55.5	0.089
	20	100	69	0.108
P1274	0			0.399
	2	10	10	0.393
	5	25	21.5	0.261
	8	40	25.5	0.252
	11	55	42.5	0.214
	14	70	49	0.174
	17	85	61.5	0.163
	20	100	63	0.144
Oryzica Llanos 4	0			0.334
	2	10	8.5	0.331
	5	25	19	0.273
	8	40	24.5	0.261
	11	55	30.5	0.251
	14	70	43.5	0.255
	17	85	56	0.233
	20	100	60	0.206
Fedearroz 50	0			0.352
	2	10	7	0.338
	5	25	16.5	0.341
	8	40	20.5	0.257
	11	55	31	0.285
	14	70	43.5	0.279
	17	85	41	0.279
	20	100	47.5	0.251
Makalioka	0			0.496
	2	10	1.5	0.450
	5	25	2	0.429
	8	40	11	0.388
	11	55	21.5	0.404
	14	70	37.5	0.367
	17	85	47.5	0.356
	20	100	47	0.336

ANEXO 16. Cuadrados medios del análisis de varianza para mortalidad de *T. orizicolus* en seis variedades de arroz en prueba de tolerancia.

Fuente de variación	G.I	Cuadrados medios
Ensayo	1	0.106556
Variedad	5	0.748217**
Nivel	6	0.050494
Variedad*nivel	30	0.059553
error	41	0.039221
CV		20.01

ANEXO 17. Calificación de resistencia al daño mecánico en generaciones del cruce entre P1274-6-8M-1-3M-1 x Oryzica Llanos 4.

Clasificación	Material									
	Bluebonnet 50	IR 8	Makalioka	Fedearroz 50	O.LI. 4	P1274	RC1	RC2	F1	F2
Resistente	0	9	96	101	26	7	64	63	37	225
Susceptible	89	82	0	0	0	51	50	9	2	81

11. BIBLIOGRAFIA

- ADAIR C. R.; McGUIRE J. U. Y ATKINS J. G. 1958. Summary of research on Hoja blanca. Rice Journal 60 (8): 15 – 40
- ALVAREZ A. 1974. Fluctuaciones de las poblaciones de *Sogatodes oryzicolus* (Homoptera: Fulgaridae) en arroz. Ministerio de Agricultura. ICA Programa Nacional de Arroz. VI Reunión anual (Colombia) 99-108 p.
- ANONIMO. 1958. Informaciones de interés general en relación con el arroz. Administración de estabilización del arroz. La Habana, Cuba. Boletín 8: 1-51
- ANDREWARTHA, H. G. and BIRCH L. C. 1954. The distribution and abundance of animals. University of Chicago press, Chicago 782 p.
- ARIAS E.; GUTIERREZ A.; BISHKO A.; Y GUTIERREZ L. 1985. Efecto de diferentes índices poblaciones de *Sogatodes orizicola* en dos etapas de desarrollo del cultivo de arroz. Ciencia y técnica en la agricultura. Serie Arroz, 8(1): 77-86
- ASCHE, M. AND WISON, M. R. 1990. The delphacid genus *Sogatella* related group: A revision with special reference to rice – associated species (Homoptera: Fulgoridae). Systematic Entomol. 15: 1-42.
- BLANCO E.; GONZALES H. 1974. Algunas medidas del combate de “sogata” *Sogatodes orizicola* (Homoptera: Delphacidae) en arroz, en la zona de calabozo. Boletín Informativo. Estación experimental de Calabozo. 1(2): 3-13
- CALVERT L. A. Y REYES L. A. 1999. Manejo del complejo “sogata” – Virus de la hoja blanca” en el cultivo del arroz. Plegable. CIAT, CORPOICA, FEDEARROZ.
- CALVERT L. A. Y REYES L. A. 2000. Estrategias para el control del virus de la hoja blanca en Colombia. Informe Final. CIAT, FEDEARROZ y CORPOICA. 34 p.
- CARDONA M. C. 1996. Resistencia varietal a insectos. Memorias del seminario internacional “Mecanismos de resistencia de plantas al ataque de Insectos y patógenos. Universidad de Caldas. Manizales, Julio de 1996
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1987a. “sogata” Annual Report, For internal circulation and discussion only. For 1986. CIAT. 23 – 27 p.

- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1987b. *Sogatodes oryzae*. Informe anual. Programa de arroz. CIAT. 214 –220 p.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1991. Characteristics of Rice Tolerance to *Tagosodes orizicolus*. Annual report. Rice Program. For internal circulation and discussion only. Centro internacional de Agricultura tropical CIAT. 129 – 131 p.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1993. Project 5: Diversified resistance *Tagosodes* and Hoja blanca. For internal circulation and discussion only. Centro internacional de Agricultura tropical CIAT. November 1993 141 – 149.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1997. Project IP-4: Improved rice germplasm for Latin America and the Caribbean. For internal circulation and discussion only. November 1997. CIAT. 87-97 p.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1998. Project IP-4: Improved rice germplasm for Latin America and the Caribbean. For internal circulation and discussion only. October 1998. CIAT. 107-114 p.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1999. Proyecto IP-4. Reporte anual del virus de la hoja blanca y *T. orizicolus*. CIAT. 1-41 p.
- CHOI S. Y.; HEU M. M. AND LEE J. O. 1979. Resistance to the brown planthopper in Korea. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia, International Rice Institute, Philippines. 219-232 p.
- COOK A. G.; WOODHEAD S.; MAGALIT V. F. AND HEINRICHS E. A. 1987. Variation in feeding behavior of *Nilaparvata lugens* on resistant and susceptible rice varieties. Entomology exp. Appl. 43: 227-235
- DIXON A.G.O.; BRAMEL – COX P.J.; REESE J. C.; AND HARVEY T. L. 1990. Mechanisms of resistance and their interactions in twelve sources of resistance to biotype e. greenbug (homoptera: Aphididae) in sorghum, J. Econ. Entomol., 83, 234,
- DE GALVIS Y.C.; CARDONA C.; GONZALES G. 1988. Dinámica de la población de insectos en el cultivo del arroz con riego. En: El arroz colombiano. Retrospectiva, desarrollo, proyección, alimentos y subproductos para ganadería. 76-78 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE ARROCEROS Y FONDO NACIONAL DEL ARROZ. 1999. Anunciadas dos nuevas variedades de arroz. En Boletín informativo Correo, Año 10 No. 108 Diciembre 1999.
- GALLUN R. L. (1972). Genetic inter-relationship between host plants and insects. J. Environ. Qual. 1:259-265

- GALVEZ G. E. 1967. Frecuencia de *Sogatodes oryzicolus* (Muir) y *Sogatodes cubanus* Crawford en arroz, liendrepuerco (*Echinochloa*) en Colombia. *Agricultura tropical* 23: 384-389
- GALVEZ G. E. Y JENNINGS P. 1959. Transmisión de la hoja blanca del arroz en Colombia. *Agricultura tropical* 15 (8): 507-551
- GAVIDIA O. A. 1970. Resistencia de 15 variedades de arroz al virus hoja blanca y al vector *Sogatodes oryzicola* Muir. Tesis de grado MS. Programa de estudios para graduados en ciencias agrarias UN-ICA
- GUTIERREZ A. Y RODRIGUEZ O. 1980. Estudio preliminar para la cuantificación de los daños causados por el insecto *Sogatodes oryzicola* en cinco variedades de arroz. *Ciencia y técnica en la agricultura. Serie Arroz* 3 (1): 75-83
- HEINRICHS E. A.; MEDRANO F. G. AND RAPUSAS H. R. 1985. Genetic evaluation for insect resistance in rice. *Internacional Rice Research Institute, IRRI*. 356 p.
- HERNÁNDEZ A. 1987. Respuesta de variedades de arroz a una colonia de *Sogatodes oryzicola* en Colombia. *Ciencia y técnica en la agricultura. Serie Arroz* 10 (2): 7-12
- HERNÁNDEZ A.; ZAMORA N. Y ARIAS E. 1989. Comportamiento de las variedades de arroz resistentes al insecto *Sogatodes oryzicola* en condiciones de producción. *Agrotecnia de Cuba* 21 (1): 37-48
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). 1989. Científicos combaten el saltahoja café, la plaga más seria del arroz en el Asia. *Arroz en el Caribe* 4(1): 5-6. 1990 Reproducido y traducido de: The IRRI reporter, Manila, Filipinas. Diciembre 1989
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). 1996. Standard evaluation system for rice. Genetic resources Center (INGER) 4th edition 53 p.
- JENNINGS P. R.; ROSERO M. J. Y BURGOS J. L. 1958. Hoja blanca del arroz. *Agricultura tropical (Bogotá)* 14 (8): 511-516
- JENNINGS P. R. y PINEDA A. 1969. Pruebas de resistencia a *Sogatodes oryzicola*. En Reunión anual del Programa Nacional de Arroz, resultados presentados. Palmira Colombia I.C.A. 17-19 p.
- JENNINGS P. R. y PINEDA A. 1970a. Screening rice for resistance to the planthopper, *Sogatodes oryzicola* (Muir). *Crop science*, 10: 687-689

