



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

**PROGRAMA DE POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS
TROPICALES**

**EFFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE SEIS
RODENTICIDAS UTILIZADOS PARA EL CONTROL
DE *Sigmodon hispidus* (RODENTIA: CRICETIDAE)
EN CAÑA DE AZÚCAR**

ELVIS FUENTES SIERRA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MANLIO F. ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO

2007

La presente tesis, titulada: **Efectividad biológica de seis rodenticidas utilizados para el control de *Sigmodon hispidus* (Rodentia: Cricetidae) en caña de azúcar.** Realizada por el alumno **Elvis Fuentes Sierra**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



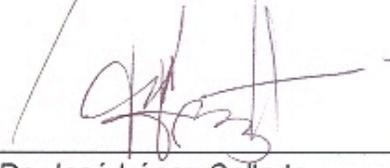
Dr. Francisco Osorio Acosta

ASESOR:



Dra. Isabel Vázquez López

ASESOR:



Dr. José López Collado

ASESOR:



Dr. Cesáreo Landeros Sánchez

Tepetates, Mpio. de Manlio F. Altamirano, Veracruz, México, Noviembre 2007.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Por el apoyo económico brindado a través de la beca No. 184954 otorgada para estudios de maestría y concluir satisfactoriamente esta etapa de mi formación profesional.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Por abrirme las puertas y haberme aceptado como estudiante de maestría dándome la oportunidad de avanzar en mi formación.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Por permitirme realizar con ellos parte de mi trabajo de investigación en sus instalaciones (laboratorio de roedores) y apoyarme en todo cuanto necesite.

Al Dr. Marino Marín García[†] Quien a través de sus enseñanzas y comentarios positivos, me dejó lecciones de vida.

Al Dr. Francisco Osorio Acosta. Por haber aceptado ser mi consejero, por haber depositado su confianza en mi, por brindarme su apoyo, orientación y asesoría en la planeación y desarrollo de esta investigación, por su tiempo dedicado y por sus valiosas sugerencias para culminar esta tesis.

A la Dra. Isabel Vázquez López. Ejemplo de trabajo constante, Con la mayor gratitud y respeto por todas las facilidades y tiempo brindados durante el proceso de formación e investigación, así como su estímulo por forjar en mi el hábito del estudio y la superación, pero sobre todo por transmitirme sus conocimientos y haber depositado en mi su confianza, por todo esto y más mil GRACIAS.

A los Doctores José López Collado y Cesáreo Landeros Sánchez. Por haber aceptado formar parte de mi consejo particular como asesores, a quienes agradezco, su confianza y sus orientaciones relevantes, por ceder parte de su tiempo y sus conocimientos, parte fundamental para la culminación satisfactoria de esta tesis.

A todos los doctores que de alguna manera pusieron su granito de arena para que culminara esta tesis de investigación, gracias por sus aportaciones y comentarios.

A mis Maestros. Por brindarme su apoyo y tenerme paciencia en el aprendizaje, por regalarme su valioso tiempo después de sus horarios de clase, y por las oportunidades brindadas durante mi formación.

A mis Amigos y compañeros de generación. Fritz Lang Ovalle, José Luis Peña Ramos, Karina Escobar Moreno, Violeta Leyva Báez, Héctor Chalate Molina, Bromio García Sierra, Julio Vilaboa Arroniz, Maria de Jesús Martínez Hernández, Verónica Valadez Rocha, Gabriela Esparza Díaz y Marcelo Bautista Tolentino. Por compartir conmigo gratos momentos haciendo día a día más placentera mi estancia y corto el camino.

Al Sr. Andrés Trujillo Mateos. Por el apoyo y todas las facilidades brindadas en el uso del centro de computo.

A todas las Secretarias y personal de apoyo que de alguna manera nos brindaron su ayuda haciéndonos más amena nuestras actividades diarias, mil gracias.

DEDICATORIA

A DIOS

Por permitirme seguir con vida, por darme la maravillosa oportunidad de conocerme a un más en los momentos difíciles de este retorno y por dejarme sentir su presencia eterna en la hermosa compañía de todas aquellas personas que me quieren y que aún siguen a mi lado.

A MIS PADRES

Con la mayor gratitud y respeto a mi padre Nazario Fuentes Ortiz y con especial cariño y amor a mi madre Reyna Sierra Esperon. Ejemplo de honestidad y trabajo constante, quienes sin palabras me han enseñado el sendero de la vida y me han dado la oportunidad de seguir adelante.

A MIS HERMANOS

Antonio, Emma, Marcela, Norma, Elsy y Miguel, que son parte de mi vida, gracias por su amor, cariño y respeto, por la confianza depositada en mí, pero sobre todo por el apoyo económico que me han brindado, gracias por enseñarme a valorar las cosas.

A MIS SOBRINO (A)S

Karol, Laura, Abel, Diana, Leo, J. Antonio, Fátima, A. Michell, Yazmín, Emyli y Alexis. Por compartir conmigo gratos momentos de alegría y felicidad.

EFFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE SEIS RODENTICIDAS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE *Sigmodon hispidus* (RODENTIA: CRICETIDAE) EN CAÑA DE AZÚCAR.

Elvis Fuentes Sierra, MC.
Colegio de Postgraduados, 2007

RESUMEN

Los estudios relacionados con el control químico de la rata algodonera o cañera son escasos, por lo que es difícil tener acceso a la información. Desafortunadamente en México los rodenticidas se aplican con base en recomendaciones generales, por lo que es importante evaluar la efectividad de estos productos en condiciones controladas y de campo. El objetivo en este trabajo fue conocer la efectividad biológica de los rodenticidas: warfarina®, difacinona®, brodifacum®, flocumafen®, bromadiolona® y fosfuro de zinc® a través del consumo y la susceptibilidad de *Sigmodon hispidus* en caña de azúcar. Este estudio se realizó siguiendo las normas establecidas en las guías EPA y EPPO, para evaluación de productos químicos (rodenticidas). Los resultados obtenidos con pruebas de laboratorio (no opción) indicaron que el brodifacum® y la difacinona® causaron el mayor porcentaje de muertes totales (90 y 80% respectivamente), la warfarina® fue la que causó el menor porcentaje de muertes (5%) en los grupos experimentales. En la prueba preferencia de consumo en campo, los rodenticidas flocumafen®, difacinona® y brodifacum® fueron los más consumidos por los roedores. Así mismo, este último fue el menos afectado por los factores ambientales. En la prueba de efectividad biológica en campo se encontró que la difacinona® y el brodifacum® causaron el mayor porcentaje de muertes totales (100%), por el mayor número de muertes observadas a través del índice de residencia (sobrevivencia). Los resultados indican que la difacinona® y el brodifacum® son los rodenticidas más efectivos en el control de *Sigmodon hispidus*.

Palabras clave: *Sigmodon hispidus*, rodenticidas, mortalidad, preferencias alimenticias, modelo Jolly-Seber.

BIOLOGICAL EFFECTIVITY OF SIX RODENTICIDES TO CONTROL *Sigmodon hispidus* (RODENTIA: CRICETIDAE) IN SUGAR CANE FIELDS

**Elvis Fuentes Sierra, MC
Colegio de Postgraduados, 2007**

ABSTRACT

Worldwide on control the cotton (sugar cane) rat, *Sigmodon hispidus* using rodenticides are scarce in the literature. In Mexico, recommendations for rodenticide use are very general and their effectiveness is unknown. Efforts should be focused on evaluating existing products under controlled and local field conditions. The objective of this research was to investigate the biological effectiveness of the rodenticides Warfarin®, Diphacinone®, Brodifacoum®, Flocoumafen®, Bromadiolone®, and Zinc phosphide® by measuring intake and mortality for *S. hispidus*. This study was conducted following the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) and European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) guidelines for the testing of rodenticides. Laboratory results from non-option intake tests showed that Brodifacoum® and Diphacinone® caused the highest mortality (90% and 80%, respectively), while Warfarin® caused the least (5%). Field preference tests showed that Flocoumafen®, Diphacinone®, and Brodifacoum® were most ingested by the rats, and that Brodifacoum® was least affected by environmental conditions. Under field conditions, Diphacinone® and Brodifacoum® caused the highest mortality (100%). In conclusion, Diphacinone® and Brodifacoum® appear to be the most effective rodenticides for control of *S. hispidus* in sugar cane fields in Oaxaca, Mexico.

