



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

**RESISTENCIA DE VARIEDADES DE MAIZ
Y TRIGO A LA INFESTACION
POR Sitotroga cerealella (Oliver)**

TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE BIOLOGO

ISABEL ALONSO DE FLORIDA Y DE LEON

1 9 8 5



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PREFACIO

Originalmente se había encauzado este trabajo sólo a determinar entre ciertas variedades de maíz y de trigo la más resistente a la infestación por *Sitotroga cerealella*. Pero a lo largo de la investigación y de la manera un tanto fortuita me percaté de la importancia que tenía en este tipo de fenómenos la adaptación hereditaria del insecto, cosa que no había sido objeto de atención en los trabajos modernos sobre el tema. No se trataba, sin embargo, de un descubrimiento, pues una revisión más profunda de la literatura permitió hallar un trabajo de Birch en 1954 que mencionaba ya la ingerencia de ese factor evolutivo en el proceso de aprovechamiento de los granos de cereal durante la reproducción de los insectos. De todos modos el interés en ese aspecto de la biología de *Sitotroga cerealella* dió una nueva perspectiva a la tesis y obligó a un análisis más detallado de los datos, los cuales dan algunas luces nuevas sobre este interesante problema, y seguramente darán lugar a alguna publicación original.

El trabajo fue realizado en el Instituto de Biología en el Departamento de Entomología bajo la dirección del M. en C. Mario Ramírez. Reconozco el beneficio que me ha reportado el haber trabajado bajo la guía del maestro Ramírez quien siempre supo alentar mi desarrollo personal propiciando la libertad intelectual, y dando su apoyo, orientación y conocimientos.

Por otra parte apreció la cooperación y ayuda que recibí de varios investigadores durante la realización de mi trabajo. Reconozco especialmente la intervención del Dr. Raúl MacGregor, desafortunadamente desaparecido para la ciencia mexicana. El Dr. Alejandro Ortega ha proporcionado las variedades de granos que constituyeron parte del material biológico utilizado, así como parte sustancial de la bibliografía sobre el tema. El análisis estadístico de los datos ha sido posible gracias a la intervención del Dr. Francisco Alonso de Florida. Diversas sugerencias sobre el texto fueron aportadas por el Dr. Miguel Angel Morales y la Sra. Elena Keys. Los dibujos fueron ejecutados por la Srta. María Rosa Alonso de Florida. La Sra. María de la Luz Zárate, realizó un significativo trabajo editorial a lo largo de la elaboración del escrito. Agradezco a todas estas personas su contribución.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCION	
Consideraciones generales	2
Propósitos y razones de este trabajo	3
Objetivos	4
Modelos experimentales	4
Características principales de <i>Sitotroga cerealella</i> (Oliver)	5
MATERIALES Y METODOS	
Cultivos	8
Variedades utilizadas	8
Desinfección de granos	8
Determinación del contenido de humedad	9
Ajuste de la humedad	9
Cultivo de la generación F ₁ de insectos	10
Experimentos de libre elección	12
Experimentos de no elección	15
Criterios y medidas de la invasión o infestación de los granos	16
Diseño de experimentos y análisis de resultados	18
Diseño de experimento	18
Análisis estadístico	19
RESULTADOS E INTERPRETACIONES PARTICULARES	
Resistencia	25
Medidas de ataque	25
Tiempos de emergencia y productividad	35
Capacidad de <i>Sitotroga cerealella</i> para infestar y su adaptación	42
Adaptación al modelo experimental	42
Adaptaciones heredadas	44
Interacción entre los tipos de adaptación	50
Relación entre la oviposición y adultos emergentes	53
Relación entre ciertas propiedades físicas y químicas de los granos a su infestación	55
Algunas propiedades físicas y químicas de las variedades estudiadas	55
Correlación entre propiedades físicas y la infestación	58
DISCUSION	
Resistencia de las variedades	63
Predicción de la resistencia de los granos a partir de sus propiedades físicas	67
Adaptaciones	70
CONCLUSIONES	73
REFERENCIAS	74

RESUMEN

Se estudió en el laboratorio la resistencia a la infestación por *Sitotroga cerealella* (Oliver) de cinco variedades de maíz (mezcla amarilla, amarillo dentado, mezcla tropical blanca, blanco subtropical, amarillo cristalino), y cuatro de trigo (Pima 77, Sonora 64, Super X e Inia 66). La infestación se determinó mediante los modelos conocidos como de libre elección y no-elección. Se definió el concepto de "ataque" como las cuentas de ovoposición y preferencia, y el "daño" como las cuentas de orificios de entrada, orificios de emergencia, adultos no-emergentes, galerías, larvas, pupas y puparios. Además se midieron los tiempos de emergencia de los adultos y la pérdida de peso de los granos.

Las mediciones mencionadas se verificaron en dos condiciones; a saber, generación F_1 de insectos procedentes de maíz cacahuazintle y, generación F_1 de insectos procedentes de trigo criollo.

Se vió que las medidas de resistencia variaron según las condiciones de modelo experimental, criterios de infestación (ataque o daño) y origen de los insectos (F_1 en trigo o maíz). Por consiguiente, se concluye que la resistencia no es sólo una propiedad intrínseca de los granos, sino que además es una función de circunstancias extrínsecas.

La variedad más resistente al daño del maíz en un experimento de no-elección fue la amarillo cristalino en las condiciones que simulan el almacén y cuando los insectos provenían de cultivos masivos en maíz cacahuazintle. Entre los menos resistentes, en iguales circunstancias, se encuentran "mezcla tropical blanca", "blanco subtropical" y "amarillo dentado".

Entre las variedades de trigo no se pudo discernir resistencias.

La dureza, el color, la rugosidad y la estructura de los granos mostraron ser propiedades físicas asociadas significativamente a la infestación de los granos de maíz. En el trigo, el color y la rugosidad mostraron asociaciones significativas con la resistencia en ciertas condiciones experimentales.

INTRODUCCION

Consideraciones Generales

Algunas especies de insectos a lo largo del ciclo biológico se sirven de las semillas de las gramíneas (o granos) como medio de nutrición para el crecimiento de las larvas, de modo que se establece así una modalidad de parasitismo. Entre estas gramíneas se encuentra el trigo, el arroz y el maíz que, por otra parte, constituyen la base de la alimentación humana. De este modo, visto el asunto en una perspectiva biológica general, se establece una competencia por el alimento entre el hombre y los insectos. El almacenamiento de los granos, por parte del hombre, propicia la reproducción de las especies de insectos parásitos de estos granos y así es causa del aumento de las poblaciones de insectos. La consecuencia es que al incrementarse la producción agrícola de granos para el consumo humano directo o indirecto, mediante la alimentación de los animales domésticos, se incrementan los parásitos de los granos, lo cual tiende a disminuir el rendimiento económico.

Esta competencia entre el hombre y los insectos que merman el producto fundamental de su alimentación, es de particular importancia en el mundo moderno, donde una de las preocupaciones más urgentes es mitigar el hambre que sufren importantes sectores de la humanidad. Se ha estimado que de un 5% a un 10% del total de la producción mundial de cereales se pierden en favor de los insectos, porción que de otro modo alcanzaría para alimentar a 130 millones de seres humanos durante un año.

Para combatir la infestación de los granos de cereal, se han tomado medidas de diversa índole. Mediante el conocimiento de los factores ambientales que propician el desarrollo de las poblaciones de insectos, se pueden idear y poner en práctica las estrategias del llamado combate indirecto que son las medidas sanitarias para evitar la infestación. Así se aplican procesos mecánicos como el cribado, ventilación, etc. de los granos. Por otra parte se toman acciones directas para exterminar a los insectos en estado adulto o larvario. Entre éstos se utiliza el tratamiento a temperaturas bajas, aplicación de radiaciones de alta energía y sobre

todo el tratamiento con agentes químicos (Ramírez, 1966).

Todos estos medios de combatir la infestación son inespecíficos por cuanto no discriminan entre la especie de plaga a combatir, ni la variedad particular de grano de que se trata. Además presentan el inconveniente de modificar en ciertas circunstancias las propiedades alimenticias o aún, como en el caso de algunos agentes químicos, de inducir efectos nocivos a la salud, al ingerirse como un contaminante del ambiente en general o de los granos en particular.

Otro método de control de la infestación, sin duda el más racional y a la vez inocuo, es mediante técnicas biológicas. Entre éstas tiene una relevancia especial el desarrollo de gramíneas híbridas, con el propósito de descubrir en su expresión fenotípica grados mayores de resistencia a la invasión por los insectos y a la vez conservar o incrementar las propiedades alimenticias de los granos, por comparación con variedades conocidas. La investigación que se implementa con este propósito de aplicación lleva aparejada la división del trabajo. Una vez que el genetista cuenta con nuevas variedades, se hace necesario el estudio, por parte de otros investigadores, de determinar las propiedades de los granos por lo que se refiere principalmente a sus características alimenticias y de resistencia a las plagas.

El estudio de la resistencia a las plagas incluye dos etapas, una de laboratorio y otra de campo. La primera tiene como objetivo imitar, en la medida de lo posible, la situación en la segunda, del cultivo en el campo, la cual todavía se realiza en circunstancias de control y rigor que caracterizan el método científico. Ambas cooperan al propósito de obtener cultivos de mayor rendimiento en la realidad de la agricultura y así en la alimentación humana.

Propósitos y razones de este trabajo

El trabajo presente es un estudio de laboratorio de la resistencia a la infestación por *Sitotroga cerealella* de cinco variedades de maíz y cuatro de trigo. Las variedades de maíz son: mezcla amarilla, amarillo dentado, mezcla tropical blanca, blanco subtropical, amarillo cristalino; y las de trigo: pima 77, sonora 64, super X e inia 66.

Entre las especies de insectos de mayor importancia con respecto a la infestación de los granos en México (Sifuentes, 1968) se encuentra *Sitophilus oryzae* y *Sitotroga cerealella*. La resistencia de las variedades de grano que son objeto de este trabajo ya han sido estudiadas con respecto a la primera especie (Doggett, 1957) y es por eso que ahora resulta de importancia contar con los datos relativos a la segunda especie mencionada y las citadas variedades.

Objetivos

Las metas de este trabajo son las siguientes:

- (1) Determinar el grado comparativo de resistencia a la infestación por *Sitotroga cerealella*, de las cinco variedades de maíz y las cuatro de trigo.
- (2) Determinar las posibles correlaciones que pudieran existir entre ciertas propiedades físicas de los granos y su resistencia a la infestación por *Sitotroga cerealella*.
- (3) Indagar la posible adaptación que una generación de la F_2 de *Sitotroga cerealella* muestra para infestar semillas de una determinada especie de cereal (trigo o maíz) procedente de una generación F_1 desarrollada en la misma o distinta especie de cereal (trigo o maíz).

Modelos experimentales

Para llevar a cabo la investigación se utilizaron los modelos experimentales conocidos como libre elección y confinamiento (o no-elección) (Mac Cain, 1964).

En la libre elección, como su nombre lo indica, la finalidad es determinar comparativamente el grado de invasión o ataque que los insectos efectúan libremente en un número de granos de diversas variedades que se les ofrece, distribuidas de manera homogénea dentro de un sólo ámbito o condición de laboratorio. Se trata de indagar cuales variedades "prefieren" los insectos sobre otras, para realizar la parte que corresponde a su ciclo de vida. Generalmente se presupone que este modelo, o método, da alguna información sobre la selectividad a la infes-

tación que acontece en el campo. Así este modelo se ha propuesto como el más conveniente para estudiar en el laboratorio la participación de elementos abióticos de la infestación como son la temperatura, la humedad, la luminosidad, etc. En todo caso, y aunque el objeto del estudio no sean tales elementos abióticos, hay que tenerlos en cuenta en el diseño experimental y controlar estas magnitudes físicas para que no actúen como variables.

El confinamiento o no-elección es un modelo cuyo objetivo es indagar lo que pudiera ocurrir en el almacén, donde los insectos tienen a su disposición una sólo variedad de granos. Las condiciones de laboratorio que se establecen, obliga a los insectos, confinados a un determinado ámbito a depender del nutriente que se les ofrece y que es una sólo variedad de granos. Este modelo experimental proporciona datos que pueden interpretarse en conjunto como una apreciación de la capacidad que los insectos poseen para infestar una determinada variedad de granos, pues su supervivencia depende enteramente de su capacidad para consumir y procrearse en una y sólo una clase de sustrato.

La información que se obtiene utilizando uno u otro modelo es siempre relativa y su valoración depende de la comparación entre especies de insectos y variedades de granos.

En muchos de los estudios suele considerarse a los insectos con una capacidad de infestación constante, de suerte que los grados variables de infestación que se observan en las diversas especies y variedades de granos se interpretan como debidas enteramente a una variabilidad en las propiedades de los granos. Sin embargo, en el presente trabajo se hace notar un factor adicional que hay que tomar en cuenta en el diseño de los experimentos. Este factor es la capacidad de adaptación que los insectos experimentan y que se expresa en el fenotipo de una generación determinada, como una consecuencia de las clases de granos a las que tienen acceso las generaciones precedentes.

Características principales de Sitotroga cerealella (Oliver)

Este insecto se conoce como palomilla dorada y se trata de un lepidópte-

ro, pequeño, de color café amarillento. Con las alas extendidas mide unos 6 milímetros. Infesta todas las especies de granos de cereal, tanto en el campo como en el almacén. En climas extremos sobrevive al invierno, principalmente en la forma larvaria en los granos del cereal que se encuentran en los silos o bodegas. En la primavera vuela al campo y deposita los huevecillos en los granos en crecimiento.

En condiciones normales cada hembra deposita aproximadamente 40 huevecillos, pero en condiciones especialmente propicias la postura puede ascender hasta cerca de 10 veces esa cantidad. Los huevecillos recién ovopositados son blanquecinos pero pronto toman un color rojizo. Por regla general los huevecillos se encuentran en la cabeza del trigo y en las puntas expuestas de los granos de maíz cuando los atacan en la mazorca, todavía en el campo, o en el almacén. Sin embargo, en condiciones experimentales (Simons y Ellington, 1924; Pandey y Pandey, 1977) las hembras adultas pueden ovopositar aún en la ausencia de los granos, sobre todo tipo de materiales, tales como tiras de papel depositadas en tubos de ensayo. Ramírez (1966) comunicó que la ovoposición no siempre se lleva a cabo en los granos, sino que ésta suele realizarse en grietas de las paredes y pisos en los almacenes. Se ha supuesto que las larvas que proceden de estos huevecillos que se han depositado fuera de los granos pueden alcanzar a éstos para atacarlos y nutrirse.

Las larvas se nutren de los granos de cereal pero los adultos se nutren de jugos azucarados.

Después de la eclosión, cada larva alcanza un grano y suele tejer un capullo en su superficie, para ayudarse en la perforación ulterior del grano. Una vez que una larva ha penetrado a un grano se nutre del endospermo o del germen. Entonces, labra una galería dirigida al exterior y luego construye un plano que ocluye débilmente la salida para lo cual corta el pericarpio formando un sector de un medio a un cuarto de círculo. Por último la larva teje un capullo de seda y se transforma en pupa de color café rojizo. Después, al alcanzar el estado adulto, empuja el pericarpio y se libera. El período de oviposición dura 2.13 días y la

incubación de 4.1 a 5.7 días; o sea que el estado larvario se alcanza en 5.6 a 13.2 días (Pandey, *et. al.*, 1977).

El ciclo de larva-adulto es variable (Simons y Ellington, 1924). La duración mínima es de 28 días y la emergencia de adultos puede continuar hasta por un mes adicional. Según Pandey, *et. al.* (1977) el ciclo dura de 22.2 a 48.4 en condiciones de laboratorio a 27 grados centígrados y 75% de humedad relativa.

La variación en el período larva-adulto se debe sobre todo al período larva-pupa, de modo que el período pupa-adulto es relativamente constante (Simons y Ellington, 1933). Simons y Ellington (1933), dicen que en suma, el ciclo larval puede durar de 33 a 55 días y de 5 a 10 días para el período pupa-adulto. Por su parte Waren (1954) encontró ciclos medios de desarrollo larva-adulto de 34 a 39 días, con una variación de 35 días.

MATERIALES Y METODOS

Cultivos

Variedades utilizadas. La lista de variedades de trigo y maíz utilizadas en este trabajo se encuentra en la Tabla 1. A fin de facilitar la exposición en lo que sigue, se ha asignado una letra mayúscula para que sirva de clave al designar cada una de las variedades como también se indica en la Tabla 1.

TABLA 1. Claves para designar las variedades estudiadas

Clave	Especie	Variedad
A	Maíz	Mezcla Amarilla
B	Maíz	Amarillo Dentado
C	Maíz	Mezcla Tropical Blanca
D	Maíz	Blanco Subtropical
E	Maíz	Amarillo Cristalino
F	Trigo	Pima 77
G	Trigo	Sonora 64
H	Trigo	Super X
I	Trigo	Inia 66

Desinfección de los granos. A fin de evitar, que durante el cultivo de *S. cerealella* en los granos, se desarrollen otras especies o variedades de parásitos o agentes infestantes indeseables, se llevó a cabo, como un paso inicial, la desinfección de los granos.

Los granos de las diferentes variedades que fueron objeto de estudio así como los granos de las variedades de trigo criollo y de maíz cacahuazintle utilizadas para obtener los insectos en cultivos masivos, fueron seleccionadas, quitando

aquellas semillas que mostraron signos de estar manchadas o infestadas por insectos, desechando asimismo granos rotos, o que tuvieran cualquier otra anomalía visible. Posteriormente se lavaron los granos con agua y jabón de pastilla, para eliminar residuos de algún insecticida o fungicida presente en la superficie. Los granos lavados y secados al sol, se colocaron a una temperatura de 5°C durante 15 días, con el objeto de interrumpir el ciclo biológico de cualquier insecto presente.

Determinación del contenido de humedad. Para la determinación del contenido de humedad de las muestras se utilizaron dos métodos. El primero fue la determinación de la impedancia eléctrica mediante el uso del aparato "Steinlite"; se realizaron tres repeticiones para cada una de las muestras. El segundo método utilizado fue el de secado en estufa a 103°C durante 72 horas; las determinaciones se efectuaron por duplicado en 5-10 gramps de cada repetición (Usda, 1979). El contenido de humedad por este último método fue calculado en base a peso húmedo mediante la siguiente fórmula: $A/B \times 100 = \%$ de humedad; donde A = peso seco de la muestra y B = peso húmedo de la muestra.

Ajuste de la humedad. Una vez conociendo los distintos valores de humedad en cada variedad de trigo y maíz, se procedió a ajustar la humedad interna. La fórmula utilizada para determinar la cantidad de agua que es necesario agregar es la siguiente:

$$\frac{100 \text{ } \% \text{ humedad real}}{100 \text{ } \% \text{ humedad deseada}} - 1 = F$$

donde F es un factor que, multiplicado por el número de granos, dará la cantidad de agua destilada que hay que agregar, expresada en mililitros para alcanzar el contenido de humedad deseada (Steinlite, 1973).