- JENNINGS P. R. y PINEDA A. 1970b. Effect of resistant rice plants on multiplication of the planthopper, *Sogatodes oryzicola* (Muir). Crop science, 10: 689-690
- JENNINGS P. R.; COFFMAN W. R.; KAUFFMAN H.E. 1981. Mejoramiento de arroz. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. 233 p.
- JENNINGS P. R. 1983. Estudios recientes de la hoja blanca y su vector. En: Informe de la quinta conferencia del IRTP para América Latina Agosto 9-13, 1983. Cooperación Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT y Internacional Rice Research Institute, IRRI 106-120 p.
- LITTLE V. A. 1957. General and applied entomology. New York, Harper Brother. 199 p.
- MARTINEZ, C. 1971. Resistencia de los cultivos a insectos. Reunión Anual Palmira, Cuba, diciembre 1971. 10-17 p.
- MARTÍNEZ C., WEERARATHE H., PINEDA A. 1978. Selección de variedades resistentes a Hoja Blanca y *Sogatodes oryzicola* M. En: Informe progreso 1977-1978. Programa Arroz. Instituto Colombiano Agropecuario. Regional 5. Ministerio de agricultura 54-58 p.
- MENESES C. R.; GUTIERREZ Y. A.; ARIAS R. E.; HERNANDEZ A. A.; GARCIA R. A.; AMADOR G. M. 1990. Resultados de los estudios realizados en cuba para el manejo de *Sogatodes oryzicola* (Muir), *Oebalus insularis* (Stal) *Lissorhoptrus brevisrostris* (Sulf) e *Hydrellia* sp.. En el cultivo del arroz. Red de mejoramiento de arroz para el Caribe. Mesa redonda sobre protección vegetal. Santa Clara, Cuba. 107p.
- MESA, N. C. 1993. Parámetros de la Tabla de vida. Guía de clase. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.
- MISRA D. S.; REDDY K. B. AND MISRA B. C. 1986. Varietal screening for leaf and planthopper resistance at Varanasi. India. IRRI. Newslett 11(1):9
- NIELSON M. W.; SCHONHORST M. H.; DON H.; LEHMAN W. F. Y MARBLE V. L. 1971. Resistance in alfalfa to four of the spotted alfalfa aphids. J. Econ. Entomol. 64:506-510
- ODUM, E. P. 1959. Fundamentals of ecology. 2nd. Edition. W.B. Saunders Company, London. 546 p.
- ORELLANA P. A. 1981. Aspectos relacionados con la resistencia genética del arroz (*Oryza sativa*) al insecto *Sogatodes oryzicola*, hoja blanca y *Pyricularia oryzae*. Agrotécnia de Cuba 13 (1): 37-45