Keywords: *Sigmodon hispidus*, rodenticides, mortality, dietary preferences, Jolly-Seber method.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Hipótesis general.....	4
1.2. Objetivo general.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Generalidades del orden Rodentia.....	5
2.1.1. Características morfológicas de <i>Sigmodon hispidus</i>	6
2.1.2. Ubicación taxonómica de <i>Sigmodon hispidus</i>	7
2.1.3. Distribución de <i>Sigmodon hispidus</i>	8
2.2. Generalidades de los métodos de control de roedores.....	8
2.3. Resistencia a los rodenticidas anticoagulantes.....	12
2.4. Características de los rodenticidas en estudio.....	16
2.4.1. Rodenticidas agudos.....	16
2.4.2. Rodenticidas crónicos o anticoagulantes.....	16
2.5. Daños por roedores.....	18
2.6. Normas regulatorias mexicanas para el uso de productos químicos.....	20
2.7. Bibliografía.....	22
III. SUSCEPTIBILIDAD DE <i>Sigmodon hispidus</i> A SEIS RODENTICIDAS EN LABORATORIO	34
3.1. Introducción.....	34
3.2. Materiales y métodos.....	36
3.3. Resultados y discusión.....	40
3.4. Conclusiones.....	48
3.5. Bibliografía.....	49

IV. CONSUMO Y PREFERENCIA DE <i>Sigmodon hispidus</i> A SEIS PRODUCTOS RODENTICIDAS EN CAÑA DE AZÚCAR.....	56
4.1. Introducción.....	56
4.2. Materiales y métodos.....	58
4.3. Resultados y discusión.....	66
4.4. Conclusiones.....	78
4.5. Bibliografía.....	79
V. EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE SEIS RODENTICIDAS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE <i>Sigmodon hispidus</i> EN CAÑA DE AZÚCAR.....	86
5.1. Introducción.....	86
5.2. Materiales y métodos.....	87
5.3. Resultados y discusión.....	93
5.4. Conclusiones.....	101
5.5. Bibliografía.....	101
VI. DISCUSIÓN GENERAL.....	106
VII. CONCLUSIONES GENERALES.....	115
VIII. RECOMENDACIONES.....	116
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	118

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 3.1. Significancia estadística de comparación de proporciones de mortalidad por pares mediante prueba de contrastes.....	44
Cuadro 3.2. Comparación del consumo de rodenticidas por pares mediante prueba de contrastes al suministrar una dosis de 30 g.....	47
Cuadro 4.1. Capturas y recapturas totales de roedores en los tres sitios de muestreo.....	66
Cuadro 4.2. Media y desviación estándar del consumo (g) de los rodenticidas ofertados en campo.....	71
Cuadro 5.1. Frecuencia y dosis de aplicación de los seis rodenticidas evaluados en campo.....	92
Cuadro 5.2. Mortalidad estimada a través de las capturas y recapturas realizadas en los seis sitios de muestreo.....	95
Cuadro 5.3. Índice de residencia obtenida a través del modelo de Jolly-Seber de seis rodenticidas evaluados en campo.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Vista lateral del cráneo de un roedor adulto.....	5
Figura 2.2. Rata adulta cañera o Algodonera <i>Sigmodon hispidus</i>	7
Figura 3.1. Ubicación del laboratorio de roedores del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba.....	36
Figura 3.2. Mortalidad total de <i>S. hispidus</i> al suministrar dos dosis de rodenticidas en condiciones de laboratorio.....	41
Figura 3.3. Mortalidad estimada en hembras y machos al suministrar seis rodenticidas a <i>S. hispidus</i> en laboratorio.....	42
Figura 3.4. Proporción de mortalidad estimada de <i>S. hispidus</i> , al suministrar seis rodenticidas evaluados en laboratorio.....	43
Figura 3.5. Mortalidad en horas causada al suministrar rodenticidas agudos (a) y anticoagulantes (b, c, d, e, f) a grupos experimentales de roedores en laboratorio.....	46
Figura 4.1. Localización del área de estudio en el estado de Oaxaca.....	59
Figura 4.2. Distribución sistemática de las trampas Sherman dentro del cultivo para capturas en vivo.....	60
Figura 4.3. Proporción de sexos de <i>Sigmodom hispidus</i> en base a capturas realizadas en tres sitios de muestreo en caña de azúcar.....	68
Figura 4.4. Clases de edades de <i>Sigmodom hispidus</i> encontradas en tres sitios de muestreo, en caña de azúcar.....	69
Figura 4.5. Consumo (g) de los seis rodenticidas ofertados en campo de junio a julio del 2005 en caña de azúcar.....	71
Figura 4.6. Porcentaje de incidencia del efecto humedad sobre los seis rodenticidas evaluados en campo.....	72
Figura 4.7. Porcentaje de incidencia del efecto derretido sobre los seis rodenticidas evaluados en campo.....	73
Figura 4.8. Efecto del agrietado sobre los seis rodenticidas evaluados en campo.....	74

Figura 4.9. Porcentaje de incidencia del efecto enranciado sobre los seis rodenticidas evaluados en campo.....	75
Figura 4.10. Porcentaje de incidencia de hormigas en los seis rodenticidas evaluados en campo.....	76
Figura 4.11. Incidencia de los factores ambientales sobre los rodenticidas....	77
Figura 4.12. Efectos del ambiente y consumo de los seis rodenticidas evaluados en campo.....	78
Figura 5.1. Capturas y recapturas totales de <i>Sigmodon hispidus</i> en los seis sitios de muestreo para estimar los tamaños poblacionales (N1 y N2) de mayo a junio del 2006.....	94
Figura 5.2. Especies de roedores encontradas en los seis sitios de muestreo de mayo a junio del 2006.....	96
Figura 5.3. Proporción de machos y hembras encontrados en los seis sitios de muestreo de mayo a junio del 2006.....	97
Figura 5.4. Relación del número de roedores y el daño ocasionado en tallos en caña de azúcar.....	98
Figura 5.5. Índice de daño encontrado en los seis sitios de muestreo antes de aplicar los rodenticidas.....	99

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La agroindustria azucarera en México atraviesa actualmente por procesos económicos inestables en el precio del producto, debido a la importación de sustitutos del azúcar en el mercado internacional, así como por conflictos sociales internos surgidos de la misma situación. Ante este panorama, es necesario replantearse estrategias productivas basadas en nuevas normas de control de calidad, cuyo objetivo sea revalorar la producción azucarera (Vázquez, 2005).

En este contexto y teniendo presente que la caña de azúcar es uno de los cultivos de mayor importancia económica en las regiones tropicales de nuestro país, se hace necesario que tales normas de control de calidad estén presentes en cada una de las etapas productivas, primordialmente en el desarrollo agrícola del cultivo, cuyo rendimiento se ve afectado por factores bióticos y abióticos. Entre los factores bióticos se encuentran las enfermedades y plagas, las cuales, aunque la magnitud de sus daños no se ha estimado en forma precisa, ocasionan pérdidas que afectan cada año la economía del productor (Villa y Vázquez, 2001).

Villa y Whisson (1995) mencionaron que las principales plagas de la caña de azúcar en orden de importancia económica en el estado de Veracruz son: la mosca pinta *Aeneolamia postica* (Walker) y los roedores. A los roedores se les considera la segunda plaga en importancia fitosanitaria en el cultivo caña de azúcar, debido a su alta tasa de fecundidad, ciclo reproductivo corto y gran movilidad; además de que su biología, ecología y dinámica poblacional les permite responder rápidamente a los cambios desfavorables del ambiente. También causan daños indirectos debido a que por alimentarse de la base de los tallos de la caña, causan el acame y pérdidas en la producción (Flores, 1983; Villa *et al.*, 1993). Asimismo, cuando los roedores roen los tallos, diversos agentes patógenos nocivos al cultivo, como hongos, bacterias y virus, entran a la planta (Taylor, 1972; Jackson, 1977; Hampson, 1984; Willson, 1993).

En México, las especies de roedores reportados como plaga en caña de azúcar son la rata cañera o algodонера, *Sigmodon hispidus* (Say et Ord), la rata arrocera *Oryzomys couesi* (Alston) (Muridae) y la tuza, *Orthogeomys hispidus* (Leconte) (Geomyidae). El daño ocasionado por tales roedores a este cultivo, ha sido, hasta cierto punto agravado por el uso de prácticas erróneas, que solamente han logrado resolver momentáneamente el problema. Por ejemplo, el uso de tóxicos agudos como el fosforo de zinc y en los últimos años, los rodenticidas de segunda generación se han aplicado para disminuir los daños cuando éstos ya son evidentes, sin considerar los factores que propician la generación del problema (Villa y Whisson, 1995; Villa *et al.*, 1997).