Para humedecer los granos se utilizaron bolsas de plástico cerradas que contenían la cantidad de agua necesaria de acuerdo a la fórmula y los granos necesarios de la variedad en cuestión. Las bolsas se agitaron hasta que los granos

absorbieron el agua. De ese modo se logró ajustar la humedad a 11.5% en el interior del grano. Esta humedad se mantuvo constante durante todo experimento, lo cual se comprobó midiendo al final la humedad interna de los granos.

Cultivo de la generación F_1 de insectos. Se siguió la técnica denominada "cultivo masivo". Se efectuaron dos tipos de cultivo: uno en maíz cacahuazintle, el otro en trigo criollo.

Se utilizaron 5 frascos con capacidad aproximada de un litro con las tapas perforadas y cubiertas con una malla de cobre, y con un papel filtro para permitir el intercambio de aire, para evitar la entrada de insectos y de ácaros (Fig. 1).

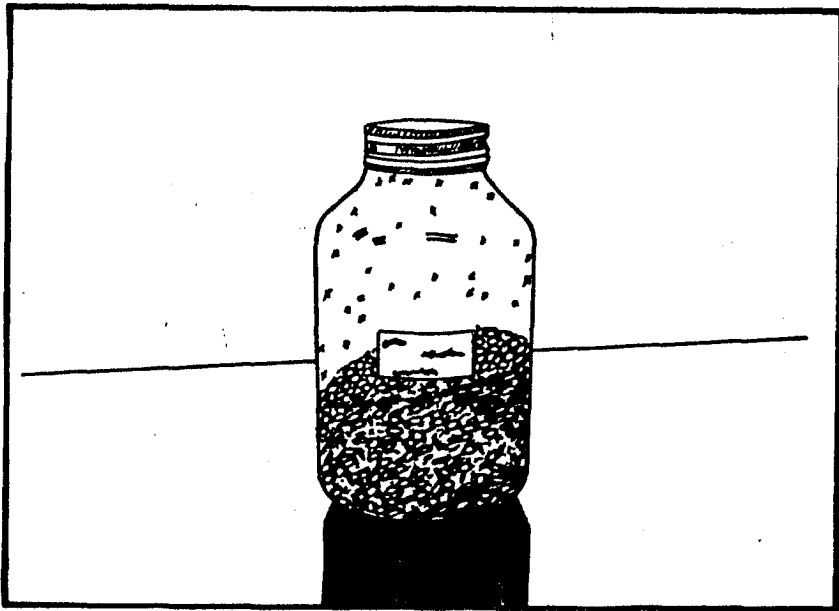


Fig. 1. Cámara de cría. Frasco de una capacidad aproximada de 1 utilizados para los cultivos masivos A, tapa perforada y cubierta con una malla de cobre y papel filtro para permitir el intercambio de aire, para evitar el tránsito de insectos y ácaros.

En cada frasco se depositaron 380 g. de los granos y se introdujeron 300 insectos adultos sin sexar. Luego de tapar los frascos se colocaron en la cámara de cultivos que consistía en un cuarto de unos 12m³ con estantes y cuya temperatura y humedad se mantienen constantes: $27^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y $70 \pm 5\%$ de humedad relativa respectivamente. En dichas cámaras de cría, los insectos permanecieron hasta que completaron su ciclo biológico y después fueron utilizados para realizar los experimentos de libre elección y no-elección (Fig. 2).



Fig. 2. Vista de los estantes de la cámara de cultivo. A, recipientes ("cámaras de prueba") para los experimentos de libre elección; B, recipientes para los experimentos de no-elección; C, recipientes para los cultivos masivos.

Experimentos de libre elección

En este tipo de experimentos se utilizaron recipientes que son de uso doméstico y conocidos como "paneras" (Fig. 3). Consisten en una superficie plana o "charola" de 30 cm de diámetro sobre la que se coloca una tapadera en forma semiesférica o de cúpula que es de plástico transparente. El volumen de la cámara es de 600 cm³. La cúpula lleva en la parte superior una perforación de 1 cm² cubierta por una tela de alambre, y cubierta con papel filtro a modo de permitir la ventilación y a la vez evitar el paso de los insectos. En lo que sigue se designan estos recipientes como "cámaras de prueba".

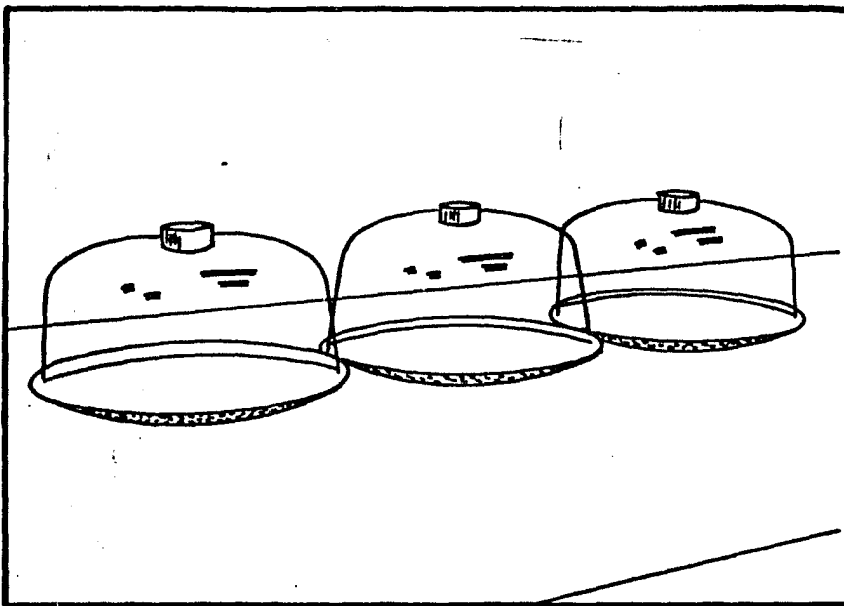


Fig. 3. Cámaras de prueba para los experimentos de libre elección. Son recipientes de uso doméstico conocidos como "paneras" que se adaptaron a las necesidades del experimento. A, charola; B, adaptación para ventilación.

Dentro de la cámara de prueba se colocaron 5 cajas de Petri y en cada una de éstas se depositaron 30 g de una variedad determinada de maíz o de trigo (Fig. 4). Cada caja de Petri en cada cámara de prueba contenía una variedad distinta de una determinada especie de granos. Se dispusieron 6 cámaras de prueba

distribuyendo las variedades y especies de granos como se indica en la Tabla 2.

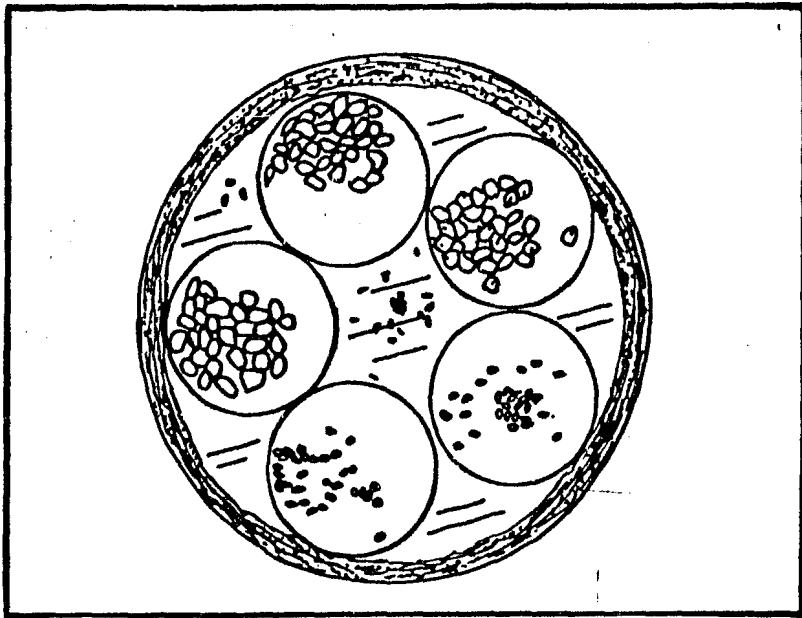


Fig. 4. Disposición de las cajas de Petri en la charola de la cámara de prueba.

Tabla 2. Distribución de las variedades de trigo y de maíz en diversas cámaras de selección en experimento de libre elección

Cámaras de Selección	Cajas de Petri				
	1	2	3	4	5
K	F	O*	E	D	I
L	G	C	A	B	H
M	F	O*	E	D	I
N	G	C	A	B	H
O	F	O*	E	D	I
P	G	C	A	B	H

*La variedad designada como "O" (Blanco Cristalino) no se toma en cuenta en los resultados, pues se cometió un error en la experimentación.

Las cajas de Petri dentro de cada cámara de prueba tenían una situación predeterminada y ordenada de conformidad con sus números, 1 . . . 5, y su contenido de variedades dispuestos de manera azarosa en cada cámara de prueba.

En cada cámara de prueba se introdujeron 50 individuos de cada sexo y ahí permanecieron confinados durante el resto de su vida que fue de unos 5 días (Fig. 5).

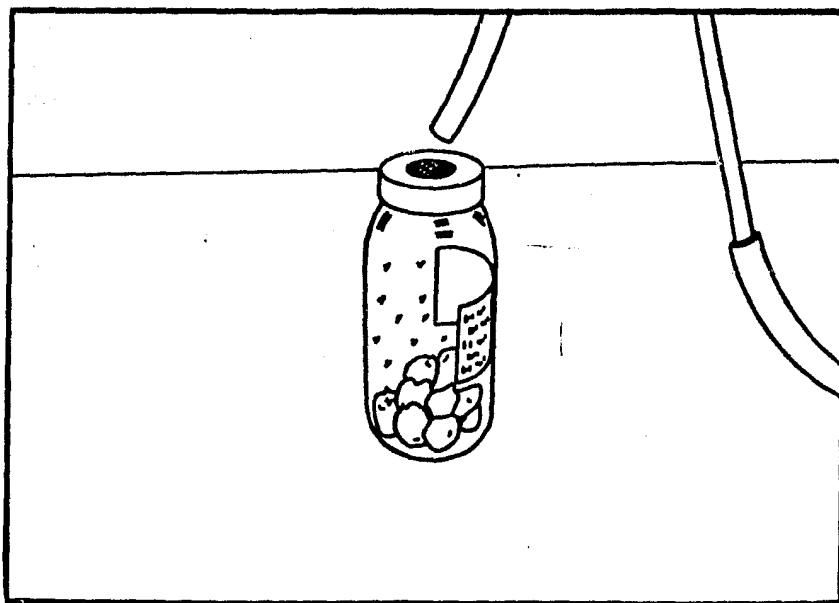


Fig. 5. Cámara de prueba en experimentos de no-elección. Tiene un volumen de 40 cm^3 . En el fondo se colocan 30 g de granos de una sola variedad. La tapa está provista de una malla con papel filtro.

Durante ese tiempo se realizó la prueba de preferencia (Díaz, 1967) que consiste en contar el número de insectos que se encuentran posados sobre los granos en cada una de las cajas de Petri. Las cuentas se tomaron a las 24, 48 y 162 hs a partir del momento que se introdujeron los insectos a la cámara de prueba o tiempo 0 (cero).

Al quinto día se tomaron al azar 5 granos de cada caja de Petri para cuantificar la oviposición o número de huevecillos. Los 25 granos restantes, se mantuvieron durante 64 días a prueba, al término de los cuales se hicieron las

determinaciones para cuantificar el grado de infestación.

La distribución de los granos y los insectos como se describe arriba y en la Tabla 2, se empleó de igual manera para experimentos en el desarrollo de la generación F_2 de *S. cerealella* que para la generación F_1 criada en cultivos masivos de maíz o de trigo.

Experimentos de no-elección. En lo que sigue se prefiere el término no-elección sobre el término *confinamiento* a fin de evitar ambigüedades, pues en el experimento de libre elección que se describe en la sección precedente, también los insectos se encuentran confinados.

Se utilizaron como "cámaras de prueba", frascos cilíndricos de vidrio con una capacidad de 40 cm³ (Fig. 5). En el fondo de cada frasco se colocaron 30 g de granos de una sola variedad de cada una de las especies, trigo o maíz. Se dispusieron 6 pruebas para cada variedad. Se introdujeron en cada frasco 10 individuos adultos de la generación F_2 , cinco individuos de cada sexo. Los individuos adultos permanecieron confinados en los frascos el resto de su vida, o sea aproximadamente 5 días (Simony-Ellington, 1933).

De las 6 repeticiones mencionadas de experimentos realizados en cada variedad de maíz o de trigo, tres se destinaron a experimentos con individuos infestantes de la generación F_2 procedentes de una generación F_1 cultivada masivamente en maíz cacahuazintle y, también tres se destinaron a experimentos cuyos individuos infestantes procedieron de cultivos masivos de trigo criollo.

Al término de la determinación de la preferencia, se tomaron al azar 5 granos de cada frasco de la generación F_2 a fin de determinar el número de huevecillos ovipositados.

Los 25 granos restantes permanecieron en la cámara 65 días adicionales al cabo de los cuales se determinó el grado de infestación.

Criterios y medidas de la invasión o infestación de los granos

Los criterios se han dividido en 3 categorías: ataque, daño y tiempo de emergencia. Se ha considerado conveniente distinguir entre ataque y daño en el proceso de *invasión* o *infestación* de los granos.

Se ha supuesto hipotéticamente que los insectos adultos de la generación F_1 de algún modo reconocen los granos como nutriente adecuado para el desarrollo de sus larvas y que puedan mostrar alguna selectividad por ciertas variedades para efectuar la oviposición. Esta primera etapa de la invasión de los granos, se ha denominado aquí de manera específica, *ataque* y se decidió medirla mediante dos magnitudes o parámetros: (a) la oviposición o número de huevecillos ovipositados y (b) la prueba de preferencia, o sea el *número de asentamientos*; es decir el número de insectos que se sorprenden posados en los granos a las: 24, 48 y 162 horas de iniciado el experimento durante un tiempo de observación que duró aproximadamente 1/2 min para cada recipiente.

Durante una segunda etapa los huevecillos se desarrollan, la metamorfosis se realiza y, en el proceso, se efectúan cambios característicos en los granos, de modo que al examinarlos se distinguen (a) orificios de entrada; (b) orificios de salida; (c) galerías; (d) larvas, pupas y puparios; (e) adultos emergentes, y (f) adultos emergidos. Todos estos elementos se contaron bajo el microscopio de disección y así los números se constituyeron en magnitudes o parámetros del daño. Además, a fin de tener una estimación del proceso de daño se determinaron asimismo los cambios de peso que sufren los granos durante el proceso de infestación.

La tercera categoría es el *tiempo de emergencia* de los insectos, pues se sabe que la duración de la metamorfosis de los insectos varía en función de la calidad del alimento que se ofrece a las larvas (Mills, 1965).

Interesa, de una manera especial, como ya se ha mencionado, determi-

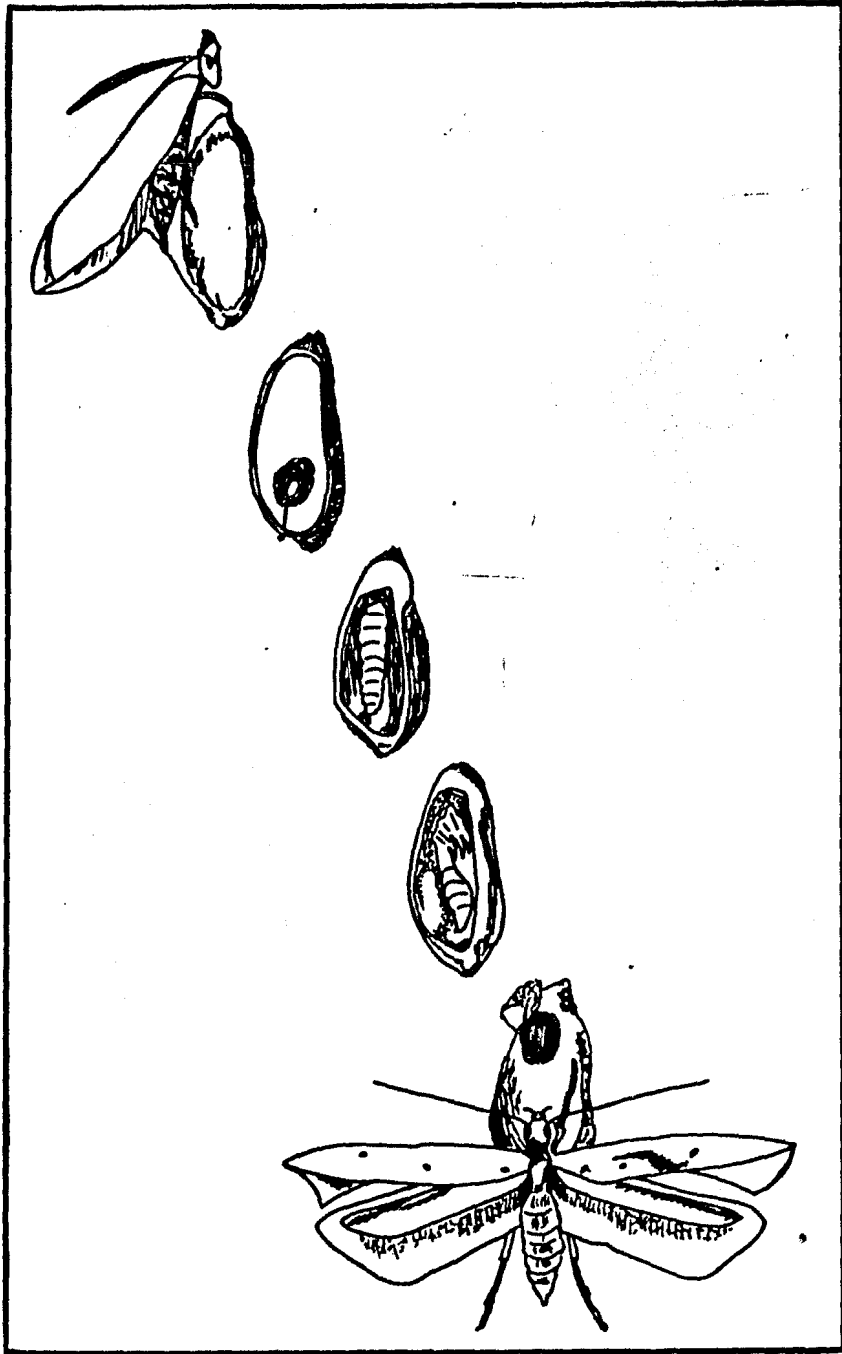


Fig. 6. Desarrollo de *Sitotroga cerealella* en el trigo. A, Oviposición; B, orificio de entrada; C, larva desarrollada totalmente; D, pupa; E, adulto emergente tomado de H.E. Hinton and A. Steven.

nar la *resistencia* de los granos a la infestación por los insectos. La resistencia es una medida recíproca de la *susceptibilidad* y ésta se estimó contando los elementos de infestación de las tres categorías mencionadas y comparando los resultados entre las variedades y las especies de granos que fueron objeto de este estudio.