- ORELLANA P. A.; JENNINGS P. R. Y PEREZ L. 1982. Resultados preliminares de estudios de resistencia en variedades de arroz (*Oryza sativa*) con colonias de *Sogatodes orizicola* de diferentes localidades. Ciencia técnica en la agricultura. Serie Arroz 5(2): 63-82
- ORELLANA P. A.; CORNIDE M. T.; PEREZ A. V.; PEREZ L. Y GINARTE Y. A. 1985. Herencia de la resistencia en arroz (*Oryza sativa*) al insecto *Sogatodes orizicola*. Ciencia y técnica en la agricultura Serie Arroz 8(2): 91- 100
- PAGUIA P.; PATHAK M. D. AND HEINRICHS E. A. 1980. Honeydew excretion measurement techniques for determining differential feeding activity of biotypes of *Nilaparvata lugens* on rice varieties. J. Econ. Entomol. 73: 35-40
- PAINTER, R. H. 1951. Insect resistance in crop plants. The University Press of Kansas. 521 p.
- PANDA N. AND HEINRICHS E. A. 1993. Levels of tolerance and antibiosis in rice varieties having moderate resistance to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Hemiptera: Delphacidae). Environmental Entomology 12 (4): 1204 - 1214
- PANDA, N. AND KHUSH, G.S. 1995. Techniques for determining mechanisms of resistance in host plant resistance to insects. 255-267 p.
- PANTOJA, A. Y HERNÁNDEZ, M. P. 1993. *Sogatodes* o *Tagosodes*, sinonimia y evaluación a daño mecánico. Arroz (Colombia) 42 (382): 30 - 31
- PARDEY R. C.; CUEVAS P. F.; BAENA D.; MARTÍNEZ C. 1996. Caracterización de la resistencia al daño mecánico de *Tagosodes orizicolus* (Muir) (Homoptera: Delphacidae) en doce cultivares de arroz (*Oryza sativa*). Revista Colombiana de entomología. 1(22): 37-43
- PEREZ O. P.; GINARTE L. A.; HERNANDEZ A. 1977. Resistencia a *Sogatodes orizicola* (Muir) y a las enfermedades Hoja blanca y *Piricularia oryzae* (Cav.) de las variedades en estudios regionales durante 1975. Agrotécnica de Cuba 9(1): 89-101
- REDDY V. V. AND KALODE M. B. 1981. Ruce varietal resistance to brown planthopper. IRRI. Newslett 6(4): 8
- ROBINSON J., VIVAR H.E., BURNETT P.A AND CALHOUN D.S. 1991 Resistance to Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) in barley genotypes, J. Econ. Entomol., 84, 674.

- ROSETO J. M.; NIETO J. Y BENJARANO J. 1970. Control del insecto *Sogatodes orizicolus* (Muir) en tres variedades de arroz y evaluación de los costos de producción. *Agricultura tropical* 4(26): 201-208
- SARKARUNG S. 1989. Metodo modificado de cruzamientos de arroz. Cali . Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. 44P.
- SAMPER A. 1968. Factor affecting adoption of insect control and other practices abroad. *Bull. Entomological Soc. of America*, 14: 128-130
- SEETHARAMAN R.; KRISHNAIAH N. V.; SHOBHA RANI N AND KALODE M. B. 1984. Studies on varietal resistance to brown planthopper in rice. *Indian J. Genet.*, 44(1): 65-72
- SENGUTTUVAN T.; GOPOLAN M. AND CHELLIAH S. 1991. Impact of resistance mechanisms in rice against the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal (Homoptera: Delphacidae). *Crop protection* 10: 125-128
- SMITH C. M., KHAN Z. R., PATHAK M. D. 1994. Techniques for evaluating insect resistance in crop plants. CRC Press. 320 p.
- SOGAWA K. AND PATHAK M. D. 1970. Mechanisms of brown planthopper resistance in Mudgo variety of rice (hemiptera: Delphacidae) *Appl. Entomol. Zool.* 5: 145-158
- TRIANA M.; PINEDA A.; PARDEY C.; PANTOJA A. DUQUE C. 1994. Mecanismos de resistencia al daño mecánico por *Tagosodes orizicolus* (Muir) (*Sogatodes orizicola*) en arroz. *Revista colombiana de entomología*. 20 (1): 23-36
- VARGAS P. 1985. La hoja blanca – descalabro del Cica 8. *Revista Arroz*, Bogotá (Colombia) 34 (334) 18-19
- WEBER G. 1986. Uso de pesticidas en el control integrado de plagas en Arroz, Bogotá (Colombia) 36 (341): 16-21
- WEBER G. 1989. Desarrollo del manejo integrado de plagas del cultivo de arroz. Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Producción: Carmen Llanos. Cali, Colombia. 69 p.
-