El uso frecuente que se hace de los rodenticidas antes o durante el crecimiento del cultivo, crea la pérdida de susceptibilidad por parte de los roedores; aunado a esto el daño ambiental, principalmente el envenenamiento primario y secundario de una amplia gama de especies, mamíferos y aves. Otro problema del uso inapropiado de rodenticidas es que pueden no cumplir con el requisito de mercados nacionales e internacionales para ofertar un producto agrícola libre de residuos químicos (Buckle y Smith, 1994; Buckle, 1999). Por lo tanto, existe la necesidad de diseñar estrategias de control que integren métodos que minimicen los daños ocasionados por el uso excesivo de rodenticidas.

Desafortunadamente, el control químico sigue siendo una alternativa recurrente empleada por los productores para el control de los roedores de la caña en la Cuenca Veracruzana. Más grave aún, es la utilización de sustancias prohibidas por las Normas Fitosanitarias Mexicanas por su riesgo y toxicidad, como el monofluoroacetato de sodio o compuesto 1080 (Greaves *et al.*, 1982). El uso apropiado de productos químicos tiene el propósito de disminuir las poblaciones a niveles tolerables que no causen pérdidas económicas al productor y no para exterminar las poblaciones de roedores (Villa y Vázquez, 2001).

En la actualidad existe una demanda creciente por los productos agrícolas con residuos mínimos de agroquímicos, particularmente en los países desarrollados, donde se utilizan estrategias alternativas tales como la modificación del hábitat y sistemas de vigilancia para el control de roedores (Parshad, 1999). Con la finalidad de actuar en tiempos previos a la reproducción y disminuir la oferta de recursos que el entorno le ofrece al roedor (Jackson, 1977). Esto resulta en costos más bajos, una reducción en los riesgos de contaminación al medio ambiente por el producto y de afectación a la fauna silvestre en general.

Las estrategias antes mencionadas implican la necesidad de obtener información para entender las interacciones planta-animal, así también diseñar modelos que sirvan para predecir los tiempos de irrupción de poblaciones y establecer tácticas apropiadas y efectivas del control. Lo anterior, a fin de que en un futuro cercano el éxito de las campañas de combate y de manejo integrado de plagas, no dependa del uso exclusivo de rodenticidas; pues aunque estos sean eficientes y prometan la eliminación del 90% de la población, estos deben aplicarse con otras medidas de manejo (Vázquez, 2001).

Debido al alto riesgo que presentan en su mayoría los compuestos de acción aguda por problemas de intoxicación (Anónimo, 1993), el Gobierno Mexicano publicó con fecha del 19 de agosto de 1991 una lista de plaguicidas prohibidos para su exportación, fabricación, formulación, comercialización y el uso en el país, a través del Diario Oficial de la Federación y del Catálogo Oficial de Plaguicidas prohibidos (FAO, 1980). El único rodenticida agudo autorizado es el fosfuro de zinc. Los rodenticidas crónicos o anticoagulantes autorizados para su uso son: brodifacum, bromadiolona, clorofacinona, colecalciferol, coumacol, coumatetralil, difacinona, flocumafen, pindona y warfarina; los cuales son de uso común para el control de roedores en caña de azúcar. La efectividad de éstos dependerá de la concentración del ingrediente activo en el producto usado y de la dosis empleada, entre otros factores.

1.1. HIPOTESIS GENERAL

Sigmodon hispidus presenta preferencia y susceptibilidad al menos a uno de los rodenticidas siguientes: warfarina, difacinona, brodifacum, flocumafen, bromadiolona y fosfuro de zinc; tal rodenticida es, además, efectivo para el control de este roedor en caña de azúcar.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Conocer la efectividad biológica de los rodenticidas warfarina, difacinona, brodifacum, flocumafen, bromadiolona y fosfuro de zinc, a través de su consumo por *Sigmodon hispidus* y a la susceptibilidad que este roedor presenta a éstos, en caña de azúcar.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del orden Rodentia

Los roedores constituyen uno de los grupos de mamíferos más fecundos y numerosos de la tierra, debido a la extraordinaria capacidad para adaptarse a las diferentes condiciones geográficas, topográficas y climáticas, que han producido diversos ambientes; ésto les ha permitido sobrevivir con gran éxito (Sánchez-Cordero y Canela, 1991).

La rata cañera o algodónera *Sigmodon hispidus* se encuentra agrupada en el Orden Rodentia. Se caracteriza por poseer en la boca dos incisivos superiores y dos inferiores I (1/1), grandes, fuertes y curvos; los cuales crecen constantemente y se hallan separados de los dientes laterales por un amplio espacio conocido como diastema (Figura 1). Presenta tres molares superiores y tres inferiores M (3/3), carecen de premolares y colmillos (Hershkovitz, 1955). La morfología externa de *Sigmodon hispidus* es cilíndrica con cuello corto y grueso, cráneo robusto, cara bien desarrollada, y se encuentra cubierta de pelos. Las extremidades anteriores son más cortas que las posteriores. El tamaño y el color de los roedores dependen de la familia y la especie a la que pertenecen.

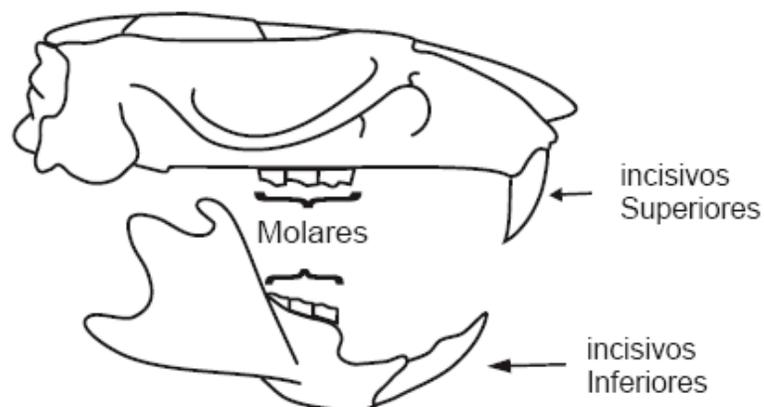


Figura 2.1. Vista lateral del cráneo de un roedor adulto (Hershkovitz, 1955).

El orden Rodentia abarca aproximadamente 1,700 especies, lo que representa el 40% de los mamíferos conocidos. Se considera que al menos 10% de las especies tienen importancia económica y/o sanitaria (Priotto y Polop, 1997).

En México se encuentran varias especies de roedores, cuyas características más importantes son la adaptabilidad y la flexibilidad del comportamiento individual. Los roedores ocasionan daños a los productos agrícolas en campo y a los productos almacenados (roedores comensales). Como ejemplos de éstos se tienen a la rata parda, noruega o de agua (*Rattus norvegicus*), la rata negra o rata de los tejados (*Rattus rattus*), el ratón doméstico (*Mus domesticus*, *M. musculus*) y los sigmodontinos (Priotto y Steinmann, 1999). Dentro de estos últimos están la rata cañera o algodонера (*Sigmodon hispidus*), la rata arrocera (*Oryzomys couesi*), la rata nopalera (*Neotoma mexicana*), y el ratón panza blanca (*Peromyscus boylii*); los cuales se han dispersado en todo el mundo, debido a sus diseños corporales simples, su alta tasa reproductiva, una alimentación generalista y un patrón de comportamiento complejo que les permitió evitar diversos intentos para su erradicación (Priotto *et al.*, 2002).

2.1.1. Características morfológicas de *Sigmodon hispidus*

Las ratas de esta especie son de talla mediana, cola fuerte y escamosa, pelo áspero de color grisáceo a negruzco en el dorso, con pelos amarillentos intercalados y en la parte ventral su pelaje es blanquecino a gris oscuro (Sánchez, 1981). La longitud de una rata adulta es de aproximadamente 204 a 380 mm, el largo de su cola es de 81 a 166 mm, la longitud de su pata trasera es de 25 a 41 mm. Sus hábitos son diurnos y nocturnos durante todo el año. Construye caminos superficiales, es buena nadadora, solitaria y sólo en épocas de reproducción se les encuentra en parejas, formando grandes colonias dominadas por un macho. Su ámbito hogareño tiene probablemente un radio aproximado de 30 m (Diffendorfer y Slade, 2002). Su hábitat es en pastizales y áreas cultivadas, cerca de zonas con depósitos de agua, ríos, lagunas y canales de riego. Se alimentan de tallos de

plantas suculentas, semillas, hierbas, insectos, carroña y huevos de aves (Sánchez, 1981). Se reproducen todo el año, son poliestros y muy fecundos. Su período de gestación es de aproximadamente 21 d, con tamaños de camadas de 1 a 12 crías. Los neonatos nacen con pelo, son móviles y con piel ligera, abren los ojos aproximadamente de 18 a 36 h después del nacimiento, se destetan a los 10 a 15 d y son precoces, ya que maduran sexualmente a los 40 d (Odum, 1955).