Diseño de experimentos y análisis de resultados

Diseño de experimentos. La invasión de los granos por los insectos se investigó en ocho tipos de experimentos que resultan de combinar las siguientes variables: (a) origen de los insectos de una generación F_1 en maíz cacahuazintle o en trigo criollo; (b) especie y variedades de granos en que se examinó y cuantificó la infestación; y (c) tipo de experimento, libre elección o no-elección, aplicado para la inducción y desarrollo de la infestación.

En los cuatro grupos caracterizados por su origen en trigo (cultivos masivos en trigo) de la generación F_1 de insectos, se estudió solamente el ataque. Sin embargo, en los cuatro grupos caracterizados por el origen en el maíz de la generación F_1 de insectos se estudió tanto el ataque como el daño. Por otra parte en todos los grupos se midió el tiempo de emergencia.

Para estimar las diferencias en el ataque y en el daño se utilizó la prueba estadística no-paramétrica de la χ^2 . A fin de indagar las diversas cuestiones que se presentan en la sección de "resultados", se establecieron las correspondientes hipótesis nulas. Los datos se agregaron, es decir, las cuentas obtenidas con respecto a los criterios individuales se sumaron, de la manera que mejor convenía al análisis estadístico de cada hipótesis. Esta técnica propia del método factorial obvia, en ciertos casos, el hecho de que las cuentas que se obtuvieron para la comparación de efectos individuales, pudieran resultar escasas para decidir sobre la aceptación o rechazo de las hipótesis nulas que se intentaban probar.

Las cuentas de emergencia de adultos fueron escasas y por eso no permitieron utilizar este criterio para establecer diferencias en los tiempos de emergencia entre las diversas variedades de grano. Fueron, sin embargo, suficientes los datos antes mencionados para estimar las diferencias en los tiempos de emergencia con respecto al modelo de libre elección o no-elección, y al origen de la generación F_2 en cultivos masivos de maíz o de trigo.

Análisis estadístico. La χ^2 se aplicó al análisis estadístico del ataque y del daño. El tiempo de emergencia se estimó mediante las pruebas de Jockheer y de Wilcoxon (Hollander y Wolfe, 1972). Estas estadísticas son del tipo no-paramétrico.

La χ^2 se aplicó a dos tipos de problemas distintos que conviene distinguir y explicar con algún detalle a fin de evitar ambigüedades en la interpretación de los resultados.

Antes de explicar los problemas mencionados, conviene describir brevemente la forma general de aplicación de la χ^2 a los resultados del presente trabajo, lo cual se hará con la ayuda de la Tabla 3 y del ejemplo de las tablas 4 y 5.

Los datos que se obtienen de contar los elementos de infestación se ordenaron de conformidad con dos clasificaciones que en la Tabla 3 aparecen nombrados en general como clasificación I y clasificación II. En el ejemplo de las tablas 4 y 5, la clasificación I es la dureza de los granos en que aparecen los elementos de daño que se cuentan y la clasificación II son los criterios que se utilizaron para identificar tales elementos de daño.

En cada celda de la Tabla 3 aparece un número, O_{ij} , denominado "observado" y un número, e_{ij} , denominado "esperado" éste último aparece entre paréntesis. El observado, como su nombre lo indica es la incidencia (número de veces)

Tabla 3. Forma general en que se presentan los datos de incidencia de elementos de infestación de los granos para el cálculo de χ^2

Clasificación II de los elementos de infestación	Clasificación I de los elementos de infestación				Total
	1	2	. . .	N	
1	$o_{11}(e_{11})$	$o_{12}(e_{12})$	. . .	$o_{1n}(e_{1n})$	$o_{1.}$
2	$o_{21}(e_{21})$	$o_{22}(e_{22})$	. . .	$o_{2n}(e_{2n})$	$o_{2.}$
.					
.					
.					
R	$o_{r1}(e_{r1})$	$o_{r2}(e_{r2})$	. . .	$o_{rn}(e_{rn})$	$o_{r.}$
Total	$o_{.1}$	$o_{.2}$	. . .	$o_{.n}$	o

Los números son: o_{ij} , observados; e_{ij} , esperados. Hay dos hipótesis nulas alternativas a las cuales corresponden dos modos de calcular la χ^2 : $\chi_a^2 = \sum_{i,j} \frac{(o_{ij} - \alpha o_{i.} o_{.j})^2}{\alpha o_{i.} o_{.j}}$ y $\chi_b^2 = \sum_{i,j} \frac{(o_{ij} - o_{i.} o_{.j} / n)^2}{o_{i.} o_{.j} / n}$, donde los esperados para χ_a^2 son $e_{ij} = \alpha o_{i.} o_{.j}$ y para χ_b^2 son $e_{ij} = o_{i.} o_{.j} / n$; α es un coeficiente fraccionario que representa la fracción de granos disponibles para contar los observados en cada columna.

que se observa en los granos, los elementos de la categoría i-ésima (hilera i-ésima) de la clasificación I, que son a la vez elementos de la categoría j-ésima (columna) de la clasificación II. Por ejemplo, en la Tabla 4 el número observado $O_{11} = 73$ son las cifras que resultan de contar, en los granos de todas las variedades de maíz blando, los orificios de entrada. Los números esperados aparecen entre paréntesis y se calculan de conformidad con la hipótesis nula que se establece como se explica abajo. El valor χ^2 mide la suma de las discrepancias que se encuentran entre los números observados y esperados de conformidad con la fórmula

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(e_{ij} - O_{ij})^2}{e_{ij}}$$

Los tipos de problemas mencionados corresponden a dos tipos de hipó-

tesis nulas que obliga a dos modos distintos de calcular los números esperados.

El primer tipo de hipótesis nula establece que las características a que alude la clasificación I no influye en la incidencia de los efectos considerados separadamente según cada categoría especificada en la clasificación II. Así en la Tabla 4 la hipótesis nula significa que la dureza no influye en las cuentas de orificios, ni de adultos emergentes, ni de larvas. Cada número esperado se obtiene, entonces, con la fórmula $e_{ij} = \alpha O_j$; es decir, es el producto del total marginal de cada hilera i -ésima multiplicado por un coeficiente α que es un número fraccionario. El coeficiente α depende de una hipótesis científica que se desea refutar, o bien de ciertas condiciones del diseño experimental. En el caso de la Tabla 4 el coeficiente $\alpha = 0.6$ para la columna de las variedades blandas y $\alpha = 0.4$ para la columna de las variedades duras. Esos coeficientes resultan de que el número de granos de las variedades duras que se ofrecen a la infestación por los insectos es $3/5 = 0.6$ del total de granos, mientras que el número de granos que se ofrecen de las variedades blandas es $2/5 = 0.4$ del mismo total. Si el número de granos ofrecido de variedades duras y blandas hubiera sido el mismo, entonces se aplicaría el coeficiente $\alpha = 0.5$ para las dos columnas. Para los propósitos de este trabajo se designa χ_a^2 a la estadística aplicada a este tipo de problema, cuyos números esperados se calculan del modo indicado.

Tabla 4. Efectos de la dureza en los granos de maíz en la infestación en un experimento de libre elección

Criterios de daño	Variedades blandas	Variedades duras	Total
Orificio de entrada	73(54.60)	18(36.4)	91
Adultos emergentes	3.(4.2)	4(1.6)	7

$$\chi_a^2 = 19.4447; P < 0.001.$$

Al calcular la χ_a^2 para la Tabla 4 se obtiene un valor alto ($\chi_a^2 = 19.4447$) que indica que la hipótesis nula puede refutarse al nivel $P < 0.001$ de significación estadística y que por tanto puede aceptarse la proposición de que el daño, estimado según los criterios de la clasificación II es mayor para las variedades de maíz blando. Nótese que en este tipo de problema se hace caso omiso de los totales de las columnas, pues no se desea probar ninguna hipótesis con respecto a proporcionalidad entre los datos de la clasificación de criterios de daño.

El otro tipo de problema consiste en preguntarse si la distribución de los elementos de daño es a la vez proporcional a ambas clasificaciones. En el caso de la Tabla 4 la pregunta es, si la distribución del daño entre las variedades duras y blandas se relaciona coherentemente con la distribución del daño según los criterios utilizados para clasificar.

Se trata de comparar los elementos de la infestación y correlacionar las proporciones de los elementos de daño en una clasificación con las proporciones en la otra clasificación; es decir, se trata de indagar si una clasificación depende de la otra. La hipótesis nula es, en efecto, que una clasificación es independiente de la otra y se habla de una prueba de independencia. La tabla que sirva para esos propósitos se denomina *tabla de contingencia*.

Cada número esperado en una tabla de contingencia se obtiene con la fórmula $e_{ij} = \frac{o_i \cdot o_j}{o}$. Para los propósitos de este trabajo se designa χ_b^2 a la estadística aplicada a este segundo tipo de problema que difiere del primero solamente en el modo de calcular los números esperados. La χ_b^2 se calcula de la misma manera ya explicada ($\chi_b^2 = \frac{e_{ij} - o_{ij}}{e_{ij}}$)². Los mismos datos de la tabla 4 aparecen en la Tabla 5 excepto que los números esperados se calculan de conformidad con la última fórmula y así resultan en proporción de los totales marginales de la hileras y de las columnas.

Tabla 5. Efecto de la dureza de los granos de maíz en la infestación de un experimento de libre elección

Criterios de daño	Variedades blandas	Variedades duras	Total
Orificios de entrada	73(70.5714)	18(20.4286)	91
Adultos emergentes	3(5.4286)	4(1.5714)	7
Total	76	22	98

$$\chi_b^2 = 43.5804; P < 0.001.$$

El resultado de la Tabla 5 es $\chi^2 = 43.5804$ y la hipótesis de independencia de las dos clasificaciones se rechaza a un nivel de $P < 0.01$.

Se ve que tanto el resultado de la Tabla 4 como el resultado de la Tabla 5 son significativos, pero las conclusiones son diferentes. La Tabla 4 dice que la dureza es un factor importante en la resistencia de los granos, mientras la Tabla 5 indica que el factor dureza de los granos depende de que el daño se clasifique precisamente con los criterios indicados en la tabla, sin excluir, por supuesto, que otras clasificaciones del daño pudieran ser igualmente dependientes.

Finalmente, conviene observar en los ejemplos citados, cómo al aplicar la χ^2 (tanto χ_a^2 como χ_b^2) es lícito sumar datos a modo de condensar o agregar la información. Así se han condensado los datos de adultos emergentes y agujeros de emergencia en un sólo criterio de daño. Y del mismo modo se han agregado los datos de tres variedades duras y de dos blandas de maíz. Es clara la utilidad y flexibilidad que esta propiedad matemática confiere al análisis estadístico.

Por otra parte, se ofrece así la posibilidad de indagar efectos de muestras demasiado pequeñas que resultan de consideraciones detalladas que rinden en las tablas números esperados menores que 5. Si en una tabla hay un número esperado menor que 5, no es aplicable la χ^2 , a menos que se aplique la corrección de Yates o el método exacto de Fisher (1966), o bien que, como se indica aquí, se agreguen o condensen los datos y se hagan inferencias que, aunque menos

detalladas, tienen interés para el problema biológico de que se trata. Cabe señalar además, que la corrección de Yates o el método exacto de Fisher tienen aplicación sólo a las tablas de contingencia de 2 x 2.

RESULTADOS E INTERPRETACIONES PARTICULARES

Las Tablas 6, 7, 8 y 9 contienen todos los datos obtenidos en este trabajo relativos a ataque y daño haciendo la distinción que se explica en la introducción. Separadamente del criterio de ataque y daño se presenta en las Tablas 24 a 31, lo relativo a los resultados de tiempos de emergencia.

Resistencia

Medidas de ataque y daño. La resistencia como ya se dijo es una propiedad recíproca de la susceptibilidad. Esta última se estimó de manera relativa comparando por pares las variedades de maíz y de trigo. A modo de describir cómo se verificaron estas comparaciones se da un ejemplo en la Tabla 10. Las cuentas que se obtienen con cada uno de los criterios de daño se suman para formar una sola categoría y luego se comparan por medio de la χ_a^2 los resultados de las dos variedades. De las combinaciones que resultan de comparar todos los pares de conformidad con dos criterios de infestación (daño y ataque), dos modelos experimentales (libre elección y no-elección), así como del origen de la generación F_1 de insectos en dos tipos (cultivos masivos en maíz o trigo), se obtienen las Tablas numeradas de la 11 a la 22 y luego todos los datos en resumen en la Tabla 23.

De los resultados de esta sección se puede colegir lo siguiente:

Primero, la susceptibilidad o su recíproca, la resistencia del maíz, son propiedades que resultan de una función muy compleja, de modo que modificando diversas condiciones del experimento las variedades muestran magnitudes relativas variables. De ningún modo puede considerarse a la resistencia como una magnitud constante para una determinada variedad de maíz.

Segundo, en la mayoría de las comparaciones que se hicieron entre las variedades de trigo, no fue posible establecer diferencias de susceptibilidad. En algunos pares de comparaciones se observaron diferencias, pero las desigualdades encontradas variaron mucho según el tipo de experimento realizado.

Tabla 6. Infestación de granos de maíz y de trigo en un experimento de libre elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en maíz

	Variedades de maíz					Variedades de Trigo			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Ataque									
Oviposición	33	120	72	180	191	8	21	13	16
Preferencia	19	20	16	22	30	18	30	20	30
Daño									
Orificios de entrada	7	55	18	1	10	14	7	10	2
Orificios de emergencia	0	1	10	1	0	11	3	9	5
Adultos no-emergentes y emergentes	3	4	20	0	0	21	15	17	8
Galerías	3	7	13	0	3	10	5	11	7
Larvas, pupas y puparios	2	9	10	0	10	9	8	10	6

Tabla 7. Infestación de granos de maíz y de trigo en un experimento de no-elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en maíz

	Variedades de maíz					Variedades de trigo			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Ataque									
Oviposición	78	51	48	23	94	8	21	13	16
Daño									
Orificios de entrada	26	2	21	25	12	17	22	23	25
Orificios de emergencia	0	0	5	9	0	9	3	10	3
Adultos no-emergentes y emergentes	5	25	16	3	0	19	6	14	18
Galerías	0	0	6	10	2	9	12	13	6
Larvas, pupas y puparios	0	11	8	2	0	8	0	13	5

Tabla 8. Infestación (ataque) de granos de trigo y de maíz en un experimento de libre elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en trigo

Criterios de ataque	Variedades de maíz					Variedades de trigo			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Oviposiciones	83	112	41	58	30	44	39	50	40
Preferencias	10	4	16	16	7	9	8	10	9

Tabla 9. Infestación (ataque) de granos de trigo y de maíz en un experimento de no-elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en trigo

Criterios de ataque	Variedades de maíz					Variedades de trigo			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Oviposiciones	62	54	42	3	30	8	42	43	38

Tabla 10. Daño causado a dos variedades de maíz por *Sitotroga cerealella* en un experimento de libre elección

Variedad A	Variedad B	Total
16(46.0)	76(46.9)	92

Todas las cuentas de daño obtenidas según varios criterios de daño se han sumado; $\chi^2 = 39.1304$; $P < 0.01$; susceptibilidad: $A < B$.

Tabla 11. Medidas del daño. Comparaciones entre pares de variedades de maíz en un experimento de libre elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en maíz

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
A	15	91	45.5	40.89	P < 0.01
B	76				
A	15	86	43.0	36.46	P < 0.01
C	71				
A	15	17	8.5	9.94	P < 0.01
D	2				
A	15	38	19.0	1.68	0.30 < P < 0.20
E	23				
B	76	147	73.5	0.170	0.70 < P < 0.50
C	71				
B	76	78	39.0	70.21	P < 0.01
D	2				
B	76	99	49.5	28.37	P < 0.01
E	23				
C	71	73	36.5	65.21	P < 0.01
D	2				
C	71	94	47.0	24.5	P < 0.01
E	23				
D	2	25	12.5	17.64	P < 0.01
E	23				

Se concluye: B $\stackrel{?}{=}$ C > A $\stackrel{?}{=}$ E > D; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: MMLD.

Tabla 12. Medidas de daño. Comparaciones entre pares de variedades de maíz en un experimento de no-elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en maíz

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
A	31	69	34.5	0.71	0.70 < P < 0.80
B	38				
A	31	87	43.5	7.1839	P < 0.01
C	56				
A	31	80	40.0	4.050	0.02 < P < 0.05
D	49				
A	31	45	22.5	6.4222	0.01 < P < 0.02
E	14				
B	38	94	47.0	3.4468	0.05 < P < 0.10
C	56				
B	38	87	43.5	1.3908	0.20 < P < 0.30
D	49				
B	38	52	26.0	11.0769	P < 0.01
E	14				
C	56	105	52.5	0.4667	0.30 < P < 0.50
D	49				
C	56	70	35.0	25.2000	P < 0.01
E	14				
D	49	63	31.5	19.4444	P < 0.01
E	14				

Se concluye que: C $\stackrel{?}{=}$ D $\stackrel{?}{=}$ B $\stackrel{?}{=}$ A > E; C > B; D > A; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: MMND.

Tabla 13. Medidas de ataque. Comparaciones entre pares de variedades de maíz en un experimento de libre elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en maíz

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
A	52	192	96.0	40.33	P < 0.01
B	140				
A	52	140	70.0	9.2571	P < 0.01
C	88				
A	52	254	127.0	88.5827	P < 0.001
D	202				
A	52	273	136.50	104.6190	P < 0.01
E	221				
B	140	228	114.0	11.8596	P < 0.01
C	88				
B	140	342	171.0	11.2398	P < 0.01
D	202				
B	140	361	180.0	18.1745	P < 0.01
E	221				
C	88	290	145.0	44.8138	P < 0.01
D	202				
C	88	309	154.5	57.2460	P < 0.01
E	221				
D	202	423	211.5	0.8534	0.3 < P < 0.5
E	221				

Se concluye: E $\stackrel{?}{=} D > B > C > A$; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: MMLA.

Tabla 14. Medidas de ataque. Comparaciones entre pares de variedades de maíz en un experimento de no-elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en maíz

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
A	78	129	64.5	6.5046	0.01 < P < 0.02
B	57				
A	78	126	63.0	7.1429	P < 0.01
C	48				
A	78	101	50.5	29.9505	P < 0.01
D	23				
A	78	172	86.0	1.4884	0.20 < P < 0.30
E	94				
B	51	99	49.5	0.0909	0.70 < P < 0.80
C	48				
B	51	74	37.0	10.5946	P < 0.01
D	23				
B	51	145	72.5	13.7517	P < 0.01
E	94				
C	48	35.5	71	8.8028	P < 0.01
D	23				
C	48	142	71	14.9014	P < 0.01
E	94				
D	23	117	58.5	43.0855	P < 0.01
E	94				

Se concluye: A $\stackrel{?}{=} E > B \stackrel{?}{=} C > D$; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: MMNA.