Figura 2.2. Rata adulta cañera o algodонера *Sigmodon hispidus* (Roger W. Barbour).

2.1. 2. Ubicación taxonómica de *Sigmodon hispidus*

Nombre común	Rata cañera o Rata algodонера
Phylum	Chordata
División	Vertebrata
Clase	Mammalia
Orden:	Rodentia
Familia	Cricetidae
Genero	<i>Sigmodon</i>
Especie	<i>Sigmodon hispidus</i> (Say et Ord)

2.1.3. Distribución de *Sigmodon hispidus*

Arita y Rodríguez (2004) reportaron que la rata de campo o algodонера (*S. hispidus*) se extiende desde América Central, México y la mayor parte del sureste de los Estados Unidos. La rata algodонера es una especie del género *Sigmodon*.

De acuerdo a Cameron y Spencer (1981), la especie *S. hispidus* está distribuida en gran parte del territorio Mexicano, principalmente en los estados de Jalisco, Morelos, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Chiapas y Oaxaca.

2.2. Generalidades de los métodos de control de roedores

Los métodos más comunes para el control de roedores se agrupan en cuatro categorías: físicos, culturales, biológicos y químicos:

Método Físico

Éstos emplean técnicas mecánicas para matar los roedores (trampas, palos, machetes, etc.), o barreras para excluir a los animales de ciertos lugares, excavando las madrigueras o cazándolos con perros. Estos son métodos tradicionales aún en vigencia debido a la poca inversión y a los resultados visibles inmediatos. Sin embargo, los costos en términos de tiempo y mano de obra son generalmente altos y los resultados en términos de reducción de poblaciones, son poco exitosos (Prescott *et al.*, 1997).

Método cultural

Consiste en la prevención de la invasión de roedores e incluye la utilización de diferentes técnicas fitosanitarias, tales como la eliminación de malezas y utilización de barreras físicas (plantas repelentes o de construcción) para impedir el paso de los roedores (Villa *et al.*, 1997).

Método biológico

Este es un tema de gran interés entre investigadores. Las estrategias comúnmente sugeridas incluyen la introducción de predadores, enfermedades o parásitos, modificación del hábitat, manipulación genética y variedades resistentes. No obstante, la efectividad de estas propuestas no ha sido comprobada ni práctica ni teóricamente, debido a que los roedores son oportunistas y se aclimatan fácilmente a diversos ambientes cuyas capacidades de carga también son diversas (Villa, 1995). La introducción de la mangosta *Herpestes auropunctatus*, como depredador, falló en Hawai como método para el control de roedores y produjo problemas colaterales en las cadenas alimenticias convirtiéndose en verdaderas plagas. Sin embargo, la manipulación genética y variedades resistentes de cosechas son aún solo teorías académicas (Vázquez, 2001).

Método químico

Los rodenticidas usados para el control de roedores se clasifican en dos categorías que son: (a) los agudos o de rápida acción, ejemplificados por el fosfuro de zinc; y (b) los crónicos de acción anticoagulante, que actúan lentamente después de varias dosis. Todos los rodenticidas son derivados de las hidroxycumarinas (cumarínicos o warfarínicos) o miembros relacionados con el grupo de las Indane – dionas (clorofacinona y difacinona). A continuación se describen cada uno de ellos (Greaves *et al.*, 1982).

a) Rodenticidas agudos. El origen de estos rodenticidas se remonta a varios miles de años y es extraordinariamente diverso, pero comparten varias características en común. El término *agudo* implica que los síntomas generalmente aparecen después de varios minutos y en algunos compuestos después de 12 h (Meehan, 1984), cuando se ha administrado una dosis efectiva. Este periodo de aparición de los síntomas está directamente relacionado con la dosis.

Algunos de éstos compuestos tienen la particularidad que cuando se administran en mayores dosis, los síntomas se presentan con mayor rapidez. Otra característica que tienen es que se usan en altas concentraciones y los compuestos que los componen son poco efectivos, muy pocos de ellos o casi ninguno tiene antídoto que contrarreste su acción.

El uso de rodenticidas agudos como tóxicos para los roedores, tuvo su origen en el comportamiento huidizo a nuevos objetos o alimentos en *Rattus norvegicus*; de tal manera que fue necesario utilizar productos que con la ingestión de una sola dosis tuviera el efecto deseado. Sin embargo, en algunos individuos esta respuesta no fue así, ya que la toma mínima no les producía la muerte pero si una asociación de malestar que les hacía evitar el consumo del tóxico (Prakash, 1988).

Hasta finales de la década de los 40, los rodenticidas agudos eran los únicos disponibles para el control de roedores. En la actualidad todavía se usan y son preferidos por las personas, a pesar de ser relativamente poco eficaces. La explicación á esto es que la gente, al ver los roedores muertos, piensa que el producto es efectivo; sin embargo, debido al desarrollo rápido de los síntomas, los roedores dejan de comer antes de volver a ingerir una dosis letal y los que sobreviven crean una aversión al producto o cebo. A esta respuesta se le conoce como “timidez al cebo”, la cual consiste en evitar el consumo del mismo cebo por un periodo de 3 a 4 meses. Este efecto puede ser disminuido con el uso de la técnica de ofrecimiento de cebos sin tóxico durante algunos días, antes de usar cebo envenenado; sin embargo, aún con esta práctica es difícil obtener más de un 60 a 70% de control (Greaves *et al.*, 1982). La capacidad reproductiva de los roedores es tan alta que las poblaciones se recuperan rápidamente; razón por lo que un programa de control exclusivamente con rodenticidas no es muy efectivo y el tratamiento que parecía barato, puede resultar en costos muy altos.

b) Rodenticidas crónicos ó anticoagulantes. Fueron descubiertos en 1921 cuando se informó en Alberta, Canadá, la existencia de una nueva enfermedad del ganado vacuno llamada enfermedad del trébol dulce. Esta se presentaba con hemorragias

provocada por algún daño o por medio de la castración, muchas veces mortal (Schofield, 1924). Más adelante, Roderick (1931) describe el mismo cuadro en el ganado en Dakota del Norte, señalando la existencia de una alteración coagulativa en los animales afectados y demuestra que la fracción protrombínica del plasma de animales sanos, corregía el defecto de la coagulación del plasma de los animales enfermos. Posteriormente Link (1944), estudió esta enfermedad en la Universidad de Wisconsin y concluyó con el aislamiento y síntesis del agente que causaba dichas hemorragias, que denominó dicoumarol. Investigaciones subsecuentes determinaron la eficiencia de este compuesto y de una serie de derivados sintéticos para el tratamiento de la trombosis humana. De estos, la warfarina fue el compuesto más activo y se le clasificó como un agente terapéutico efectivo y más tarde se le reconoció como un rodenticida eficiente (O'Coonor, 1948). Este compuesto es ampliamente utilizado hasta la fecha y sus primeras cuatro letras, WARF, responden a Wisconsin Alumni Research Foundation; institución responsable de su introducción.

El descubrimiento de los rodenticidas anticoagulantes fue uno de los hechos más grandes para el combate de los roedores plaga. Esencialmente, la primera generación de productos fueron derivados de las propiedades de la warfarina. Algunos fueron de más amplio espectro, otros más palatables y algunos otros más potentes. Se les considera de dosis múltiple, ya que para causar la muerte del roedor, éste necesita consumirlo por varios días para poder alcanzar la dosis letal.

Los anticoagulantes son sustancias que interfieren en el metabolismo de la vitamina K. Durante el proceso de fermentación la coumarina primero se oxida y se transforma en 4-hidroxycumarina; posteriormente dos moléculas de ésta reaccionan con una de formaldehído, dando lugar al dicoumarol. La similitud estructural de éste con la vitamina K hace que se establezca un antagonismo reversible entre ambas sustancias, el cual no consiste en una simple acción competitiva, sino en un mecanismo complejo (Whitlon *et al.*, 1978). Villa y Vázquez (2001) indicaron que los anticoagulantes como la warfarina actúan interrumpiendo el ciclo de la vitamina K en los microsomas del hígado. La vitamina K es esencial para la síntesis de los factores de coagulación. MacNicoll (1986) mencionó que los anticoagulantes inhiben la

formación de estos factores y la protombina al convertirse en trombina, no se encuentra disponible para actuar como fibrinógeno formador de la fibrina coaguladora de la sangre. Las manifestaciones tóxicas se muestran algunos días después de la ingestión, porque se requiere tiempo para la desaparición de los factores coaguladores de la sangre. La muerte del individuo es causada por hemorragias internas.