Tabla 15. Medidas de daño. Comparaciones entre pares de variedades de trigo en un experimento de libre elección. *Sitotroga cerealella* de F_1 procedente de un cultivo masivo en maíz

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
F	65	103	51.5	7.0777	P < 0.01
G	38				
F	65	122	61.0	0.5246	0.30 < P < 0.50
H	57				
F	65	90	45.0	17.7778	P < 0.01
I	25				
G	38	95	47.5	3.8000	0.05 < P < 0.10
H	57				
G	38	63	31.5	2.6825	0.10 < P < 0.20
I	25				
H	57	82	41.0	12.4878	P < 0.01
I	25				

Se concluye: $F \stackrel{?}{=} H \stackrel{?}{=} G \stackrel{?}{=} I$; $F > G$; $F > I$; $H > I$; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: MTLD.

Tabla 16. Medidas de daño. Comparaciones entre pares de variedades de trigo en un experimento de no-elección. *Sitotroga cerealella* de F_1 procedente de un cultivo masivo en maíz

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
F	62	105	52.5	3.4381	0.05 < P < 0.10
G	43				
F	62	135	67.5	0.8963	0.30 < P < 0.50
H	73				
F	62	119	59.5	0.2101	0.50 < P < 0.70
I	57				
G	43	116	58.0	7.7586	P < 0.01
H	73				
G	43	100	50.0	1.9600	0.50 < P < 0.70
I	57				
H	73	130	65.0	1.9692	0.10 < P < 0.20
I	57				

Se concluye: $H \stackrel{?}{=} F \stackrel{?}{=} I \stackrel{?}{=} G$; $H > G$; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: MTND.

Tabla 17. Medidas de ataque. Comparaciones entre pares de variedades de trigo en un experimento de libre elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en maíz

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
F	26	77	38.5	8.1169	P < 0.01
G	51				
F	26	59	29.5	0.8305	0.30 < P < 0.50
H	33				
F	26	72	36.0	5.5556	0.01 < P < 0.02
I	46				
G	51	84	42.0	3.8571	0.02 < P < 0.05
H	33				
G	51	97	48.5	0.2577	0.80 < P < 0.90
I	46				
H	33	79	39.5	2.1392	0.10 < P < 0.20
I	46				

Se concluye: $G \stackrel{?}{=} I \stackrel{?}{=} H \stackrel{?}{=} F$; $G > H$; $G > F$; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: MTLA.

Tabla 18. Medidas de ataque. Comparaciones entre pares de variedades de trigo en un experimento de no-elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en maíz

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
F	35	51	25.5	41.58	P < 0.01
G	16				
F	35	70	35.0	5.000	0.99 < P
H	35				
F	35	65	32.5	0.3846	0.5 < P < 0.7
I	30				
G	16	51.0	25.5	7.0784	P < 0.01
H	35				
G	16	23	46.0	4.2609	0.02 < P < 0.05
I	30				
H	35	65	32.5	0.3846	0.5 < P < 0.7
I	30				

Se concluye: $F \stackrel{?}{=} H \stackrel{?}{=} I > G$; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: MTNA.

Tabla 19. Medidas de ataque. Comparaciones entre pares de variedades de maíz en un experimento de libre elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en trigo

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
A	93	209	104.5	2.5311	0.20 < P < 0.10
B	116				
A	93	150	75.0	8.6400	P < 0.01
C	57				
A	93	167	83.5	2.1617	0.1 < P < 0.2
D	74				
A	93	130	65.0	24.1231	P < 0.01
E	37				
B	116	173	86.5	20.1214	P < 0.01
C	57				
B	116	190	95.0	9.2842	P < 0.01
D	74				
B	116	153	76.5	40.7908	P < 0.01
E	37				
C	57	131	65.5	2.2061	0.1 < P < 0.2
D	74				
C	57	94	47.0	4.2553	0.02 < P < 0.05
E	37				
D	74	111	55.5	12.333	P < 0.01
E	37				

Se concluye: B $\stackrel{?}{=}$ A $\stackrel{?}{=}$ D $\stackrel{?}{=}$ C > E; B > D; B > C; A > C; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: TMLA.

Tabla 20. Medidas de ataque. Comparaciones entre pares de variedades de maíz en un experimento de no-elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en trigo

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
A	62	116	58.0	0.5517	0.8 < P < 0.9
B	54				
A	62	104	52.0	3.8462	0.02 < P < 0.05
C	42				
A	62	65	32.5	53.5538	P < 0.01
D	3				
A	62	92	46.0	11.1304	P < 0.01
E	30				
B	54	96	48.0	1.5000	0.3 < P < 0.5
C	42				
B	54	57	28.5	45.6316	P < 0.01
D	3				
B	54	84	42.0	6.85711	P < 0.01
E	30				
C	42	45	22.5	33.8000	P < 0.01
D	3				
C	42	72	36.0	2.0000	0.5 < P < 0.7
E	30				
D	3	33	16.5	22.0909	P < 0.01
E	30				

Se concluye: A $\stackrel{?}{=}$ B $\stackrel{?}{=}$ C $\stackrel{?}{=}$ E > D; A > C; A > E; B > E; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza.

Tabla 21. Medidas de ataque. Comparaciones entre pares de variedades de trigo en un experimento de libre elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en trigo

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
F	53	100	50.0	0.3600	0.5 < P < 0.7
G	47				
F	53	113	56.5	0.4336	0.5 < P < 0.7
H	60				
F	53	102	51.0	0.1569	0.5 < P < 0.7
I	49				
G	47	107	53.5	1.5794	0.5 < P < 0.7
H	60				
G	47	96	48.0	0.0417	0.8 < P < 0.9
I	49				
H	60	109	54.5	1.1101	0.2 < P < 0.3
I	49				

Se concluye: $H \stackrel{?}{=} F \stackrel{?}{=} G \stackrel{?}{=} I$; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza.

Tabla 22. Medidas de ataque. Comparaciones entre pares de variedades de trigo en un experimento de no-elección. *Sitotroga cerealella* de F₁ procedente de un cultivo masivo en trigo

Comparaciones de variedades	Observados	Total	Esperados	χ_a^2	Probabilidad
F	8	50	25.0	23.120	P < 0.01
G	42				
F	8	51	25.5	24.0196	P < 0.01
H	43				
F	8	46	23.0	19.5652	P < 0.01
I	38				
G	42	85	42.5	0.0118	0.9 < P < 0.8
H	43				
G	42	80	40.0	0.2000	0.90 < P < 0.95
I	38				
H	43	81	40.5	0.3086	0.8 < P < 0.9
I	38				

Se concluye: $H \stackrel{?}{=} G \stackrel{?}{=} I > F$; el símbolo $\stackrel{?}{=}$ significa que la hipótesis nula no se rechaza. Clave para la Tabla 23: TTNA.

Tabla 23. Susceptibilidad comparativa a la infestación por *Sitotroga cerealella* en variedades de maíz y de trigo en diversas circunstancias experimentales

Circunstancias experimentales					
Cultivo de F ₁	Cultivo de F ₂	Modelo	Efecto	Susceptibilidad Comparativa	Clave
maíz	maíz	libre elección	daño	$B = C > A = E > D$	MMLD
maíz	maíz	no-elección	daño	$C = D = B = A > E; C > B; D > A$	MMND
maíz	maíz	libre elección	ataque	$E > D > B > C > A$	MMLA
maíz	maíz	no-elección	ataque	$A = E > B = C > D$	MMNA
maíz	trigo	libre elección	daño	$F = H = G = I; F > G; F > I; H > I$	MTLD
maíz	trigo	no-elección	daño	$H = F = G = I; H > G$	MTND
maíz	trigo	libre elección	ataque	$G = I = H = F; G > H; G > F$	MTLA
maíz	trigo	no-elección	ataque	$F = H = I > G$	MTNA
trigo	maíz	libre elección	ataque	$B = A = D = C > B; B > D; B > C; A > C$	TMLA
trigo	maíz	no-elección	ataque	$A = B = C = E > D; A > C; B > E; A > E$	TMNA
trigo	trigo	libre elección	ataque	$H = F = G = I$	TTLA
trigo	trigo	no-elección	ataque	$H = G = I > F$	TTNA

El símbolo (=) quiere decir que la hipótesis nula no se rechaza.

La clave MMLD es tal que la primera letra (M) significa cultivo de F₁ en maíz; la segunda letra (m), cultivo de F₂ en maíz; la tercera letra (L), libre elección; la cuarta letra (D) daño. Las otras claves son similares teniendo en cuenta además que (T) significa trigo; A, ataque y N, no-elección.

Estos hechos sugieren que en el trigo, como en el maíz, la susceptibilidad (o la resistencia) no es una magnitud constante que permita identificar a los granos, sino que depende de las condiciones experimentales.

Tercero, el grado de discernimiento que se pudo establecer, a juzgar por el número de desigualdades estrictas que se derivaron de diferencias significativas, fue mayor entre las variedades de maíz, cuando fueron infestadas con *S. cerealella* de una generación F_1 cultivada en maíz cacahuazintle que de una generación F_1 cultivada en trigo criollo. De hecho, el grado de discernimiento en las otras condiciones de especie infestada y de origen en el cultivo masivo de la generación F_1 de *S. cerealella* fue ciertamente muy escaso. Por consiguiente, puede sugerirse, en relación al proceso de infestación del maíz, que *S. cerealella* sufre un proceso de adaptación en el cultivo masivo que se manifiesta por una variación en su capacidad de infestación.

Cuarto, la variedad más resistente a la infestación por *S. cerealella* con respecto al daño en un experimento de no-elección en el maíz, originada en cultivos masivos en maíz, fue la variedad "E". Por consiguiente, puede sugerirse que esta variedad sería la más resistente, en las condiciones reales de almacenes utilizados repetida o continuamente para contener maíz.

Quinto, al comparar los experimentos de daño con los de ataque producidos por *S. cerealella* originada en cultivos masivos en maíz, se observa que las escalas de susceptibilidad son diferentes. Este hecho sugiere que el ataque y el daño son capacidades distinguibles de infestación.

Tiempos de emergencia y productividad. Una cuestión de capital importancia teórica y práctica, es el tiempo de emergencia de los adultos; es decir, la cuestión de la duración del ciclo de vida de los insectos, el cual, en efecto, varía como una función del medio alimenticio al cual tienen acceso los insectos (Mills, 1905). Es de esperarse que cuanto más corto es el ciclo de vida, mayores son las posibilidades de éxito de los insectos y así el incremento de las poblaciones de

los mismos y, por ende la magnitud de la infestación.

Las Tablas de 24 a 31 contienen los resultados de este trabajo sobre tiempos de emergencia.

Tabla 24. Tiempos de emergencia en cinco variedades de maíz de una generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en un experimento de libre elección. Cultivo masivo de la generación F_1 en maíz

Intervalo (días)	Estadística	V a r i e d a d e s					Global
		A	B	C	D	E	
34 a 44	Incidencia	4	15	12	0	0	31
	Probabilidad*	0.0533	0.2000	0.1600			0.0827
	Límites de	0.0025	0.1095	0.0770			0.0548
	confianza	0.1042	0.2905	0.2443			0.1105
45 a 54	Incidencia	3	14	4	0	0	21
	Probabilidad*	0.0400	0.1867	0.0533			0.0560
	Límites de	0.0043	0.0985	0.0025			0.0327
	confianza	0.0843	0.2749	0.1042			0.0793
55 a 64	Incidencia	0	0	0	0	1	1
	Probabilidad*					0.0133	0.0027
	Límites de					0.0126	0.0026
	confianza					0.0393	0.0079
Total	Incidencia	7	29	16	0	1	53
	Probabilidad*	0.0933	0.3867	0.2133		0.0133	0.1413
	Límites de	0.0275	0.2765	0.1206		0.0126	0.1061
	confianza	0.1592	0.4969	0.3060		0.0393	0.1766

*Es la probabilidad de emergencia presuponiendo una distribución binomial. Se calcula dividiendo la incidencia (número de observaciones) entre el número de granos de la muestra.

Tabla 25. Tiempos de emergencia en cinco variedades de maíz de una generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en un experimento de no-elección. Cultivo masivo de la generación F_1 en maíz

Intervalo (días)	Estadística	V a r i e d a d e s					Global
		A	B	C	D	E	
34 a 44	Incidencia	0	0	9	0	0	9
	Probabilidad*		0.1200				0.0240
	Límites de confianza		0.0465 0.1935				0.0085 0.0395
45 a 54	Incidencia	4	0	8	0	0	12
	Probabilidad*	0.0533		0.1067			0.0320
	Límites de confianza	0.0025 0.1042		0.0368 0.1765			0.0142 0.0498
55 a 64	Incidencia	0	0	0	1	0	1
	Probabilidad*				0.0133		0.0027
	Límites de confianza				0.0126 0.0393		0.0026 0.0079
Total	Incidencia	4	0	17	1	0	21
	Probabilidad*	0.0533		0.2133	0.0133		0.1413
	Límites de confianza	0.0025 0.1042		0.1319 0.3214	0.0126 0.0393		0.0327 0.0793

*Es la probabilidad de emergencia presuponiendo una distribución binomial. Se calcula dividiendo la incidencia (número de observaciones) entre el número de granos de la muestra.

Tabla 26. Tiempos de emergencia en cinco variedades de maíz de una generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en un experimento de no-elección. Cultivo masivo de la generación F_1 en trigo

Intervalo (días)	Estadística	V a r i e d a d e s					Global
		A	B	C	D	E	
34 a 44	Incidencia	0	0	0	0	0	0
	Probabilidad*						
	Límites de confianza						
45 a 54	Incidencia	0	0	1	0	1	2
	Probabilidad*			0.0133		0.0133	0.0053
	Límites de confianza			$\cong 0$ 0.0393		$\cong 0$ 0.0393	0.0020 0.0137
55 a 64	Incidencia	0	0	0	0	0	0
	Probabilidad*						
	Límites de confianza						
Total	Incidencia	0	0	1	0	1	2
	Probabilidad*			0.0133			0.0133
	Límites de confianza			0.0126 0.0393			0.0126 0.0393

* Es la probabilidad de emergencia presuponiendo una distribución binomial. Se calcula dividiendo la incidencia (número de observaciones) entre el número de granos de la muestra.

Tabla 27. Tiempos de emergencia en cinco variedades de maíz de una generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en un experimento de libre elección. Cultivo masivo de la generación F_1 en trigo

Intervalo (días)	Estadística	V a r i e d a d e s					Global
		A	B	C	D	E	
34 a 44	Incidencia	1	0	0	0	0	1
	Probabilidad*	0.0133					0.0027
	Límites de confianza	0.0126					0.0026
		0.0393					0.0079
45 a 54	Incidencia	1	1	0	0	0	2
	Probabilidad*	0.0133	0.0133				0.0053
	Límites de confianza	0.0126	0.0126				0.0020
		0.0393	0.0393				0.0127
55 a 64	Incidencia	1	1	0	0	0	2
	Probabilidad*	0.0133	0.0133				0.0053
	Límites de confianza	0.0126	0.0126				0.0020
		0.0393	0.0393				0.0127
Total	Incidencia	3	2	0	0	0	5
	Probabilidad*	0.0400	0.0267				0.0133
	Límites de confianza	0.0043	0.0098				0.0017
		0.0843	0.0631				0.0249

* Es la probabilidad de emergencia presuponiendo una distribución binomial. Se calcula dividiendo la incidencia (número de observaciones) entre el número de granos de la muestra.

Tabla 28. Tiempos de emergencia en cuatro variedades de trigo de una generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en un experimento de no-elección. Cultivo masivo de la generación F_1 en trigo

Intervalo (días)	Estadística	V a r i e d a d e s				Global
		F	G	H	I	
34 a 44	Incidencia	1	8	5	2	16
	Probabilidad*	0.0133	0.1067	0.0667	0.0267	0.0533
	Límites de confianza	0.0126	0.0368	0.0102	0.0098	0.0279
		0.0393	0.1765	0.1231	0.0631	0.0788
45 a 54	Incidencia	11	30	35	34	110
	Probabilidad*	0.1467	0.4000	0.4667	0.4533	0.3667
	Límites de confianza	0.0666	0.2891	0.3538	0.3407	0.3154
		0.2267	0.5109	0.5796	0.5660	0.4246
55 a 64	Incidencia	9	1	0	1	11
	Probabilidad*	0.1200	0.0133		0.0133	0.0367
	Límites de confianza	0.0666	0.0126		0.0126	0.0154
		0.2267	0.0393		0.0393	0.0579
Total	Incidencia	21	39	40	37	137
	Probabilidad*	0.2800	0.5200	0.5333	0.4933	0.4567
	Límites de confianza	0.1784	0.4069	0.4204	0.3802	0.4003
		0.3816	0.6331	0.6462	0.6065	0.5130

* Es la probabilidad de emergencia presuponiendo una distribución binomial. Se calcula dividiendo la incidencia (número de observaciones) entre el número de granos de la muestra.

Tabla 29. Tiempos de emergencia en cuatro variedades de trigo de una generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en un experimento de libre elección. Cultivo masivo de la generación F_1 en trigo

Intervalo (días)	Estadística	Variedades				Global
		F	G	H	F	
34 a 44	Incidencia	1	5	5	10	21
	Probabilidad*	0.0133	0.0667	0.0667	0.1333	0.0700
	Límites de confianza	0.0126	0.0102	0.0102	0.0564	0.0411
		0.0393	0.1231	0.1231	0.2103	0.0989
45 a 54	Incidencia	46	52	50	47	195
	Probabilidad*	0.6133	0.6933	0.6667	0.6267	0.6500
	Límites de confianza	0.5031	0.5890	0.5600	0.5172	0.5960
		0.7235	0.7977	0.7734	0.7361	0.7040
55 a 64	Incidencia	5	1	6	1	13
	Probabilidad*	0.0667	0.0133	0.0800	0.0133	0.0433
	Límites de confianza	0.0102	0.0126	0.0186	0.0126	0.0203
		0.1231	0.0393	0.1414	0.0393	0.0664
Total	Incidencia	49	58	61	58	226
	Probabilidad*	0.6533	0.7733	0.8133	0.7733	0.7533
	Límites de confianza	0.5456	0.6786	0.7251	0.6786	0.7046
		0.7610	0.8681	0.9015	0.8681	0.8021

* Es la probabilidad de emergencia presuponiendo una distribución binomial. Se calcula dividiendo la incidencia (número de observaciones) entre el número de granos de la muestra.