Villa y Vázquez (2001) mencionaron que durante el periodo de 1950 a 1970, muchos anticoagulantes fueron comercializados colectivamente, se les llamo “compuestos de primera generación”, se dice que la acción de estos productos es acumulativa. Mabbett (2005) mencionó que el roedor necesita consumir dosis repetidas del producto para causarle la muerte, ya que una dosis, únicamente bloquea el proceso de la coagulación por periodos cortos. El éxito al utilizar éstos productos para el control de roedores radica en contar con varias formas de suministro en las poblaciones; por ejemplo que los roedores tengan acceso libre y suficiente para ingerir varias raciones repetidas. Es necesario administrar los productos reiteradamente por un método que se llama de repleción o pulseo, o también llamado de saturación (Greaves *et al.*, 1982).

2.3. Resistencia a los rodenticidas anticoagulantes

Boyle (1960) detectó por primera vez la resistencia a los rodenticidas anticoagulantes (warfarina) en la rata parda (*Rattus norvegicus*) y el raton casero (*Mus musculus*). Poco tiempo después la resistencia se hizo evidente en otras especies, la mayoría de los informes provenían de Europa; sin embargo, la resistencia en roedores comensales fue documentada en E.U., Canadá, Japón y Australia (Dodsworth, 1961).

En un principio se creyó que los roedores sólo eran resistentes a la warfarina, pero posteriormente se estableció que habían desarrollado un factor de “resistencia a anticoagulantes”. Con base en lo anterior, se efectuaron trabajos en especies resistentes y así se logró desarrollar una segunda generación de rodenticidas

anticoagulantes. Éstos compuestos se diferencian de la primera generación en que sólo se requiere consumir una dosis menor y única; son considerados más potentes y activos contra la mayoría de las especies de roedores, aún para los que presentan resistencia a otros productos (Greaves *et al.*, 1982; Jonhson, 1988; MacNicoll and Gill, 1987; Rowe *et al.*, 1981).

Existe una resistencia natural, genética que permite que algunos de ellos sobrevivan lo que origina que los individuos generen una resistencia cada vez mayor a los diferentes plaguicidas, esto ocasiona que al perder efectividad, se aumenten las dosis de aplicación y/o se cambién por otros más potentes. La resistencia a los anticoagulantes es definida por Greaves *et al.* (1988) como la pérdida de la eficacia de los químicos en condiciones de campo, cuando el anticoagulante ha sido aplicado correctamente. La pérdida de eficacia aparece cuando un linaje de roedores manifiesta una reducción de la susceptibilidad al anticoagulante. La resistencia puede ser definida como natural, bioquímica y genética (Villa y Vázquez, 2001).

Resistencia natural. Pocas especies de roedores manifiestan baja sensibilidad a ciertos anticoagulantes. Existen evidencias que el ratón de Egipto (*Acomys cahirinus*) es naturalmente resistente a la warfarina; sin embargo, aún no se tienen pruebas contundentes de que sea de manera natural, si se considera que éste producto ha sido utilizado en grandes extensiones desde hace mucho tiempo (Villa y Vázquez, 2001). Greaves (1985) observó que existe una resistencia natural a la warfarina en 10 especies de roedores, alimentados con cebos que contenían warfarina a 250 ppm y comprobó que se necesitan varios días para alcanzar la dosis letal 50 (DL₅₀). Por otra parte, Buckle y Smith (1994) comprobaron que la sal de hidroxycumarina al 0.2 % en dosis única, no produce la muerte de los roedores plaga. También se ha observado que el hámster sirio (*Mesocricetus auratus*) es relativamente tolerante a diversos coagulantes de primera generación. No obstante, es importante distinguir las especies que han desarrollado resistencia por causas no naturales, de aquellas que poseen originalmente un cierto nivel de resistencia natural (Villa y Vázquez, 2001). Ya que es señalado, que la resistencia potencial de las ratas

a la dosis letal del rodenticida anticoagulante, se observa cuando el mismo producto es utilizado por largos períodos de tiempo en una región o zona determinada (Desley, 1996; Donald, 1998; Kanakasabair y Saravanan, 1999).

Resistencia bioquímica. La estructura molecular de los anticoagulantes derivados de la warfarina es similar a la vitamina K, que es fundamental en el proceso de coagulación de la sangre (Laborde y Burger, 1992). Cuando la sangre escapa de un vaso sanguíneo, las plaquetas se descomponen y liberan enzimas denominadas tromboquinasas. Por la acción de la tromboquinasa, la protombina, en presencia de iones de calcio se convierte en trombina. Esta enzima transforma el fibrinógeno presente en la sangre en fibrina sólida y produce la coagulación o cierre de las heridas (Villa y Vázquez, 2001). Se supone que la resistencia se observa cuando los anticoagulantes están en el ambiente por periodos largos lo que ocasiona que éstos pierdan efectividad, también cuando los roedores tienen acceso a alimentos con alto contenido de vitamina K, la ventaja evidente en la selección de los anticoagulantes que muestran resistencia en control de roedores puede ser el uso limitado a la vitamina K (Partridge, 1979; Smith *et al.*, 1991).

Los anticoagulantes inhiben la epóxico–reductasa y bloquean el reciclado de la vitamina K hidroquinona (Buckle and Smith, 1994); sustituyen la vitamina K formadora de la protombina por su semejanza en la estructura molecular. Inicialmente se pensó que los mecanismos de resistencia bioquímica se basaban únicamente en estudios de aumento o disminución de la vitamina K–epoxi reductasa (inhibidora de la coagulación) y la vitamina K quinona–reductasa, que inhibe la susceptibilidad a la warfarina. Sin embargo, el avance de las investigaciones indica que posiblemente un sistema de enzimas esté involucrado en la síntesis de la vitamina K (Villa y Vázquez, 2001). El resultado de tales iniciativas indicó que factores tales como condiciones ambientales, tipo de resistencia y las frecuencias del genotipo, varían en respuesta con el requerimiento de vitamina K, por lo que se requiere seleccionar ratas que muestren un requerimiento de vitamina K limitado (MacNicoll *et al.*, 2001).

Resistencia genética. Genéticamente se ha determinado resistencia en humanos a la droga anticoagulante conocida como coumarina, la cual es utilizada también como rodenticida. Esta fue la primera evidencia de resistencia que fue reportada por O'Reilly *et al.* (1964). Desde entonces es la más conocida y estudiada a fondo como ejemplo de posesión de resistencia a rodenticidas en vertebrados (Villa y Vázquez, 2001).

Villa y Vázquez (2001) mencionaron que la resistencia a la warfarina se detectó por primera vez en *R. norvegicus* en Escocia en 1958 (Boyle, 1960) y también en la frontera entre Inglaterra y Gales (Drummond y Bentley, 1967). Posteriormente en 1979 se reportó en 36 de 77 ciudades de Estados Unidos, donde más del 10% de la población de *R. norvegicus* presentaba resistencia a la warfarina (Jackson and Ashton, 1980). Se encontró que tal resistencia estaba relacionada con un gen autosomal, estrechamente ligado al gen que controla el color del pelaje, el cual ha sido mapeado en el cromosoma del grupo I (Greaves y Ayres, 1969). Estudios de resistencia en ratas de campo muestran que hay por lo menos tres genes homólogos al gen de la resistencia *Rw* (Jackson *et al.*, 1988). Recientemente se demostró la presencia de un gen con mayor resistencia a la warfarina en el ratón doméstico (*Mus musculus*) y la rata noruega (*Rattus norvegicus*), ligados a los cromosomas 7 y 1 respectivamente, en una posición genéticamente análoga a *Rw* (Greaves y Ayres, 1967; Kohn y Pelz, 1999; Wallace y Macswiney, 1976). La resistencia en rata negra (*Rattus rattus*) fue observada en un gen multifactorial (Greaves *et al.*, 1976). Se encontró que un gen recesivo modificaba al gen *Rw* para transferir resistencia al difenacum en individuos que presentaban resistencia a la warfarina (Greaves y Ayres, 1988).

2.4. Características de los rodenticidas en estudio

2.4.1. Rodenticidas agudos

a) Fosfuro de zinc Zn_3P_2 [Registro 1314-84-7]. Este es el rodenticida agudo más utilizado y puede ser adquirido fácilmente por cualquier persona. Es un polvo gris oscuro que tiene una pureza de 80 a 95 % y es tóxico para una amplia gama de especies de roedores (Villa y Vázquez, 2001). Es un compuesto de acción rápida ya que ocasiona la muerte del individuo en un período de 24 horas después de ingerir una dosis adecuada (1 al 5%). Sin embargo, con dosis bajas puede tomar de 2 a 3 días para que haga efecto. No hay antídoto para este tipo de veneno. El fosfuro de zinc libera el gas fosfina en presencia de la humedad; dicho gas tiene un olor desagradable a los seres humanos, al parecer es inofensivo a los roedores. Está disponible como concentrado en polvo para la formulación de cebos y como cebos preparados. Los cebos a base de granos son peligrosos a los pájaros, mientras que los cebos secos protegidos de la lluvia son efectivos por un período más prolongado (Prakash, 1988). A pesar de su amplio uso, no hay hasta el momento información sobre pruebas de eficiencia tanto en laboratorio como en campo. Hood (1972) revisó la efectividad de este compuesto en campo en E.U.A. y obtuvo disminución de las poblaciones de roedores. Rennison (1976) realizó pruebas en Gran Bretaña, y obtuvo una reducción de las poblaciones de *Rattus norvegicus* del 84%, al usar una concentración del 2.5% con un programa de cebado previo; sin embargo, a West *et al.* (1975) no les fue posible demostrar la eficiencia del producto en Filipinas, por lo que no hay una certeza de que el producto sea efectivo en el campo.

2.4.2. Rodenticidas crónicos o anticoagulantes

a) Warfarina $C_{19}H_{16}O_4$ [Registro 81-81-2]. La warfarina fue el primer anticoagulante introducido en el mercado para el control de roedores, por una compañía alemana en 1950. Es capaz de matar el 90 % de la población en un periodo de 2 a 12 días, con una dosis de 0.05 mg/kg (Meehan, 1984). Las manifestaciones tóxicas se muestran

algunos días después de la ingestión, porque se requiere tiempo para la desaparición de los factores coaguladores de la sangre; la muerte es causada por hemorragia (Pimentel, 1991). Las poblaciones de roedores que presentan resistencia a la warfarina se encuentran en áreas donde ésta se ha usado por muchos años; se recomienda utilizar otros tóxicos donde se presentan problemas de resistencia. La warfarina está disponible como concentrado y en cebos preparados. La sal de sodio se utiliza para preparar cebos líquidos.

b) Difacinona $C_{23}H_{16}O_3$, [Registro 82-66-6]. Su actividad anticoagulante fue primeramente descrita en 1952 y desarrollada como rodenticida por la Niagara Chemical Division of Ford Machinery and Chemical Corporation en E.U.A., donde es ampliamente utilizada. La difacinona no tiene olor, forma cristales amarillos y tiende a degradarse al contacto con el suelo y está clasificado como un compuesto ligeramente tóxico (Meehan, 1984). Se encuentra disponible como concentrado y en otras presentaciones a base de cacahuete, manzana, chocolate, pescado o cebos de carne condimentada. Está también disponible como concentrado soluble en agua. Es más tóxico en los perros, comparado con otros anticoagulantes, eficaz a roedores que no presentan resistencia.

c) Bromadiolona $C_{30}H_{23}BrO_4$ [Registro 28772-56-7]. La bromadiolona es un sólido blanco derivado de la hidroxycumarina, al igual que el brodifacum es altamente tóxico suficientemente potente para matar, con una sola aplicación, a roedores que han manifestado resistencia a la warfarina (Redfern y Gill, 1980). Es frecuentemente usada para combatir ratas y ratones por medio de cebos a una concentración de 0.05%, la muerte ocurre generalmente después de 6 a 8 días aún cuando la dosis inicial sea mortal. Se recomienda la aplicación del producto en pellets y bloques parafinados en lugares donde hay problemas de humedad. Se encuentra disponible en diversas formulaciones incluyendo cebos de granos enteros y bajo diversas marcas comerciales, como Cereal B, Maki y Lanirat.

d) Brodifacum $C_{32}H_{23}BrO_3$ [Registro 56073-10-0]. El brodifacum es el más potente de los anticoagulantes de segunda generación. Este compuesto ha sido evaluado tanto en laboratorio como en campo a una concentración de 0.05%, ha mostrado gran efectividad en el control de las poblaciones de roedores plaga comensales y de la agricultura. Se ha comprobado que una dosis diaria que oscile entre 0.035 a 0.05 mg/kg, es suficiente para producir una mortalidad del 50% de ratas y ratones resistentes a la warfarina; por lo que, en algunos casos, el brodifacum es utilizado como “rodenticida de aplicación única” (Rennison y Dubock, 1978). Está disponible como cebo a base de granos y como bloques parafinados. Los peligros secundarios para la fauna son posibles, pero la investigación actual indica que son bajos cuando el brodifacum se utiliza para el control de roedores comensales alrededor de edificios. Se le puede hallar en el mercado con el nombre de Talon, Volak y Klerat.

e) Flocumafen ($C_{33}H_{25}F_3O_4$) [Registro 90035-08-8]. El flocumafen fue introducido en 1984 y desarrollado por la Shell Research Ltd (Bowler *et al.*, 1984). El flocumafen es un potente rodenticida, puede presentar un peligro secundario a la fauna silvestre en general y a los animales domésticos. Se utiliza tanto para el control de roedores urbanos como de zonas agrícolas y es efectivo contra roedores resistentes a otros anticoagulantes. Se le puede hallar con el nombre de Storm, cuya presentación es un cubo de cera que contiene 0.05% del ingrediente activo.

2.5. Daños por roedores

Las ratas atacan la caña de azúcar en todas las etapas de su crecimiento. Sin embargo, el daño es más notorio a partir de la etapa de amacollamiento hasta la cosecha, donde se han detectado mordeduras de hasta 3 cm en la base de la planta, originando en muchos casos el acame de los tallos (Flores y Abarca, 1961). Las pérdidas en términos de contenido de azúcar, se deben no solo a que las ratas comen caña, sino también a que la dejan propensa o susceptible a la infección por enfermedades causadas por bacterias, virus y hongos (Del Villar, 1992).

Sigmodon hispidus además de ser la especie más abundante es la que causa el mayor daño en el cultivo. La hembra presenta una fuerte asociación al hábitat adyacente o próximo al cultivo de caña, principalmente dominado por gramíneas; la rata se alimenta de estos cultivos adyacentes y utiliza a la caña como refugio (Villa y Vázquez, 2001), reafirmando la hipótesis de que la caña de azúcar no es alimento que aporte los requerimientos nutricionales de *S. hispidus* (Garrison y Berdenstein, 1970). Contrario a la mayoría de las especies de roedores que viven en el interior de este monocultivo y cumplen ahí su ciclo biológico, consumiendo una gran variedad de semillas y recursos provenientes de este hábitat, contribuyendo de esta manera al funcionamiento de los ecosistemas (Cameron y Spencer, 1981).

Para llevar a cabo un programa de control es indispensable estimar la cantidad de daño o la cantidad de roedores en el cultivo, para poder decidir las acciones a tomar y el momento más adecuado para llevarlas a cabo (Castillo, 1988; Walsh *et al.*, 1976). En el cultivo de caña de azúcar, esta tarea es difícil debido principalmente a que es muy complicado penetrar al cultivo cuando éste ya está maduro, por lo que regularmente los agricultores se dan cuenta del daño hasta que éste se hace presente en las orillas del cultivo; por lo tanto, en ese momento las pérdidas causadas por las ratas son considerables (Greaves, 1982; Prescott *et al.*, 1997).

El daño causado por los roedores no se encuentra distribuido de forma uniforme, es común observarlo en pequeños parches y no está presente durante todo el año en el ciclo agrícola del cultivo. La cantidad de daño puede medirse por medio de conteos de tallos dañados en pequeñas áreas de muestreo dentro del cultivo. Los porcentajes de tallos dañados han sido relacionados con la cantidad de pérdidas en el cultivo (Lefebvre *et al.*, 1976; Prescott *et al.*, 1997).

Los programas de control químico aplicados en la región, hacen énfasis en la reducción de la población únicamente en cierto tiempo, contrario a lo propuesto por programas de control realizados con éxito en otras regiones (Jackson, 1977).

Asimismo, se reporta que es necesario actuar en tiempos previos a la reproducción con métodos químicos y disminuir la oferta de recursos que el entorno le ofrece al roedor, consecuentemente aportan soluciones permanentes al problema (Stenseth, 1981; Davis, 1982). Esto se consigue a base de entender los mecanismos que regulan los procesos poblacionales en el contexto agroecológico.

El manejo integrado constituye el uso de todos los recursos disponibles con el propósito de mantener las poblaciones de plagas por debajo del umbral económico, donde el daño hecho no justifique el costo de un esfuerzo más de acción. Esta filosofía se fundamenta en la combinación de técnicas y métodos con una visión amplia, en el sentido de que las técnicas son evaluadas y consolidadas dentro de un programa unificado, cuya mejor combinación permite que la plaga subsista sin causar daños económicos al mismo tiempo que se minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente (FAO, 1984).