Tabla 30. Tiempos de emergencia en cuatro variedades de trigo de una generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en un experimento de no-elección. Cultivo masivo de la generación F_1 en maíz

Intervalo (días)	Estadística	Variedades				Global
		F	G	H	I	
34 a 44	Incidencia	1	6	3	1	11
	Probabilidad*	0.0133	0.0800	0.0400	0.0133	0.0367
	Límites de confianza	0.0126	0.0186	0.0043	0.0126	0.0154
		0.0393	0.1414	0.0843	0.0393	0.0579
45 a 54	Incidencia	16	11	9	10	46
	Probabilidad*	0.2133	0.1467	0.1200	0.1333	0.1533
	Límites de confianza	0.1206	0.0666	0.0465	0.0564	0.1126
		0.3060	0.2267	0.1935	0.2103	0.1941
55 a 64	Incidencia	1	1	4	2	8
	Probabilidad*	0.0133	0.0133	0.0533	0.0267	0.0267
	Límites de confianza	0.0126	0.0126	0.0025	0.0098	0.0084
		0.0393	0.0393	0.1042	0.0631	0.0449
Total	Incidencia	18	18	16	13	65
	Probabilidad*	0.2400	0.2400	0.2133	0.1733	0.2167
	Límites de confianza	0.1433	0.1433	0.1206	0.0877	0.1700
		0.3367	0.3367	0.3060	0.3590	0.2633

* Es la probabilidad de emergencia presuponiendo una distribución binomial. Se calcula dividiendo la incidencia (número de observaciones) entre el número de granos de la muestra.

Tabla 31. Tiempos de emergencia en cuatro variedades de trigo de una generación F₃ de *Sitotroga cerealella* en un experimento de libre elección. Cultivo masivo de la generación F₁ en maíz

Intervalo (días)	Estadística	V a r i e d a d e s				Global
		F	G	H	I	
34 a 44	Incidencia	0	2	0	0	2
	Probabilidad*		0.0267			0.0067
	Límites de confianza		≅0 0.0631			0.0025 0.0159
45 a 54	Incidencia	8	4	8	15	35
	Probabilidad*	0.1067	0.0533	0.1067	0.2000	0.1167
	Límites de confianza	0.0368 0.1765	0.0025 0.1042	0.0368 0.1765	0.1095 0.2905	0.0803 0.1530
55 a 64	Incidencia	11	0	11	2	24
	Probabilidad*	0.1467		0.1467	0.0267	0.0800
	Límites de confianza	0.0666 0.2267		0.0666 0.2267	≅0 0.0631	0.0493 0.1107
Total	Incidencia	19	6	19	17	61
	Probabilidad*	0.2533	0.0800	0.2533	0.2267	0.2033
	Límites de confianza	0.1549 0.3518	0.0186 0.1414	0.1549 0.3518	0.1319 0.3214	0.1578 0.2489

* Es la probabilidad de emergencia presuponiendo una distribución binomial. Se calcula dividiendo la incidencia (número de observaciones) entre el número de granos de la muestra.

En primer lugar y antes de hablar de tiempos, puede advertirse que la probabilidad de emergencia es reactivamente baja en todas las variedades de maíz y en las varias circunstancias que se muestran con relación a los modelos experimentales, y orígenes en los cultivos masivos. En el trigo, puede verse que la probabilidad de emergencia es más alta en las mismas circunstancias experimentales. Aparte de la importancia biológica que este hecho pudiera tener, y que se discute después (ver "discusión") conviene mencionarlo ahora por las dificultades que plantea para el análisis de los datos, dado el escaso número de cuentas que se producen en el maíz y que imposibilitan el uso de ciertas pruebas estadísticas. Por eso, en efecto, no se utilizó la prueba de χ^2 como en las secciones anteriores. Se ha aplicado, sin embargo, con éxito la prueba de la distribución binomial y otra no paramétrica basándose en Holander y Wolfe (1973). Por otra parte este hecho se manifiesta en que, algunas variedades de maíz y en ciertas circunstancias experimentales (variedad D en libre elección y con origen de los insectos en cultivos masivos de maíz; variedades B y E en no -elección y cultivo masivo en maíz; va-

riedades A, B y D en no-elección y cultivos masivos en trigo; y variedades C, D y E en libre elección y cultivo masivo en trigo) no muestran la emergencia de un sólo insecto durante un período de 64 días a partir del momento en que se inicia la infestación en los diversos experimentos.

Este hecho tiene las siguientes consecuencias inmediatas:

- a) Aunque se antoja improbable es, sin embargo, posible que el período de observación no fue suficiente;
- b) al parecer existe en esas variedades un factor de inhibición del crecimiento de los insectos en los períodos anteriores a la compelta maduración, de modo que se sugiere una competencia entre granos de maíz e insectos toda vez que, las variedades mencionadas de granos son un medio adecuado, en alguna medida, para el desarrollo de esos estados previos al estado adulto; y
- c) el hecho hace de por sí imposible en las condiciones experimentales de que se trata, determinar una sólo variedad como "la más resistente" entre las demás. Sin embargo, puede afirmarse que ésta es una entre aquéllas que producen "cero emergencia".

De los resultados puede inferirse que la variedad "más productiva" (entendiendo por este término aquélla con un ciclo biológico de los insectos de menor duración y a la vez que produce más adultos) es la variedad C en el modelo que simula el almacén (no-elección), cuando los insectos infestantes se originan en cultivos masivos en maíz. Las variedades B y C son estadísticamente indistinguibles, y muestran alguna ventaja aparente que las señala como los mejores candidatos para escojer "la variedad más productiva" en las condiciones de libre elección (simulación del campo) y con origen de cultivos masivos en maíz. En general y con relación al origen mencionado, es la variedad C, sin duda, la más productiva.

Con relación al trigo es muy llamativo el hecho de que las variedades muestran escasas diferencias en productividad; sus ciclos biológicos tienen duraciones similares y el número de "éxitos" (adultos emergentes) es también del mismo orden. Esto es cierto para cualquiera entre las varias condiciones de labo-

ratorio ensayadas. Sólo la variedad "H" en no-elección y la "G" en libre elección, muestran una tendencia no-significativa al generar un número menor de adultos que las otras variedades, ambas con idéntico origen de los insectos infestantes en los cultivos masivos.

Capacidad de Sitotroga cerealella para infestar y su adaptación

En la sección sobre escalas de resistencia se presentaron datos sugerentes de que *Sitotroga cerealella*, tiene una capacidad de adaptación a los granos de cereales que infesta. En la presente sección se ahonda esa cuestión.

El término de adaptación tiene al menos dos connotaciones diferentes en biología. La primera, se define como cualquier cambio que se produce en un individuo o población de individuos con respecto a ciertas condiciones novedosas que se presentan en su ambiente, las cuales redundan en un ajuste beneficioso para la supervivencia de los individuos o de la especie. La segunda, más restringida, implica un cambio hereditario y, se entiende como el fenómeno que se manifiesta porque una característica de los individuos o de las poblaciones se mantiene por selección. En lo que sigue se intenta un análisis de los datos de este trabajo para discernir los dos tipos de adaptación en lo referente a la infestación en el trigo y en el maíz por *Sitotroga cerealella*.

Adaptación al modelo experimental. Para el estudio de este problema, ha resultado conveniente calcular la χ^2 en tablas de contingencia de 2 x 2, a modo de comparar, por una parte, la clasificación de los elementos de infestación en ataque y daño y, por la otra, la clasificación de los mismos elementos según el modelo en que se observaron, libre elección y no-elección. La Tabla 32 se refiere a los efectos en el maíz y la Tabla 33 a los efectos en el trigo. Tanto en el caso de maíz como del trigo, la hipótesis nula de independencia se rechaza a un nivel de significación estadística que garantiza la conclusión de que la relación ataque-daño, varía como una función del modelo experimental que se utiliza al medir estas cantidades.

Tabla 32. Relación del tipo de modelo experimental con el tipo de efecto que causa *Sitotroga cerealella* en el maíz

Modelo experimental	Efectos		Total
	Ataque	Daño	
Libre elección	596 > (550.88)	187 < (232.11)	783
no-elección	294 < (339.11)	188 > (142.88)	482
Total	890	375	1,265

$$\chi_b^2 = 32.71; P < 0.01.$$

Tabla 33. Relación del tipo de modelo experimental con el tipo de efecto que causa *Sitotroga cerealella* en el trigo

Modelo experimental	Efectos		Total
	Ataque	Daño	
Libre elección	58 < (71.8)	185 > (171.82)	243
no-elección	116 > (102.82)	235 < (248.18)	351
Total	174	420	594

$$\chi_b^2 = 5.8425; 0.02 < P < 0.01.$$

Esto quiere decir, en términos biológicos, que el daño producido en proporción al ataque efectuado (oviposición y asentamientos) no es una constante, sino que varía en relación con el microsistema. Un factor que pudiera tener importancia para explicar las diferencias es la disposición extendida de los granos en el modelo de libre elección y encimados en el modelo de no-elección.

Sin embargo, cuando se comparan las desviaciones de los números observados con respecto a los esperados en las Tablas 32 y 33 se ve que los efectos en el maíz y en el trigo son contrarios. Es decir, en los experimentos de libre elección *Sitotroga cerealella* ataca más, se posa y oviposita más en los granos de maíz, aunque producen menos daño en la circunstancia de no-elección, mientras que

en el trigo la situación es inversa.

Es indudable que *Sitotroga cerealella* tiene un comportamiento adaptativo de su proceso reproductivo que se manifiesta en respuesta a los granos que se le ofrecen para efectuar su reproducción. Sin embargo, el posible significado de tal comportamiento con respecto a un supuesto beneficio que para la especie pudieran representar los cambios referidos, es oscuro y, en efecto, no se puede discernir con los datos presentados. Al parecer la situación con respecto a la heterogeneidad y homogeneidad de los granos que se ofrecen como medio para efectuar la reproducción de los insectos, como es el caso en los experimentos de libre elección y no-elección, incita a los insectos a ovipositar en mayor o menor cantidad, en previsión de condiciones futuras de beneficio o perjuicio para la prole pero no se entiende porqué el maíz y el trigo plantean en ese sentido condiciones contrarias; y no queda claro tampoco, porqué el daño, que es consecuencia directa de la oviposición, resulta aumentado en una especie y reducido en la otra precisamente cuando se mide con respecto a la cantidad de huevecillos depositados como es el caso de las tablas de contingencia presentadas.

Estos son sin duda problemas que habría que elucidar en investigaciones futuras. Pero los resultados presentados apuntan definitivamente a las finas adaptaciones que experimenta *Sitotroga cerealella* en los microambientes experimentales y, permiten anticipar que en las condiciones reales del campo o del almacén han de verificarse cambios adaptativos del mismo tipo, aunque tal vez más complejos.

Adaptaciones heredadas. Los datos del presente trabajo permiten analizar ciertos aspectos de las adaptaciones heredadas en *Sitotroga cerealella* que se producen por selección. Para ese fin se comparan en esta sección los resultados que se observaron en la infestación de los granos por una generación F_2 de insectos que proceden de una generación F_1 cultivada alternativamente en maíz o en trigo.

En primer lugar la Tabla 34 muestra que la cantidad de oviposición de

la generación F_2 en maíz es mayor cuando los insectos de la generación F_1 se han cultivado en maíz, que cuando se han cultivado en trigo y que, éste acontece tanto en el modelo de libre elección como de no-elección. En la Tabla 35 se muestran los resultados del experimento paralelo sobre oviposición en el trigo, mostrando que hay mayor oviposición en los que proceden de la generación F_1 cultivada en maíz, y que esta diferencia también es significativa.

En la Tabla 36 se muestran las comparaciones sobre la emergencia de adultos en el maíz de una generación F_3 cuando alternativamente los insectos de la generación F_1 se habían cultivado en maíz o trigo. Los resultados de esta tabla son significativos. Los adultos emergentes en el maíz son en mayor número que los adultos emergentes en el trigo. En la Tabla 37 del experimento paralelo, se muestra asimismo una diferencia estadísticamente significativa $\chi_b^2 = 346.5666$ $P < 0.001$; los adultos emergentes de la generación F_3 procedentes de una generación F_1 cultivada en trigo, son mucho más que los procedentes de F_1 cultivados en maíz.

Tabla 34. Diferencias en oviposición de la generación F_2 de *Sitotroga cerealella* en el maíz dependiendo de su origen en la generación F_1 en cultivos masivos distintos

Modelo experimental	Origen de la generación F_1		Total
	F_1 en cultivo masivo de maíz	F_1 en cultivo masivo de trigo	
Libre elección	596 > (460)	324 < (460.0)	920
no-elección	294 > (242.5)	191 < (242.5)	485

$\chi_b^2 = 102.2871; P < 0.001.$

Tabla 35. Diferencias en oviposición de la generación F_2 de *Sitotroga cerealella* en el trigo dependiendo de su origen en la generación F_1 en cultivos masivos distintos

Modelo experimental	Origen de la generación F_1		Total
	F_1 en cultivo masivo de maíz	F_1 en cultivo masivo en trigo	
Libre elección	58 < (115.5)	173 > (115.5)	231
no-elección	116 < (123.5)	131 > (123.5)	247

$$\chi_b^2 = 58.16; P < 0.01.$$

Tabla 36. Adultos emergentes de la generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en el maíz, dependiendo de su origen en la generación F_1

Modelo experimental	F_1 en cultivo masivo en maíz	F_1 en cultivo masivo en trigo	Total
Libre elección	22 > (13.5)	5 < (13.5)	27
no-elección	53 > (27.5)	2 < (27.5)	55

$$\chi_b^2 = 57.99; P < 0.01.$$

Tabla 37. Adultos emergentes de la generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en el trigo, dependiendo de su origen en la generación F_1

Modelo experimental	F_1 en cultivo masivo en maíz	F_1 en cultivo masivo en trigo	Total
Libre elección	61 < (145)	229 > (145)	290
no-elección	65 < (101)	137 > (101)	202

$$\chi_b^2 = 122.99; P < 0.001.$$

Los datos anteriores pudieran ser base suficiente para afirmar que los insectos sufren un cambio hereditario en su función de oviposición por el hecho de desarrollarse en una especie de granos a la cual se adaptan. El fenómeno de adaptación se manifiesta a ovipositar en mayor cantidad precisamente en la

especie de granos a los cuales están adaptados.

Pero a fin de profundizar en este punto se construyó la Tabla 38 que es una tabla de contingencia. En esta Tabla se mide el número de insectos emergentes de la generación F_3 clasificados con respecto al medio de desarrollo (maíz o trigo) de la generación F_1 , por una parte, y de la generación F_2 por la otra. Se rechaza la hipótesis nula de independencía ($\chi_b^2 = 133.95; P < 0.01$) y así se corrobora mediante este análisis la adaptación de los insectos al medio donde se desarrollan. Las proporciones de los adultos emergentes de la generación F_3 en el maíz aumenta cuando los insectos proceden de una generación F_1 del maíz. Y recíprocamente, las proporciones de adultos emergentes de la generación F_3 son en favor de aquellos insectos que en la generación F_1 se cultivaron en el trigo, comparando con aquéllos que se cultivaron en el maíz.

Tabla 38. Adultos emergentes de la generación F_3 de *Sitotroga cerealella* clasificados con respecto al medio de desarrollo de la generación F_1 y de la generación F_2

Cultivos masivos	F_3 en maíz	F_3 en trigo	Total
F_1 en maíz	75 > (28.71)	126 < (172.29)	201
F_1 en trigo	7 > (53.29)	366 > (319.71)	373
Total	82	492	574

$\chi_b^2 = 133.95; P < 0.01.$

Mención aparte, por su importancia, merecen los efectos adaptativos del ciclo biológico de los insectos. Para medir estos efectos es conveniente expresar los resultados como la probabilidad de emergencia en tres intervalos del ciclo en cada una de las condiciones experimentales, pero ordenando los datos de modo que se haga aparente el efecto de un sólo factor en cada tabla. Así cada una de las tablas 39, 40, 41 y 42 se refieren a la probabilidad de emergencia de

la generación F_3 de insectos en tres intervalos en que arbitrariamente se ha dividido el ciclo biológico. En la Tabla 39 se muestra el efecto de cultivar los insectos de la generación F_2 en maíz; en la Tabla 40, el efecto de cultivar los insectos de la generación F_2 en trigo; tabla 41 y en la Tabla 42, el efecto de cultivar los insectos de la generación F_1 en trigo. Estos efectos se infieren en cada tabla al comparar entre sí las hileras de datos que corresponden a cada intervalo del ciclo biológico del insecto. Se determina, en qué hilera la probabilidad de emergencia es mayor haciendo caso omiso de las condiciones experimentales a que se refiere cada columna y, entonces se asigna un rango a cada hilera: el rango 1 se asigna al intervalo (hilera) que rinde las probabilidades "bajas"; el rango 2 al intervalo que rinde las probabilidades "altas". Para indagar la significación estadística de estos datos se utilizaron de modo independiente, dos pruebas no-paramétricas. La primera es la prueba de Jockheere (Hollander y Wolfe, 1973) la cual es una prueba de la hipótesis de que las 3 muestras (una de cada intervalo, hilera) son de la misma población (es decir, que no muestran diferencias significativas) contra la alternativa que $\tau_1 \leq \tau_2 \leq \tau_3$ donde cada τ_i es un intervalo cualesquiera y de modo que, al menos una de las desigualdades es estricta. La segunda prueba de Wilcoxon (Hollander y Wolfe, 1973) se utilizó para determinar cuál, o cuáles, son las desigualdades estrictas. En caso de que una sólo sea la desigualdad estricta, necesariamente hay un empate. Tal situación se expresa en las tablas promediando los rangos que corresponden a las hileras empatadas; así en lugar de (1,2) aparece (1.5, 1.5), etc. De haber empate entre todos los intervalos el hecho se expresa como (2,2,2).

Tabla 39. Probabilidades de emergencia de adultos de la generación F_3 en tres intervalos. Efecto de cultivo de la generación F_2 en maíz

Intervalo (días)	Libre elección F_1 en maíz	No-elección F_1 en maíz	Libre elección F_1 en trigo	No-elección F_1 en trigo	Rango de magnitudes	Probabilidad de error
34 a 44	0.0827	0.0240	0.0027	0	3	0.0632
45 a 54	0.0560	0.0320	0.0053	0.0053	1.5	
55 a 64	0.0027	0.0027	0.0079	0	1.5	

Datos tomados del "global" de las Tablas 24, 25, 26 y 27.

Tabla 40. Probabilidades de emergencia de adultos de la generación F_3 en tres intervalos en el maíz y en el trigo. Efecto de cultivo de la generación F_1 en maíz

Intervalo (días)	Libre elección F_3 en maíz	No-elección F_3 en maíz	Libre elección F_3 en trigo	No-elección F_3 en trigo	Rango de magnitudes	Probabilidad de error
34 a 44	0.0827	0.0240	0.0067	0.0367	3	0.0632
45 a 54	0.0560	0.0820	0.1167	0.1563	1.5	
55 a 64	0.0027	0.0027	0.0800	0.0267	1.5	

Datos tomados del "global" de las Tablas 24, 25, 30 y 31.

Tabla 41. Probabilidades de emergencia de adultos de la generación F_3 en tres intervalos en el maíz y en el trigo. Efecto de cultivo de la generación F_1 en trigo

Intervalo (días)	Libre elección F_3 en maíz	No-elección F_3 en maíz	Libre elección F_3 en trigo	No-elección F_3 en trigo	Rango de magnitudes	Probabilidad de error
34 a 44	0.0027	0	0.0700	0.0533	2	0.756
45 a 54	0.0053	0.0053	0.6500	0.3900	2	
55 a 64	0.0053	0	0.0433	0.0367	2	

Datos tomados del "global" de las Tablas 26, 27, 28 y 29.

Tabla 42. Probabilidades de emergencia de adultos de la generación F_3 en tres intervalos. Efecto de cultivo de la generación F_2 en trigo

Intervalo (días)	Libre elección F_1 en maíz	No-elección F_1 en maíz	Libre elección F_1 en trigo	No-elección F_1 en trigo	Rango de magnitudes	Probabilidad de error
34 a 44	0.0067	0.0367	0.0700	0.0533	3	0.0062
45 a 54	0.1167	0.1533	0.6500	0.3900	1	
55 a 64	0.0800	0.0267	0.0433	0.0667	2	

Datos tomados del "global" de las Tablas 28, 29, 30 y 31.

Los resultados de las tablas 39, 40, 41 y 42 se resumen en la Tabla 43 de donde se infiere que: (a) el ciclo biológico de *Sitotroga cerealella* de la generación F_2 es más largo en el trigo que en el maíz; (b) el hecho de cultivar a la generación F_1 en el maíz influye en la generación F_2 , de modo que el ciclo que resulta de ésta última, tiende a ser corto; (c) el hecho de cultivar a la generación F_1 en trigo influye en la generación F_2 , de modo que el ciclo en ésta última tiende a manifestarse disperso en todos los intervalos.

Tabla 43. Comparación de las probabilidades de emergencia de la generación F_3 de insectos; factores que influyen

Intervalo (días)	F_2 en maíz	F_2 en trigo	F_1 en maíz	F_1 en trigo
34 a 44	3	1.5	3	2
45 a 54	1.5	1.5	1.5	2
55 a 64	1.5	3	1.5	2

Los números que aparecen en el cuerpo de la Tabla son "rangos". Los números más bajos indican menor probabilidad de emergencia según se ha calculado en las Tablas anteriores: 39, 40, 41 y 42.

Interacción entre los dos tipos de adaptación. En las Tablas 36 y 37 se mostró la adaptación (no hereditaria) que experimenta *Sitotroga cerealella* al modelo experimental y en la sección que sigue en las Tablas 37 y 38 se ve la adaptación hereditaria de *Sitotroga cerealella* al medio de desarrollo de los insectos, maíz o trigo. Ahora se muestra, como es de esperar, que estos dos tipos de adaptación interaccionan, lo cual se muestra en las Tablas 44 y 47, que son tablas de contingencia.

Tabla 44. Adultos emergentes de la generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en el maíz como una función del origen de la generación F_1 y del modelo experimental aplicado a la generación F_2

Modelo experimental	Origen de la generación F_2		Total
	F_1 en cultivo masivo en maíz	F_1 en cultivo masivo en trigo	
Libre elección	22 < (24.69)	5 > (2.30)	27
No-elección	53 > (50.30)	2 < (4.70)	55
Total	75	7	82

$$\chi_b^2 = 5.13; 0.02 < P < 0.05.$$

Tabla 45. Probabilidad de emergencia de adultos en tres intervalos tomados conjuntamente de los cultivos masivos en maíz y en trigo en los experimentos de libre elección

Intervalo (días)	F_1 (maíz) F_3 (maíz)	F_1 (maíz) F_3 (trigo)	F_1 (trigo) F_3 (maíz)	F_1 (trigo) F_3 (trigo)	Rango de magnitudes	Probabilidad de error
34 a 44	0.0827	0.0067	0.0027	0.0700	2	0.1756
45 a 54	0.0560	0.1167	0.0053	0.6500	2	0.1059
55 a 64	0.0027	0.0800	0.0053	0.0433	2	

Datos tomados del "global" de las Tablas 24, 27, 29 y 31.

Tabla 46. Probabilidad de emergencia de adultos en tres intervalos tomados conjuntamente de los cultivos masivos en maíz y en trigo en experimentos de no-elección

Intervalo (días)	F_1 (maíz) F_3 (maíz)	F_1 (maíz) F_3 (trigo)	F_1 (trigo) F_3 (maíz)	F_1 (trigo) F_3 (trigo)	Rango de magnitudes	Probabilidad de error
34 a 44	0.0240	0.0067	0.0027	0.0700	2	0.1756
45 a 54	0.0320	0.1167	0.0053	0.6500	2	
55 a 64	0.0027	0.0800	0.0053	0.0433	2	

Datos tomados del "global" de las Tablas 25, 27, 29 y 31.

Tabla 47. Adultos emergentes de la generación F_3 de *Sitotroga cerealella* en el trigo como una función del origen de la generación F_1 y del modelo experimental aplicado a la generación F_2

Modelo experimental	Origen de la generación F_2		Total
	F_1 en cultivo masivo en maíz	F_1 en cultivo masivo en trigo	
Libre elección	61 < (74.27)	229 > (215.73)	290
No-elección	65 > (57.73)	137 < (150.27)	202
Total	126	366	492

$$\chi_b^2 = 7.76; 0.01 < P < 0.02.$$

La interacción entre estos dos modelos de adaptación, no se manifiesta, sin embargo, en las medidas de tiempo de emergencia. Las Tablas 45 y 46 muestran las probabilidades de emergencia de los insectos en un ordenamiento adecuado, para mostrar respectivamente el efecto de los modelos de libre elección y no elección (véase para el método estadístico que se siguen en estas tablas, los análisis en la sección anterior: Tablas 39, 40, 41 y 42). Los resultados de la estadística de Jonckheere y de Wilcoxon aplicadas en las Tablas 45 y 46, indican aceptar la hipótesis de que no hay efecto de ninguno de los modelos experimentales sobre la probabilidad de emergencia de los insectos y de la generación F_3 . Es decir, indican que el tipo de modelo experimental utilizado no influye en la expresión fenotípica del ciclo de desarrollo del insecto.

Relación entre oviposición y adultos emergentes. En vista de la función adaptativa que en general en biología, se concede a la oviposición como un factor determinante de la magnitud de las poblaciones de adultos, en las siguientes tablas de contingencia (Tabla 48 y 49) se presentan las proporciones entre oviposición de la generación F_2 y adultos emergentes de la generación F_3 , comparadas con las proporciones de cada una de esas mismas cantidades (oviposiciones y adultos emergentes) cuando se ofreció a los insectos de la generación F_2 alternativamente maíz o trigo como medio de desarrollo.

En primer lugar puede verse que en ambas tablas se rechaza la hipótesis nula de independencia (Tabla 48 para cultivos masivos en maíz; $\chi_b^2 = 200.62$, $P < 0.01$; Tabla 49 para cultivos masivos en trigo $\chi_b^2 = 670.10$, $P < 0.01$) indicando que, en efecto, el cereal que se utilizó como medio de cultivo masivo influye en las proporciones de oviposición de la generación F_1 con respecto a adultos emergentes en la generación F_3 , dependiendo del medio de cultivo que se ofrece a la generación F_2 . Resulta sorprendente, sin embargo, que los efectos no son recíprocos, sino que, en ambas tablas, se conserva una proporción aproximadamente igual de las cantidades de oviposición con respecto al número de adultos emergentes. Además la proporción de oviposición con respecto al número de adultos es mayor en el maíz que en el trigo, pero el número de adultos que emergen es menor en el maíz que en el trigo (Tabla 49b). Tal parece que la presencia del maíz induce a los insectos a una mayor oviposición, a pesar de cualquier adaptación genética impuesta en la generación anterior.

El fenómeno de aumento de oviposición con respecto a la emergencia de adultos en él, pudiera interpretarse como un intento, por parte de la especie, de superar ciertas condiciones adversas que este grano de cereal ofrece a *Sitotroga cerealella* comparado con condiciones relativamente favorables que ofrece el trigo y que, estas condiciones adversas del maíz y favorables del trigo, prevalecen a pesar del origen de los insectos de la generación F_1 en un cultivo masivo de maíz o de trigo. Los resultados en este sentido sugieren que *Sitotroga cerealella* tiene una mejor adaptación al trigo que al maíz. Los resultados inducen a pensar que

Tabla 48. Relación de las especies de granos que se ofrecen, maíz o trigo, a una generación F_2 de *Sitotroga cerealella*, con dos tipos de efectos, oviposición y emergencia de adultos, cuando F_1 procede de un cultivo masivo en maíz

Efectos	Especies de granos que se ofrecen a F_2		Total
	maíz	trigo	
Oviposición	890 > (811.66)	174 < (252.33)	1064
Adultos emergentes	75 < (153.33)	126 > (47.67)	201
Total	965	300	1265

$\chi_b^2 = 200.62; P < 0.01.$

Tabla 49. Relación de las especies de granos que se ofrecen, maíz o trigo, a una generación F_2 de *Sitotroga cerealella*, con dos tipos de efectos, oviposición y emergencia de adultos, cuando F_1 procede de un cultivo masivo en trigo

Efectos	Especies de granos que se ofrecen a F_2		Total
	maíz	trigo	
Oviposición	1405 > (1139.61)	478 < (743.39)	1883
Adultos emergentes	82 < (347.39)	492 > (226.61)	574
Total	1487	970	2457

Se rechaza la hipótesis nula de independencia: $\chi_b^2 = 670.10; P < 0.001.$

Tabla 49b. Proporciones de oviposición/adultos emergentes

Cultivos masivos de F_1	Granos que se ofrecen a F_2	
	maíz	trigo
maíz	$\frac{890}{75} = 11.86 (12.25)$	$\frac{174}{126} = 1.38 (0.99)$
trigo	$\frac{1405}{82} = 17.13 (16.74)$	$\frac{478}{492} = 0.97 (1.35)$

De los datos combinados de las Tablas 48 y 49. $\chi^2 = 0.282; 0.8 < P < 0.9.$ Se acepta la hipótesis de independencia entre las dos clasificaciones.

es la mayor dureza del maíz la causa de este fenómeno, pero ésta sería una conclusión que habría que probar con experimentos directos.

Relación entre ciertas propiedades físicas y químicas de los granos y su resistencia a la infestación. El estudio de las propiedades físicas y químicas de los granos tiene importancia desde al menos tres puntos de vista. Primero interesa su capacidad nutritiva; es decir, su contenido de hidratos de carbono, grasas, aminoácidos y constituyentes de las proteínas; por ejemplo, es muy importante conocer su contenido en los llamados aminoácidos esenciales. Segundo, es de interés práctico poder conocer las propiedades físicas o químicas que hacen posible, o económicamente viable, su utilidad como materia prima para elaborar productos alimenticios como son el pan y la tortilla, y conocer, por ejemplo, los costos de la molienda para la elaboración de las harinas. Y en tercer lugar hay que considerar las propiedades físicas y químicas como factores que propician o se oponen a la infestación. Es precisamente este último punto, el que tiene mayor interés en el contexto de este trabajo, aunque tal vez no sea el más importante al considerar, en general, el problema de la nutrición humana.

Se trata, pues, de ver qué propiedades físicas pudieran intervenir en la susceptibilidad (o la resistencia) en el proceso de infestación. El conocimiento de este asunto tiene una proyección teórica por cuanto que es un modo de indagar el proceso y mecanismos de la infestación y tiene, asimismo, una proyección práctica, por cuanto permite o pudiera permitir, hacer alguna predicción con respecto a la viabilidad de determinadas variedades de granos en su cultivo y almacenamiento.

Algunas propiedades físicas y químicas de las variedades estudiadas. En las Tablas 50 y 51 se presentan algunas de las propiedades físicas, respectivamente de los granos de maíz estudiadas en este trabajo. Para el maíz se dan los datos de dureza, color, rugosidad y estructura. Para el trigo, la dureza, el color, la rugosidad y tipo de gluten. En la literatura suelen encontrarse los datos de dureza y estructura como fundamentales en los estudios de los granos y cereales.

En este trabajo ha parecido importante incluir los datos de color y rugosidad como factores que pudieran tener importancia en el ataque, principalmente en la oviposición.

Tabla 50. Propiedades físicas de los granos del maíz

Variedades	Dureza	Color	Rugosidad	Estructura
A, mezcla amarilla	31.75 (4)	amarillo	(4)	semicristalino
B, amarillo dentado	35.75 (1)	amarillo	(5)	dentado
C, mezcla tropical B.	35.00 (1)	blanco	(3)	semidentado
D, blanco subtropical	33.00 (3)	blanco	(1)	cristalino
E, amarillo cristalino	31.00 (5)	amarillo	(2)	cristalino

Datos proporcionados por el Dr. Esteban Betanzos del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

Tabla 51. Propiedades físicas de los granos del trigo

Variedades	Dureza	Color	Rugosidad	Estructura
F, Pima	63 (1)	Rojo	(4)	Débil
G, Sonora	55 (2)	Rojo	(2)	Medio fuerte
H, Super X	48.5 (4)	Blanco	(1)	Medio fuerte
I; Inia	45 (3)	Rojo o café	(3)	Fuerte

Datos proporcionados por el Dr. Federico Costilla del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

Ciertas observaciones preliminares, indicaron que los huevecillos se depositaban, aprovechando pequeñas cavidades de los granos, por lo que se había supuesto que los granos más rugosos, podrían mostrarse más propicios para la puesta de los huevecillos y la penetración de las larvas. El color, por otra parte, pudiera suponerse como un factor importante en las primeras etapas del desa-

rollo, debido a la importancia hipotética que podría atribuirse a la luz reflejada como un factor en el desarrollo de los huevecillos, o por la atracción misma que pudiera ofrecer en los adultos.

Las propiedades químicas en los granos de maíz se presentan en la Tabla 52, y las correspondientes del trigo en la Tabla 53.

Tabla 52. Propiedades químicas de los granos de maíz

Variedades	Proteína °/o		Contenido de Tryptófano °/o		Contenido de Lisina °/o	
	Endospermo	Grano completo	Endospermo	Grano completo	Endospermo	Grano completo
	A, mezcla amarilla	10.1	11.3	0.0395	0.075	0.0222	0.280
B, amarillo dentado	10.3	11.35	0.0400	0.0725	0.1900	0.267
C, mezcla tropical	10.8	11.5	0.0370	0.069	0.186	0.251
D, blanco subtropical	10.6	11.8	0.0415	0.076	0.1955	0.276
E, amarillo cristalino	11.1	11.30	0.0395	0.0685	0.1970	0.274

Datos proporcionados por el Dr. Esteban Betanzos del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

Tabla 53. Propiedades químicas de los granos de trigo

Variedades	Proteína °/o	Contenido de lisina °/o
F, Pima	14.4	0.461
G, Sonora	14.4	0.441
H, Super	14.9	0.461
I, Inia	12.2	0.510

Datos proporcionados por el Dr. Esteban Betanzos del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

Correlaciones entre las propiedades físicas y la infestación. Por comparación de las propiedades físicas de los granos (Tabla 50 y 51) y las características de susceptibilidad a la infestación (tabla 23) no es posible establecer alguna correlación segura, así que esta idea se estudió directamente mediante el análisis que se presenta en la Tabla 54.

Tabla 54. Determinación del efecto de la dureza en el daño de los granos de maíz en un experimento de libre elección. Cultivo masivo de la generación F_1 en maíz

Cr iterios de infestación	Variedades duras (A+E)	Variedades blandas (B+C+D)	T o t a l
Orificios de entrada	17 (18.49)	74 (72.51)	91
Orificios de emergencia, adultos emergentes y no-emergentes	3 (7.92)	36 (31.07)	39
Galerías	6 (5.28)	20 (20.72)	26
Larvas, pupas y puparios	12 (6.30)	19 (24.70)	31
T o t a l	38	149	187

$$\chi_b^2 = 10.002; 0.01 < P < 0.02.$$

Esta es una tabla de contingencia de 2 x 4, donde se compara por una parte, la clasificación del daño producido de conformidad con las variedades estudiadas, divididas en variedades blandas y duras y, por otra, la clasificación del daño según los criterios de orificios de entrada, orificios de emergencia, etc. Los datos se refieren a un experimento de libre elección en maíz, cuando el cultivo masivo de la generación F_1 de insectos se efectuó en maíz. En esta Tabla, en efecto, puede comprobarse que las dos clasificaciones mencionadas no son independientes ($\chi_b^2 = 10.00; 0.01 < P < 0.02$), indicando que la dureza es un factor importante en la resistencia a la infestación; en particular es un factor importante en la resistencia al daño causado por la infestación.

De manera similar la Tabla 55 muestra que la rugosidad es un factor

significativo de resistencia al ataque de los granos de maíz, en un experimento de libre elección, cuando el cultivo masivo de los insectos se efectuó en maíz.

Tabla 55. Determinación del efecto de la rugosidad en el ataque de los granos de maíz en un experimento de libre elección. Cultivo masivo de la generación F₁ en maíz

Cr iterios de infestación	Variedades lisas (D+E)	Variedades rugosidad (C+ A+B)	T o t a l
Oviposición	391 (372.18)	225 (233.82)	596
Asentamientos	68 (62.82)	39 (40.18)	107
T o t a l	439	264	703

$$\chi_b^2 = 0.0657; 0.95 < P < 0.98.$$

El argumento anterior indica, que al menos dos propiedades, la dureza y la rugosidad intervienen como factores de consideración en la infestación de los granos, pero al mismo tiempo sugiere, que otras propiedades pudieran tener importancia en grado variable y que es un conjunto complejo de características, el que en definitiva determina la resistencia o susceptibilidad global de las semillas a la infestación por *Sitotroga cerealella*.