2.6. Normas regulatorias mexicanas para el uso de productos químicos

El antecedente más cercano de un órgano regulador del manejo de los plaguicidas en México, fue la creación de la Comisión Intersecretarial para el Control y Proceso de Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST), por decreto federal el 15 de octubre de 1987. Funge como una figura coordinadora de las dependencias secretariales, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) y de Salubridad y Asistencia (SSA); con el fin de legislar y establecer normas jurídicas tanto a nivel estatal como nacional en todo lo relacionado con plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas para el uso adecuado de los mismos (CICOPLAFEST, 1993).

Dentro de las primeras actividades sobresalientes de éste órgano intersecretarial fue la generación de la Norma Oficial NOM-054-ECOL-1993 que proponía regulaciones al uso de plaguicidas; no obstante se seguían utilizando

sustancias químicas altamente tóxicas y peligrosas, cuyos convenios de adquisición se realizaron durante el periodo de 1950 a 1970, cuando la introducción de éstas sustancias a nuestro país se hizo de manera desmedida. Tal hecho despertó la preocupación de la FAO, que generó en 1985 el Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas; en 1987 también se estableció el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con oficinas en Londres, para el intercambio de información acerca de productos químicos objeto de comercio internacional. En 1989 se añadió el procedimiento denominado Información y Consentimiento Previos (PIC), para contribuir al control de la importación de productos químicos que han sido prohibidos o rigurosamente restringidos y no se desea recibir (SEMARNAP, 1996a).

A pesar de éstas medidas y de las normas regulatorias como la NOM-032-FITO, 1997 que establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico; la realidad del uso, distribución, comercialización y transporte de los plaguicidas actualmente en México es arbitraria (Villa y Vázquez, 2001).

En 1994, se creó un nuevo decreto federal que da vigencia a la Ley de Sanidad Vegetal, bajo la observancia de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), que tiene como misión promover y vigilar las disposiciones fitosanitarias, regular la efectividad biológica, aplicación, uso y manejo de plaguicidas para el control de las plagas agrícolas (SEMARNAP, 1996b). Esto queda de manifiesto en el control de roedores, donde existen numerosas interrogantes sobre el manejo de sustancias tóxicas, algunas prohibidas o restringidas por las normas oficiales mexicanas, éstas año con año son utilizadas de forma masiva, sin lograr el éxito en el control de la plaga. Así como las dosis recomendadas y sobre todo, la carencia de informes oficiales sobre las consecuencias a la salud humana que conlleva un mal manejo (Villa y Vázquez, 2001).

Los compuestos rodenticidas con alta toxicidad para la fauna blanco y para la salud humana como el monofluoroacetato de sodio, los fosforados (Zinc y Aluminio), los gases de Bromuro de metilo, entre otros, son usados año con año en controles masivos de roedores, bajo dosis y concentraciones muy variadas, sin lograr el éxito esperado en el control de la plaga (Vázquez, 2001). Es por ello que surge la necesidad de diseñar estrategias de control basadas en los principios de un programa de manejo integrado de plagas, con el fin de elegir métodos prácticos y operativos que nos conduzcan a minimizar el uso y mal manejo de los rodenticidas (Villa y Vázquez, 2001).

2.7. BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. 1993. La capacitación y desarrollo tecnológico en el campo cañero mexicano. Simposio Nacional, Tomo II, CRECIDATH. Colegio de Posgraduados. GEPLACEA. Xalapa, Veracruz. 6 p.
- Arita, H.T. y Rodríguez, G. 2004. Patrones geográficos de diversidad de los mamíferos terrestres de América del Norte. Instituto de Ecología, UNAM. Base de datos SNIB-Conabio proyecto Q068. México, D.F.
- Bowler, D.J.; Entwistle, I.D. and Porter, A.I. 1984. WL108366 a potent new rodenticide. Proceeding 1984. British Crop Protection. Conference Pest and Diseases, Brighton 2: 37-404.
- Boyle, C.M. 1960. Case of apparent resistance of *Rattus norvegicus* to anticoagulant poison. Nature. London 188: 517.
- Buckle, A.P. 1999. Rodenticides- Their role in rodent pest management in tropical agriculture. Ecologically-based management of rodent pests. *In*: Singleton G.R.; Hinds, L.A.; Leirs, H. and Zhang, Z. (Eds.). ACIAR, Canberra, Australia. pp. 163-177.

- Buckle, A.P. and Smith, R.H. 1994. Rodent Pest and their control. Ed. Centre for agriculture and biosciences international. Oxon, U.K., CAB International, England. pp. 132-156.
- Cameron, G.N., S.R. Spencer. 1981. Mammalian Species. American Society of Mammalogists 158:1-9.
- Castillo, O.M. 1988. Los Municipios de Sinaloa. Centro Estatal de Estudios Municipales de Sinaloa. Centro Nacional de Estudios Municipales de la Secretaría de Gobernación. Colección: Enciclopedia de los Municipios de México. México.
- CICOPLAFEST. 1993. Catalogo oficial de plaguicidas. Subcomité de estudios de Sanidad Agropecuaria, Ecológica y Salud Humana. México.
- Davis, D.E. 1982. Rodent control strategy. *In*: Pest control strategies for the future. Washington, D.C., National Academy of Sciences. pp. 157–171.
- Del Villar, G.D. 1992. Métodos para evaluar daños causados por los roedores en agroecosistemas. Unidad de Referencia en Roedores, Aves y Malezas SAGARPA. Cuernavaca, Morelos. 62 p.
- Desley, W. 1996. Rodenticides for control of Norway Rats, roof rats and house mice. Poultry Fact Sheet 34 (23):154-158.
- Diffendorfer, E.J. and Slade, A.N. 2002. Long-distance movements in cotton rats (*Sigmodon hispidus*) and prairie voles (*Microtus ochrogaster*) in Northeastern Kansas. Journal of Mammalogy 148: 309-319.
- Dodsworth, E. 1961. Mice are spreading despite such poisons as warfarin. Mining engineer. London 16 (68): 37-46.

- Donald, J.E. 1998. Roedores como plagas de productos almacenados; control y manejo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Oficina Regional para América Latina y el Caribe y la Red de Información sobre operaciones poscosecha. Denver Wildlife Research Centre. Santiago, Chile. 42 p.
- Drummond, D.C. and Bentley, E.W. 1967. The resistance of rodent to warfarin in England and Wales. *In: EPPO Report of the International Conference on Rodents and Rodenticides*. Paris. pp. 56-67.
- FAO. 1980. Boletín Fitosanitario. Pautas para el empleo de la clasificación de los plaguicidas según sus riesgos. Sistema recomendado por la OMS. Boletín Fitosanitario de la FAO 28 (1): 52 p.
- FAO. 1984. Roedores como plagas de productos almacenados; control y manejo. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Santiago de Chile. 427 p.
- Flores, C.S. 1983. Curso sobre las plagas y enfermedades de la caña de azúcar. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. IMPA. México. 30 p.
- Flores, C.S. y Abarca, R.M. 1961. Principales plagas de la caña de azúcar en México. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. IMPA, MEXICO 4: 36-37.
- Garrison, H.V. and Berdenstein, C.P. 1970. Digestion of sugarcane by the Polynesian rat. *Journal of Wildlife Management* 34 (3): 520-522.

- Greaves, J.H. 1982. Rodent control in agriculture. FAO Plant Production and Protection Paper No. 40. Food and Agriculture Organization. United Nations, Rome. Italy 88 p.
- Greaves, J.H. and Ayres, P.B. 1967. Heritable resistance to warfarin in rats. *Nature*. London 215: 877-878.
- Greaves, J.H. and Ayres, P.B. 1969. Some rodenticidal properties of coumatetralyl. *Journal of Hygiene Cambridge* 67: 311-315.
- Greaves, J.H. and Ayres, P.B. 1988. Genetics of difenacoum resistance in the rat. *In: Suttie J.W. (Ed.), Current Advances in Vitamin K Research, Elsevier. N.Y., pp. 381-388*
- Greaves, J.H.; Redfern, R. and Anasuya, B. 1976. Inheritance of resistance to warfarin in *Rattus rattus* L. *Journal of stored products research*. London. 12: 65-70.
- Greaves, J.H.; Richards, C.G.J. and Buckle, A.P. 1988. An investigation of the parameters of anticoagulants treatment efficacy. *Bulletin EPPO* 18: 211-221.
- Greaves, J.H.; Shepherd, D.S. and Gill, J.E. 1982. An Investigation of difenacoum resistance in Norway rat populations in Hampshire. *Annals of Applied Biology* (100): 581-587.
- Greaves W.S. 1985. The mammalian postorbital bar as a torsion resisting helical strut. *Journal of Zoological*. London 207:125–136.
- Hampson, S.J. 1984. A review of rodent damage to sugar cane with criteria for the use of rodenticides. *In: Dubock, A.C. Proceedings of a Conference on: The*

Organization and Practice of Vertebrate Pest Control. Imperial Chemical Industries PLC, Surrey, England. pp. 227-251.