A fin de estudiar esta posibilidad se decidió analizar la ingerencia de otras propiedades. En el análisis se supone que dada una propiedad cualquiera, como *P*, que se encuentra en todas las variedades de granos, aunque en magnitud variable, se puede asegurar o proponer su ingerencia en la infestación al comparar un grupo de variedades caracterizadas porque *P* se encuentra en magnitudes relativamente grandes, con otro grupo en que *P* se encuentra en magnitudes relativamente pequeñas. O dicho de otra manera, puede proponerse que existe una propiedad *P* que es importante en la infestación, toda vez que se demuestre una dependencia entre las magnitudes de infestación, medidas según diversos criterios y la clasificación de las variedades en dos grupos constituidos arbitrariamente. La naturaleza física o química real de la propiedad pudiera quedar indefinida

al aplicar este análisis, pero pudiera constituirse en el motivo de una indagación especial. Supóngase dos grupos cualesquiera, a y b, de variedades de granos, los cuales muestran diferencias en sus propiedades a la infestación de modo que el grupo "a" es más resistente que el grupo "b", entonces el cometido es buscar una propiedad física o química cuyas magnitudes permiten formar dos grupos que coinciden en ser idénticos a los grupos a y b. A modo de ejemplo supóngase que contamos con cuatro variedades de trigo que con F, G, H e I, y que el estudio de resistencia muestra, en determinadas condiciones de laboratorio, que las variedades F y G (grupo a) son las más resistentes a la infestación, mientras que las variedades H e I (grupo b) son menos resistentes. Habría entonces que buscar que propiedad física o química que muestra mayor magnitud en F y G (grupo a), pues tal propiedad física o química pudiera tener importancia en la resistencia a la infestación.

Las tabla 56 y 57 muestran el análisis que se hizo para descubrir propiedades hipotéticas utilizando los diversos modelos y condiciones experimentales que con motivo de este trabajo para el conteo de la infestación. Las variedades se dividieron en pares de grupos, de conformidad con las combinaciones que son posibles para cinco variedades de maíz y cuatro de trigo.

Tabla 56. Determinación de propiedades hipotéticas de los granos de trigo que influyen en la infestación

Comparaciones	Estadística	Claves*					
		MTLD	MTND	MTLA	MTNA	TTLA*	TTNA*
(F + G), (H + I)	χ^2	2.119	3.1529	0.00152	1.6897	0.0068	0.1832
	P	0.8 < P < 0.7	0.8 < P < 0.7	0.95 < P < 0.01	0.2 < P < 0.1	0.95 < P < 0.9	0.7 < P < 0.5
(F + H), (G + I)	χ^2	2.6616	14.0902	0.1022	4.9655	0.0291	0.0623
	P	0.7 < P < 0.05	0.02 < P < 0.01	0.8 < P < 0.7	0.05 < P < 0.02	0.9 < P < 0.8	0.8 < P < 0.7
(G + H), (F + I)	χ^2	1.0209	7.6766	0.8469	1.6897	0.0249	33.8028
	P	0.95 < P < 0.90	0.3 < P < 0.2	0.5 < P < 0.3	0.2 < P < 0.1	0.9 < P < 0.8	P < 0.001

* Para las claves ver Tabla 23.

• Significa que se aplicó χ_a^2 ; debido a que se contaba con una sola hilera de datos (ovoposición), en las otras se aplicó χ_b^2 derivadas de tablas de contingencia.

A las comparaciones se les aplicó una prueba de χ_b^2 . Cada una de las comparaciones, que resultaron significativas señalan de por sí la existencia de al menos una propiedad física o química que es importante en la resistencia de infestación.

Tabla 57. Determinación de propiedades hipotéticas de los granos de maíz que influyen en la infestación

Comparaciones	Estadística	Claves ⁺					
		MMNA*	MMLA	TMNA*	TMLA	MMLD	MMND
(A+B), (C+D+E)	χ^2 P	1.9183 0.2 < P < 0.01	5.3076 0.05 < P < 0.02	28.0267 P < 0.001	21.0267 P < 0.001	30.4452 P < 0.001	2.8617 0.7 < P < 0.5
(A+C), (B+D+E)	χ^2 P	1.0559 0.5 < P < 0.3	2.8703 0.1 < P < 0.05	25.1518 P < 0.001	2.2115 0.2 < P < 0.1	39.1338 P < 0.001	5.0630 0.3 < P < 0.2
(A+D), (B+C+D)	χ^2 P	18.7562 P < 0.001	0.9082 0.8 < P < 0.7	2.8351 0.1 < P < 0.05	0.5662 0.5 < P < 0.3	0.0193 P < 0.99	28.5770 P < 0.001
(A+E), (B+C+D)	χ^2 P	42.4229 P < 0.001	1.1386 0.3 < P < 0.2	4.3089 0.05 < P < 0.02	0.1582 0.7 < P < 0.5	8.3082 0.1 < P < 0.05	35.7000 P < 0.001
(B+C), (A+D+E)	χ^2 P	4.8204 0.05 < P < 0.02	0.0843 0.8 < P < 0.7	8.3805 0.01 < P < 0.001	1.6508 0.2 < P < 0.1	6.3023 0.2 < P < 0.1	31.0874 P < 0.001
(B+D), (A+C+E)	χ^2 P	26.8034 P < 0.001	4.4605 0.05 < P < 0.02	92.5768 P < 0.001	3.9552 0.05 < P < 0.01	30.2200 P < 0.001	13.5004 0.01 < P < 0.001
(C+D), (A+B+E)	χ^2 P	30.6366 P < 0.001	0.4618 0.05 < P < 0.02	21.5087 P < 0.001	17.8558 P < 0.001	41.3351 P < 0.001	1.4799 0.9 < P < 0.8
(C+E), (A+B+D)	χ^2 P	8.6146 0.01 < P < 0.001	0.4373 0.7 < P < 0.05	0.4223 0.7 < P < 0.05	11.2311 P < 0.001	28.7622 P < 0.001	0.9086 0.95 < P < 0.9
(B+E), (A+C+D)	χ^2 P	10.8429 P < 0.001	2.3272 0.2 < P < 0.1	2.7696 0.1 < P < 0.05	10.2961 0.01 < P < 0.001	40.7376 P < 0.001	14.8467 0.01 < P < 0.001
(D+E), (A+B+C)	χ^2 P	0.0051 0.95 < P < 0.9	0.2 < P < 0.1	41.0899 P < 0.001	5.7796 0.02 < P < 0.01	12.6000 0.02 < P < 0.01	31.8457 P < 0.001

⁺ Para las claves ver Tabla 23.

* Significa que se aplicó χ^2_a ; debido a que se contaba con una sola hilera de datos (oviposición), en las otras se aplicó χ^2_b derivada de contingencia.

Entre las propiedades físicas consideradas en este trabajo se puede ver (Tablas 58 y 59) que en el caso de los granos de maíz todas tienen una cierta importancia. Por lo que a la dureza respecta resulta intrigante que sólo se destaca su efecto, en los experimentos de no-elección e igual resultado se obtuvo

con respecto a la estructura. Los experimentos no permiten asegurar la inge-
 rancia de la rugosidad, en el ataque, aunque se muestra una cierta tendencia en
 ese sentido.

Tabla 58. Significación de las propiedades físicas en la resistencia
 de los granos de maíz

Propiedades	Tipos de experimento (claves ⁺)					
	MMNA	MMLA	TMNA	TMLA	MMLD	MMND
Dureza	✓		✓	✓	✓	✓
Color	✓	✓	✓	✓	✓	
Rugosidad	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Estructura	✓		✓			✓

⁺ Las claves son como en la Tabla 23.
 El símbolo ✓ quiere decir que se encuentra una significación estadística tal que $P < 0.05$
 según se muestra en la Tabla 57.

Tabla 59. Significación de las propiedades físicas en la resistencia
 de los granos de trigo

Propiedades	Tipos de experimento (claves ⁺)					
	MTLD	MTND	MTLA	MTNA	TTLA	TTNA
Dureza						
Color		✓		✓		
Rugosidad						✓
Estructura						

⁺ Las claves son como en la Tabla 23.
 El símbolo ✓ quiere decir que se encuentra una significación estadística tal que $P < 0.05$
 según se muestra en la Tabla 56.

Por lo que respecta al trigo es sorprendente la ausencia del efecto de la
 dureza, y en cambio, aparecen como importantes el color y la rugosidad, pero
 sólo en ciertos modelos experimentales.

DISCUSION

Resistencia de las variedades. En general se acepta que los granos de cereal tienen una "susceptibilidad intrínseca" que varía según las variedades de que se trate (Dobie, 1972). El término "intrínseca" sugiere que ésta es una constante de los cereales que se expresa en la capacidad de los granos a resistir la invasión infestante frente a cualquier agente, con cierta independencia de la especie de que se trate y de las condiciones ambientales en que se verifique.

En general se acepta que esas circunstancias influyen y que son varios los parámetros que pueden determinar el grado de infestación, pero que dado cada uno de esos factores en un determinado nivel, es de esperarse que unas variedades de granos sean más resistentes que otras, como una consecuencia que se deriva de las propiedades mismas de los granos. Esta idea de susceptibilidad "intrínseca", ha dado lugar a inversiones dirigidas a encontrar las propiedades físicas y químicas en los granos que determinan su susceptibilidad cualquiera que sea la condición en que se verifique la infestación. Según la idea de susceptibilidad intrínseca el grado de infestación se explicaría como una función de la forma:

$$\text{Infestación} \approx f(V_1 \dots V_n) S \quad (1)$$

donde S es la constante de susceptibilidad, y $V_1 \dots V_n$ son diversas variables o factores que intervienen, como la dureza de los granos, la humedad o la temperatura del ambiente, la capacidad de reproducción de los insectos, la especie de insectos que son agentes de la infestación, etc. De hecho la idea que se expresa por el término intrínseco aplicado a la susceptibilidad sugiere un modelo lineal, donde las variables, pudieran no depender la una de la otra.

Una hipótesis alternativa es que en efecto la infestación es una función de la forma (1) pero donde S no es una constante, sino que es una variable, lo cual se expresa en la siguiente función:

$$S = g(V_1 \dots V_n) \quad (2)$$

donde $V_1 \dots V_n$ pudieran ser las mismas u otras condiciones ambientales, como

las ya señaladas: dureza de los granos, temperatura del ambiente, capacidad de reproducción, etc. Dicho de otra manera, la infestación se explicaría por un modelo teórico, donde los factores aparecerían interrelacionados de modo intrincado, posiblemente de modo no-lineal, donde las diversas variables, incluida la resistencia, serían dependientes unas de otras en diversas medidas y de modos distintos.

Los resultados de este trabajo muestran que, en efecto, la resistencia medida en ciertas condiciones experimentales, proporciona escalas comparativas entre las variedades, que son distintas a las determinaciones que se obtienen en otras condiciones. En la literatura se observa una situación similar, tal como se menciona a continuación:

(1) Sinha (1969, 1971) estudió la reproducción y multiplicación de nueve especies de insectos en algunas variedades de trigo common, durum y emer. Las variedades mostraron magnitudes de infestación variables, con una susceptibilidad relativa que también fue variable dependiendo del insecto causante de la infestación. Así, por ejemplo, la variedad moniton fue la más resistente y la variedad selkirk la menos, entre las variedades comunes frente al insecto *Sitophilus oryzae*, mientras que ninguna de las variedades clasificadas como durum mostraron diferencias significativas. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre las variedades common y durum, frente a la infestación a *Sitophilus zmais*.

Asimismo, mientras que la variedad de penbina fue una de las más resistentes frente a *Sitophilus granarius*, la misma variedad se encontraba entre las menos resistentes de las variedades common del trigo frente a *Rhizopertha dominica*. Con un diseño experimental similar Gupta y Kadyan (1971) encontraron que las susceptibilidades relativas a once variedades de trigo, fueron diferentes según la especie del insecto infestante que se investigó: *Sitophilus oryzae*, *Rhizopertha dominica* o *Tribolium castaneum*.

Otros resultados en la misma línea son los siguientes: Villancis *et. al.* (1972) estudiaron el grado de susceptibilidad en 10 líneas de híbridos. El dulce

mostró considerable resistencia a ambas especies; otro el amiloso (A 769) mostró resistencia a *Sitotroga cerealella* y un tercero (compuesto del caribe) mostró resistencia a *Sitophilus zeamais*. Rosseto (1972) encontró que el grosor de la cáscara de algunas variedades de maíz se correlacionan con la resistencia a la infestación. Encontró que esta correlación fue positiva en algunos casos cuando la infestación se realizó por *Sitophilus zeamais*, pero fue negativa en los resultados de la infestación por *Sitotroga cerealella*.

Es decir, que en todos estos resultados es claro que la resistencia no es una característica constante de los granos, sino que es una variable dependiente del insecto infestante.

Por otra parte, no se ha encontrado, ni es probable que se encuentre una variedad de granos absolutamente resistentes a la infestación por un agente determinado. Así por ejemplo, Pandey y Pandey (1977) ensayaron el efecto en 15 variedades de maíz en condiciones experimentales de infestación por *Sitotroga cerealella* y encontraron que todas fueron susceptibles aunque en diverso grado a la invasión.

Ciertos estudios de laboratorio han demostrado (Bhatia, 1972) que algunas variedades de trigo que se han incorporado desde hace algún tiempo a la agricultura, probablemente han adquirido un incremento progresivo de la resistencia frente a ciertos insectos como son, *Sitophilus oryzae* y *Rhizopertha dominica*. Esta situación no debe sorprender, en vista de que las condiciones de almacenamiento de los granos que suele propiciar el desarrollo y supervivencia de los insectos, debido a imperfecciones técnicas, se torna a la postre en un elemento favorable por cuanto determinan la selección de los granos viables y así resulta la reproducción de subespecies de cereales más resistentes. Basándose en esta hipótesis Bhatia (1972) ha propuesto un método racional de selección de la resistencia de los granos. Tal hipótesis parte de la premisa de que las variedades existentes son heterocigóticas con respecto al carácter de resistencia frente a determinado insecto, ya que su selección se ha verificado con respecto a otras características como puede ser tamaño de la planta o propiedades nutricionales

de las semillas. Por consiguiente, sugiere este aumento que mediante el expediente de someter a las semillas a repetidas y vigorosas infestaciones en condiciones de laboratorio, a lo largo de varias generaciones, ha de ser factible obtener la selección de plantas cuyas semillas sean especialmente resistentes a la infestación específica de que se trate.

Los resultados de este trabajo demuestran que las variedades de semillas muestran resistencias distintas según se ofrezca a los insectos en un experimento de libre elección o de no-elección. Se trata, en efecto, de una capacidad de adaptación muy delicada de los insectos a las condiciones ambientales. Podría entonces proponerse que los granos en el campo y en el almacén tienen resistencias distintas; es decir, los resultados sugieren que la resistencia es una función de las condiciones ambientales que pueden establecerse en el laboratorio, tales como los que existen en un experimento de libre elección y otro de no-elección son muy restringidas, frente a las muy variadas condiciones ambientales que es de suponerse existen en las condiciones de la agricultura. Y es de suponerse también que frente a estas condiciones, existen adaptaciones por parte de los insectos que imponen una fuerte variabilidad a la resistencia. Como un ejemplo está el trabajo realizado por Rosseto (1974), en el cual se comprueba que los granos desgranados son más susceptibles, que aquéllos de la mazorca, porque los huevecillos son puestos en la parte suave y cerca del embrión. Por otro lado también las mazorcas largas son más susceptibles. Turner (1978) aseveró, que las características del olote, las fechas de floración y la constitución del grano influyen en la resistencia o susceptibilidad.

Los trabajos mencionados, ponen de manifiesto, las características no-intrínsecas, sino de adaptación y que influyen de una manera importante en la susceptibilidad; de ahí las diferencias de entre los experimentos de no-elección y libre elección.

Se ha podido averiguar que la infestación se puede originar en el campo y luego continuarse la metamorfosis de los insectos en el almacén. En ese sentido Giles y Ashman (1972) han demostrado que más del 30% del maíz cosecha-

do de hecho ya ha sido infestado antes de alcanzar el almacén. No obstante, es posible que la infestación pueda verificarse originalmente en el almacén. Por otra parte, en este trabajo se demuestra que el ataque (el origen de la infestación) y el daño (el resultado de la infestación, desde el punto de vista práctico) son parámetros dependientes; como, además, a juzgar por los experimentos de libre elección y no-elección de este trabajo, la resistencia relativa entre las variedades al ataque y al daño no guardan una proporción sencilla, resulta que es de esperar, que en las condiciones normales, la resistencia de las variedades de granos, es una variable cuya magnitud resulta difícil de estimar en términos absolutos para todo propósito práctico. En estas condiciones parece erróneo pensar en la resistencia como una consante propia de las semillas que permita distinguir las de otras en todas las circunstancias experimentales, de cultivo o almacén.

Predicción de la resistencia de los granos a partir de sus propiedades físicas. Se ha intentado en diversos trabajos (Bhatia, 1972, 1978; otros) encontrar un elemento característico de los granos que permita por sí solo predecir cual pudiera ser su resistencia en las circunstancias reales del cultivo y almacenamiento. De cumplirse esa aspiración sería posible detectar de manera rápida y expedita cuales variedades nuevas obtenidas por el genetista pudieran tener éxito en la agricultura. Bastaría una simple determinación de la magnitud de esa propiedad o característica y con sólo ese dato recomendar tal o cual variedad.

Eden (1952) desde hace ya unos 30 años indicó que la infestación por gorgojo (*Sitophilus zeamais*) disminuye en proporción inversa a la dureza de los granos de maíz. Más recientemente otros autores han investigado la susceptibilidad a *Sitophilus zeamais* y *Sitotroga cerealella* de los granos de maíz en variedades mejoradas, y han encontrado una correlación entre la dureza y las características de las cáscara, por una parte y la resistencia por la otra (Dobie, 1977; Turne, 1976, 1978; Villancis, *et. al.*, 1972; Rosseto, 1972). Sin embargo, la correlación con estas características y especialmente con la dureza no se encuentran

en todas las variedades (Eden, 1952; Bhatia, 1978). Se han encontrado variedades blandas que son, sin embargo, muy resistentes a la infestación.

Parece por consiguiente, que la dureza no podría considerarse como un factor único ligado a la resistencia de los granos.

Fue así como varios investigadores enfocaron su atención a la composición química de las semillas de interés alimenticio.

Por eso Singh y McCain (1963) analizaron 10 variedades de maíz híbrido que se escogieron para cubrir una escala significativa que cubrían desde muy susceptibles hasta muy resistentes pasando por los intermedios de conformidad con ciertos criterios mencionados adelante. Se determinó por otra parte, el contenido de azúcar, almidón, grasa y proteína y luego se correlacionaron estas determinaciones con la magnitud de dureza. Los autores corroboraron que en efecto la dureza es un factor importante en la infestación, pero que el contenido en azúcar tiene una gran relevancia.

Persiguiendo el mismo objetivo de asociar propiedades químicas de los granos con su resistencia a la infestación, Grupa *et. al.* (1970) estudiaron el efecto que tiene el mutante opaco-2 en la magnitud de infestación que produce *Sitophilus oryzae* y mostraron que, en efecto, al tiempo que se incrementa el contenido de lisina, hay un aumento concomitante de la susceptibilidad. Estos resultados son, sin embargo, en parte contrarios a los hallazgos de Schoonhoven *et. al.* (1972) quienes estudiaron 5 líneas híbridas isogénicas que diferían en el gene opaco-2 o en el gene fluory-2 con el resultado que la progenie de los gorgojos emergieron con la misma magnitud del endospermo blando de alto contenido de lisina que los de las variedades control que sirvieron para establecer el contraste. No obstante, la progenie de gorgojos emergió de manera significativa más temprano de los granos con altos contenidos de lisina y un endospermo blando, que los granos cuyo endospermo era normal, y encontraron además que los períodos de desarrollo fueron diferentes en las cinco especies estudiadas. En la reciente literatura se encuentra a Santos *et. al.* (1980) quienes estudiaron que la infes-

tación de *Sitotroga cerealella* aumentó en las variedades que contenían el gene opaco-2. Santos y Foster (1980), basándose en el número de adultos emergentes observados en cada variedad, llegó a la misma conclusión que la anterior. Pandey *et. al.* (1978) dijo que las variedades con 10 aminoácidos esenciales son preferidos por *Sitotroga cerealella*, comparándolos con variedades que sólo tienen 8 aminoácidos esenciales. El mismo autor y en el mismo año (Pandey *et. al.*, 1978b), encontró que variando el porcentaje de proteínas y disminuyendo otros constituyentes químicos (azúcar, almidón y aceite) se ocasionaban variaciones en la resistencia de las variedades. Mozes *et. al.* (1970) se refiere a la comparación entre los maíces dentados y cristalinos con respecto a los maíces híbridos, de modo que éstos últimos parecen ser los más susceptibles.

Estos estudios químicos resultaron sin embargo, de difícil interpretación, pues no se puede decidir, cuánto es debido a la influencia nutricional de los componentes analizados, o cuánto al hecho de que la composición química está ligada a la estructura global del grano y por ende a alguna propiedad física. Así, por ejemplo, el contenido de lisina está claramente ligado a la dureza. Otros componentes pudieran tener relación con el color (Painter, 1951) y así también Peters *et. al.* (1960) y Rhine y Staples (1968) y Villancis *et. al.* (1972) demostraron que los granos de maíz con un alto contenido de amilosa tenían una alta resistencia a la infestación, pero dicho polisacárido determina una estructura dura y se encuentra a la vez asociado con un alto contenido de proteína en el endospermo. Del mismo modo Abdol-Rahimein *et. al.* (1978) estudiaron el desarrollo de *Plodia interpunctella* como una medida de la resistencia de 9 variedades. Los resultados mostraron una gran variabilidad entre las variedades de granos con respecto a la rapidez del desarrollo, pero las diferencias pudieron correlacionarse más con la dureza que con las características químicas de los granos.

Los resultados de este trabajo tienen una ingerencia en el contexto de la presente sección desde varios puntos de vista: (a) corroboran que la dureza de los granos de maíz, pero no los de trigo, son un factor importante de la resistencia a la infestación; (b) corroboran que ese factor aunque importante en el maíz

no es el único, sino que pudieran intervenir muchos otros; (c) puesto que la composición química de las diversas variedades estudiadas en maíz y trigo, no difieren mucho, sugiere que las propiedades físicas se constituyen en un factor destacado de la infestación; (d) las propiedades físicas y otras de las que hay indicios de su existencia (propiedades hipotéticas) no pueden tomarse individualmente, ni en su conjunto, como un reflejo de la resistencia, ni como una constante de los granos de cada variedad, ya que las correlaciones que pudieran establecerse entre una propiedad de los granos y la resistencia, depende de las condiciones particulares del experimento; y (e) se muestra la importancia que en determinadas circunstancias tienen otras propiedades como es el color y la rugosidad de los granos.

Congruentemente con la discusión y postulación de la sección anterior se mantiene la hipótesis de que la resistencia no es una constante de las semillas, sino una variable dependiente de la interacción de los insectos con la semilla. De otra manera no podría explicarse el hecho de las propiedades físicas de los granos, tienen una influencia en la infestación que depende de muchos factores experimentales.

Adaptaciones. De acuerdo con Birch (1954) en la infestación de los granos existe un "acondicionamiento al hospedero". Si *Sitophilus oryzae* se cultiva por varias generaciones sucesivas en el trigo, y luego, en la generación siguiente, se le ofrece el maíz y trigo como medio de cultivo, puede observarse, en efecto, que la oviposición es más abundante en el trigo. Exactamente lo contrario acontece cuando el insecto es criado por varias generaciones en el maíz y luego se le ofrece como opciones ovipositar en el maíz o en el trigo.

Este interesante y muy trascendente experimento, no se ha apreciado de su justo valor en la literatura moderna. En el presente trabajo en cierta forma se ha corroborado y extendido en *Sitotroga cerealella* las observaciones originales de Birch. En este insecto como en *Sitophilys zmais* se observa que la oviposición es mayor en el trigo cuando los insectos de las generaciones precedentes fue-

ron cultivadas en trigo que cuando fueron cultivadas en maíz.

Se ha constatado además que no sólo la oviposición sino también la producción, medida por el número de adultos emergentes, resulta en el mismo tipo de adaptación heredada; el número de adultos emergentes en el maíz, cuando los progenitores se han cultivado en maíz es mayor que cuando los progenitores se han cultivado en trigo; y recíprocamente, el número de adultos emergentes es mayor en el trigo cuando los progenitores se cultivaron en el trigo que cuando se cultivaron en el maíz. Más aún, el ciclo de vida de *Sitotroga cerealella* refleja el mismo fenómeno adaptativo. En relación a este parámetro se vió que el ciclo biológico es más largo en el trigo que en el maíz y que el hecho de cultivar a los progenitores en el maíz tiende a reducir el ciclo biológico de los insectos en el maíz. La importancia de estos hechos es considerable.

En primer lugar significa, como se ha venido sosteniendo a lo largo de este trabajo, que el proceso de infestación es muy complejo y que ahora hay que agregar un factor hereditario. Esto se refleja en la estimación de la resistencia. Dobie (1972) ha propuesto medir la "resistencia intrínseca" de las variedades de granos de cereal. Para ello propone adoptar la noción de "rapidez intrínseca de incremento poblacional". Esta noción puede tomarse como un parámetro que es la medida de la vida media de los insectos directamente relacionados a la duración de su ciclo vital. Considera este autor entonces que la productividad de un insecto en el maíz (o para el caso en cualquier otro grano) dependerá del número de insectos de la progenie que sobrevivan procedentes de una sola hembra y del período que transcurre desde la oviposición hasta la maduración sexual de la prole. Las cifras altas de rapidez intrínseca poblacional, aunadas a períodos cortos de desarrollo de la prole, darán lugar a una gran productividad. De esta manera y basándose en una fórmula anterior de Howe (1970), Dobie propone la siguiente expresión de un "índice de susceptibilidad" que puede determinarse en cada variedad particular:

$$I = \frac{\log_e (\text{generación } F_1) \times 100}{\text{período de desarrollo en días}}$$

y da unos lineamientos para establecer un bioensayo.

Sin embargo, debe resultar claro de lo que llevamos dicho, que el mencionado índice, lejos de ser una característica constante de cada variedad, es de esperar que muestre grandes variaciones dependientes de múltiples factores, entre los cuales habría que incluir la historia genética de los insectos que se utilizan en la prueba.

En segundo lugar, hay que considerar la sugerencia de Bhatia (1972), referida anteriormente en esta discusión, sobre la selección inducida de especies de cereal, exponiendo los granos a determinado (o determinados) agentes. La idea de Bhatia implica la adaptación por selección de las plantas y sus productos a la existencia de los agentes infestantes y, el consiguiente aumento de probabilidad de sobrevivencia de los primeros. Ahora habría que agregar la existencia de un proceso inverso que sería la adaptación por selección, de los agentes infestantes a las plantas, lo cual tendería a operar en sentido contrario al que propone Bhatia. Sin embargo, el método de Bhatia seguiría siendo válido y muy eficiente, si en cada exposición sucesiva de los granos, en cada generación de plantas, se utilizan agentes infestantes no-adaptados a los cereales en cuestión. De todos modos la argumentación en su conjunto sugiere que en las condiciones naturales, y en el cultivo, ambos factores concurren en una situación de equilibrio.

En tercero y último lugar, los resultados presentados sugieren que un medio racional de lucha contra la infestación es rotar las especies y variedades de granos que se almacenan en los silos, pues de esa manera se conseguiría desfavorecer la infestación, buscando que ésta, que de cualquier modo parece inevitable, al menos como un riesgo de almacenar los granos, se minimice en la medida que se opera en contra de los factores que tienden a propiciar la adaptación de los insectos. Es por otra parte seguro que la rotación del cultivo, que desde tiempo inmemorial se conoce como un beneficio a la cosecha, en gran parte se debe al beneficio que se deriva de los cambios que se verifican en los nutrientes de la tierra, pero es también verosímil, que en parte, algún beneficio se deriva del hecho de que mediante esa operación se disminuyen las posibilidades adaptativas de los agentes infestantes.

CONCLUSIONES

Los datos experimentales de este trabajo (infestación de variedades de trigo y maíz por *Sitotroga cerealella* (Oliver)) contrastados con los datos de la literatura, permiten concluir que la resistencia (o la recíproca, la susceptibilidad) de las variedades de los granos de cereal frente a la infestación, es ciertamente una de sus características diferenciales. Sin embargo, esta característica no es constante, de modo que no se justifica el término "susceptibilidad intrínseca". La resistencia a la infestación es de hecho una variable dependiente de las condiciones en que se ofrecen los granos a los agentes, de la índole de estos agentes, y de sus adaptaciones hereditarias. Por consiguiente las investigaciones con fines prácticos han de dirigirse a indagar la resistencia, no como una característica universal, válida en todas las condiciones ambientales y circunstancias de los granos y agentes de infestación, sino válida para las condiciones particulares de geografía física y humana, incluidos los usos en el cultivo, en el transporte y almacén de los productos.

Entre las variedades de trigo estudiadas no se pudieron discernir resistencias. Entre las variedades de maíz se encontró que la variedad "amarillo cristalino" es la más resistente en la condición experimental que simula el almacén (no-elección); entre las menos resistentes, en las mismas condiciones, se encuentran las variedades "mezcla tropical blanca", "blanco subtropical" y "amarillo dentado". Esta condición "de almacén" es la más interesante tratándose de *Sitotroga cerealella*.

Se encontró que la dureza del maíz tiene una influencia particular en las condiciones que simulan el almacén (no-elección). La rugosidad es importante en el trigo y en el maíz, tal vez porque propicia la oviposición. El color también pudo asociarse con la resistencia, tanto en el maíz como en el trigo.

REFERENCIAS

- 1) Abdel-Rahman, H.A., and Christensen., C.H. (1968). Development of *Plodia Interpunctella* (Hb) (Lepidoptera Phycitidae) con different varieties of corn at 2 Levels of moisture. J. Stored. Prod. Res. 4:127-33.
- 2) Bhatia, S.K. (1978) Wheat grain variability to infestation by storage pests. Journal of Entomological. Research 2(1): 106-111.
- 3) Bhatia, S.K. (1972) Resistance to insects in stored grain. Tropical Stored Products information.
- 4) Birch, L.C. (1954) Experiments on the relative bundance of two sibling. Species of grain weevils. Australian Jour. Zool. 2(1):66-74.
- 5) Díaz, C.G. (1967) Some relationships of representative raices of corn from. Latin América Germ Plasm Seed Bank to intensity of infestation by Rice weevil. *Sitophilus zmais*. Motschulsky Kansas State University Ph. D. Tesis.
- 6) Dobie, P. (1977) The contribution of Tropical. Stored Products. Centre to the study of insect resistance in stored maize. Tropical Stored Products. Information. No. 34, 7-22.
- 7) Doogett, H. (1957) The breeding of corghym in East Africa. I. weevil Resistance in sorghum grain. Empired J. Exp. Agna. 25:1-9.
- 8) Eden, W.G. (1952a) Effect hosk cover of corn on rice weevil damage in Alabama. Journal. Econ. Ent. 45:543-544.
- 9) Eden, W.G. (1952b) Effect of Kernel characteristics and components of hosk cover on rice weevil damaged to corn. Jour. Econ. Ent. 45:1084-1085.
- 10) Eden, W.G. (1953) Effects of kermel characteristics and Components of hosk cover on Rice weevil damage to corn. J. Econ. Entomology, 45:1084-5.
- 11) Ellington, G.W. (1930) A method of sucuring egg of the Agoumois gran moth. J. Econ. Entomol. 23:237-8.
- 12) Fisher, R.A. (1925) Statistical Methods for Research Worker 1st. ed. Oliver and Buyd. Edinburgh.
- 13) Giles, P.H. and Ashman, F. (1971) A study of preharvest infestation of maize by *sitophilus ceamais* Motsh. (Coleoptera, Curculinoidea) in kery a highlards. J. Stored Prod. Res. 7:69-83.
- 14) Girish, G.K., Punk, G.T. (1969) Dietary efficiency of natural foods for growth and development of stored grain insect pest. Bulletin of Grain technology. 7(1):9-18.
- 15) Gupta, D.S. and Kayan, A.S. (1971) Relative consistence of some varieties of wheat to important stored grain pest. Bull Gran. Technol. 9:7578.

- 16) Hinton, H.C. and Steven, A. (1975) Comon Insect Pest. of Stored Food products. (London).
- 17) Hollander, Mard, Wolfe, D.A. (1973) Non parametric statistical methods (Wiley, New York).
- 18) Howitt, A.J. (Chairman) (1978) Resistance in maize to *Sitotroga cerealella* (Olivier). Proceedings of the North Central Branch of the Entomological. Society of America 1978, pub. 1a. 79:33-30.
- 19) Howitt, A.J. (Chairman) (1979) Resistance in maize to *Sitotroga Cerealella* (Oliver). Proceedings of North Central. Branch of the Entomological. Society of America.
- 20) MacCain, F.S., W.G. Eden and D.N. Singh (1964) "A technique for Selecting for rice weevil resistance in corn in the Laboratory". *Crop. Sci.* 4(1); 109-110.
- 21) Mills, R. (1965) Early germ feeding and larval development of the Angoumois grain moth. *J. Econ. Entomol.* 58(2):220-3.
- 22) Mozes, P., Miklos, I. and Ghizdavo, I. (1970) Performance of some maize varieties and hybrids attacked by the Angoumois grain moth *Sitotroga*. *Luciani Stintifice, Institutul Agronomic. "Dr. Petou Groza" Agricultura*, 26, 389-394.
- 23) Painter, R.H. (1951) Insect resistance in crop plants the Mac Millan Co. N.Y. 520 pp.
- 24) Pandey, N.D. (1977) Growth and development of *Sitotroga cerealella* Oliver on different varieties of maize. *Indian Journal of Entomology.* 38(2):125-129.
- 25) Pandey, V., Pandey, N.D. (1977) Changes in chemical constituents of various maize varieties due to infestation caused by *Sitotroga cerealella* Oliver. *Bulletin of Grain technology.* 151(1):27-30.
- 26) Pandey, V., Pandey, N.D. (1978) Factors in resistance of maize varieties to *Sitotroga Cerealella* (Oliver) aminoacids. *Indian Journal of Entomology.* 40,3:343-345.
- 27) Peters, Zuber, M.S. and Ferga Son V. (1960) Preliminary Evidence of resistance of High. Amylose corn to the Angoumois grain moth. *Jour. Econ. Entomol.* Vol. 53 No. 4: 573-575.
- 28) Ramírez, G.M. (1966) Almacenamiento y conservación de granos y semillas. *CECSA. México.* 300p.
- 29) Rhine, J.J. and Staples, R. (1968) Effect of high amylose field corn on larval growth and survival of five species of stored grain insects. *Journal Econ. Ent.* 61:280-82.
- 30) Rosseto, C.J. (1974) Resistance of maize to pests of the ear, *Heliolipia zea* (Brodie) *Stiophilus zmais* Motschulsky and *Sitotroga cerealella* (Oliver). *Boletín de Divulcao. ESALQ No. 19,* 109-118, 323-330.
- 31) Santos, J.P., Foster, J.E. (1979) Resistance in maize to *Sitotroga cerealella* (Oliver) Proceedings of the North Central. Branch of Entomological Society of American. p. 30-33.

- 32) Santos, J.R., and Foster, J.L. (1980) Resistance in maize to *Sitotroga cerealella* (Oliver)
Sec. Jn L Source: Review of Applied Entomolgy A. 68(12) Abst. 6178.
- 33) Simons, P. and Elligton, G.W. (1924) Biology of the Angoumois grain moth, progress
report. Jour. Econ. Ent. 17(1):41-5.
- 34) Sifuentes, A.J., Díaz, A.C., Gabriel y Carrillo, J.L. (1968) Algunos aspectos relacionados
con insectos de granos almacenados. NAN. 15:7-11.
- 35) Simons y Elligton (1933) Life History of Angomois Grain Moth in Maryland. USDA.
Techn. Bol. No. 351, 35p.
- 36) Singh, P.N. and McCain, F.S. (1963) Relationship of some nutritional properties of corn
kernel to weevil infestation. Crop Science Vol. 3:259-261.
- 37) Sinha, R.N. (1969) Reproduction of stored grain insect on varieties of wheat, oats and
barley. Ann. Ent. Soc. AMer. 62:1011-15.
- 38) Sinha, R.N. (1971) Multiplication of stored product insects on varieties of wheat, oats and
barley. Jour. Econ. Ent. 64:98-102.
- 39) Turner, J.W. (1976) Resistance of maize to field infestation by *Sitophilus zeamais* (Mot-
scholsky) and *Sitotroga cerealella* (Oliver). Queensland. Journal of Agricultural
and Animal Sciences. 33,2:155-159.
- 40) United States Department of Agriculture (USDA) (1979) Grain Equipment. Marval GR
916-6. Federal Grain Inspection Service. Standarization Division Richard Geabayer
AFB Kandas City Ma.
- 41) Villacis, S.J., Moss, C.S., Ortega, C.A. (1969) Relative resistance of maize varieties Dulce
and Amiloso to attack by *Sitotroga cerealella* (Oliver) (Lepidoptera Gelechiidae)
Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. Tesis profesional.
- 41) Villacis, S.J., Sosa Moss, E., Ortega, C.A. (1972) Activity of *Sitotroga cerealella* Oliver
(Lepidoptera Gelechiidae) and *Sitophilus zeamais* (Motscholsky) (Coleoptera:
Curcu (ronidae) in ten types of maize with contrasting characters. Agrociencia, P.
No. 9. 3-16.
- 42) Villancis, S.J., Mass, C.S. and Ortega, C.A. (1973) Behaviour of *Sitotroga cerealella* (Lepid.
Gelechida) and *Sitophilus zeamais* Motscholsky (Colop. Currulionidae) inten types
of maize with contrasting characteristics. Rama de Entomología, Colegio de Post-
graduado. Chapingo, México. 153-164.
- 43) Warrer, L.O. (1956) Behavior of Angoumois grain moth or several strains of corn at two
moisture levels. J. Econ. Entomol. 49:316-319.