Hershkovitz, P. 1955. South America marsh rats, genus *Holochilus*, with a summary of *Sigmodon* rodents. Fieldiana: Zoology. Chicago. Museum Natural History 37: 639-673.

Hood, G.A. 1972: Zinc phosphide-A new look at an old rodenticide for field rodents. *In: Proceedings of the 5th Vertebrate Pest Conference*. Fresno, California. Department of Wildlife, Fish and Conservation Biology, University of California, Davis, USA. (5): 85-92.

Jackson, W.B. 1977. Evaluation of rodent depredations to crops and stored products. Bulletin EPPO 7(2): 439 – 458.

Jackson, W.B. and Ashton, A.D. 1980. Present distribution of anticoagulant resistance in the United States. *In: Vitamin K Metabolism and Vitamin k-dependent Proteins*, 8th Steenbock Symposium. Suttie. J.W., ed. Baltimore: University Press. pp. 392-397.

Jackson, W.B.; Ashton, A.D. and Delventhal, K. 1988. Overview of anticoagulant usage and resistance. *In: Suttie, J.W. (ed.) Current Advances in Vitamin K Research*. Elsevier, Amsterdam. pp. 381-388.

Johnson, R.A. 1988. Performance studies with the new anticoagulant rodenticide, flocoumafen, against *Mus domesticus* and *Rattus norvegicus*. EPPO Bulletin 18: 481-488.

Kanakasabair, R. and Saravanan, K. 1999. Field evaluation of anticoagulant rodenticides, bromadiolone and difethialone in surgacane fields of Couvery delta. Indian Journal of Experimental Biology 37:56-60.

- Kohn, M.H. and Pelz, H.J. 1999. Genomic assignment of the warfarin resistance locus, *Rw*, in the rat. *Mammalian Genome* 10: 696-698.
- Laborde, A. y Burger, M. 1992. Intoxicación aguda por plaguicidas. *Medica Integral*. Madrid, España 20: 508-514.
- Lefebvre, L.W.; Holler, N.R. and Ingram, C.H. 1976. Studies of rodent damage and rodent population dynamics in Florida sugar cane. *Proceeding of American Society of Sugarcane*. 5 p.
- Link, K.P. 1944. The anticoagulant from spoiled sweet clover hay. *The Harvey lecture series* 39: 162-216.
- Mabbett, T. 2005. Plagas: control de roedores en granos y raciones. *Agricultura de las Americas*. Breñaña 50 (1): 3 p.
- MacNicoll, A.D. 1986. Resistance to 4-hydroxycoumarin anticoagulants in rodents. *In*: National Research Council. *Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. Washington, D.C. pp. 87-99.
- MacNicoll, A.D.; and Gill, J.E. 1987. The occurrence and significance of rodenticide resistance in the UK. *In* *British Crop Protection Council Monograph*. pp. 85-95.
- MacNicoll, A.D.; Dennis, N.J.; Atterby, H.; Hudson, A.; Langton, S.; Kerins, G.M. and Gill, J.E. 2001. Fitness effects of different alleles of the warfarin resistance gene -implications for resistance management. *In*: Pelz, H.-J.; Cowan, D.P. and Feare, C.J. 1999 eds. *Advances in vertebrate pest management II. Proceedings of the 2nd European vertebrate pest management conference*, Braunschweig. Fürth, Filander-Verl, *Zoological Library* 2: 171–180.

- Meehan, A.P. 1984. Rats and Mice, their Biology and Control. Rentolkil Ltd. East Grinstead, U.K. 383 p.
- O'Coonor, J.A. 1948. The use of blood anticoagulant for rodent control. Research, London (1): 334-336.
- Odum, P.E. 1955. An eleven-year history population of *Sigmodon hispidus*. Journal of Mammology. 36: 368-378.
- O'Reilly, R.A.; Aggeler, P.M.; Silvija, H.M.; Leong, L.S. and Kropatkm, M.L. 1964. Hereditary transmission of exceptional resistance to coumarin anticoagulant drugs. New England Journal of Medicine 271: 809-815.
- Parshad, V.R. 1999. Rodent control in India. Integrated Pest Management Reviews 4: 97-126.
- Partridge, G.G. 1979. Relative fitness of genotypes in a population of *Rattus norvegicus* polymorphic for warfarin resistance. Heredity 43: 239-246.
- Pimentel, D. 1991. Handbook of Pest Management in agriculture. CRC Press. Boca Raton. Florida 1 (2): 749-765.
- Prakash, I. 1988. Bait shyness and poison aversion. *In*: Prakash, I. (eds) Rodent Pest Management. CRC Press, Florida. pp. 321-329.
- Prescott, C.V.; Villa, B. and Sanchez-Cordero, V. 1997. Rodent Control in the Sugarcane Crop Complex of Veracruz, Mexico. International Society of Sugarcane Technologists. International Workshop on the Pests of Sugarcane. Culiacan, Sinaloa, Mexico 74: 1-6

- Priotto, J.W. and Polop, J.J. 1997. Space and time use in syntopic populations of *Akodon azarae* and *Calomys venustus* (Rodentia, Muridae). *Mammalian Biology (Z. Säugetierkunde)* 62: 30-36.
- Priotto, J.W. and Steinmann, A.R. 1999. Factors affecting home range size and overlap in *Akodon azarae* (Muridae: Sigmodontinae) in natural pasture of Argentina. *Acta Theriologica* 44: 37-44.
- Priotto, J.W.; Steinmann, A. and Polop, J. 2002. Factors affecting home range size and overlap in *Calomys venustus* (Muridae: Sigmodontinae) in Argentine agroecosystems. *Mammalian Biology (Z. Säugetierkunde)* 67: 97-104.
- Redfern, R. and Gill, J.E. 1980. Laboratory evaluation of bromadiolone as a rodenticide for use against warfarin-resistant and non-resistant rats and mice. *Journal of Hygiene. Cambridge* 84: 263–268.
- Rennison, B.D. 1976. A comparative field trial, conducted without pre-treatment census baiting, of the rodenticides zinc phosphide, thallium sulphate and gophacide against *Rattus norvegicus*. *Journal of Hygiene, Cambridge* 77: 55-62.
- Rennison, B.D. and Dubock, A.C. 1978. Field trial of WBA 8119 (PP581, brodifacum) against warfarin-resistant infestations of *Rattus norvegicus*. *Journal of Hygiene, Cambridge*. 80: 77-82.
- Roderick, L.M. 1931. A problem in the coagulation of the blood; "sweet clover disease of the cattle". *American Journal of Physiology* 96:413-416.
- Rowe, F.P.; Plant, C.J. and Bradfield, A. 1981. Trials of the anticoagulant rodenticides bromadiolone and difenacoum against the house mouse (*Mus musculus L.*). *Journal of Hygiene. London* 87: 171-177.

- Sánchez-Cordero, V. y Canela, M. 1991. Estudio poblacional de roedores en un bosque de pino del Eje Neovolcanico Transversal Mexicano. Anales del Instituto Biología. UNAM, Serie Zoología 62: 319-340.
- Sánchez, N.F. 1981. Roedores y lagomorfos de México. 1a Edición. Colegio de Ingenieros Agrónomos de México. A. C. México. 247 p.
- SEMARNAP. 1996a. Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. Serie Plaguicidas, num. 3. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. 17 p.
- SEMARNAP. 1996b. Evaluación de los riesgos para la salud y el ambiente de los plaguicidas. Serie Plaguicidas, num. 2. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. 20 p.
- Schofield, F.W. 1924. Damaged sweet clover; the cause of a new disease in cattle simulating hemorrhagic septicemia and blackleg. Journal of the American Veterinary Medical Association 64: 553-556.
- Smith, P.; Townsend, M.G. and Smith, R.H. 1991. A cost of resistance in the brown rat: reduced growth rate in warfarin resistant lines. Functional Ecology 5: 441-447.
- Stenseth, N.C. 1981. How to control pest species: application of models from the theory of island biogeography in formulating pest control strategies. Journal of Applied Ecology 18: 773-794.
- Taylor, K.D. 1972. The rodent problem in tropical agriculture. East African Agriculture. Journal of Forestry 18 (1): 81-88.
- Vázquez, L.I. 2001. Abundancia de *Sigmodon hispidus*, *Oryzomys couesi* y *O. chapmani*, en la Región cañera de la Cuenca del Papaloapan, Ver. Mex. Agrociencia 38 (4): 5-13.

- Vazquez, L.I. 2005. Factores que intervienen en las fluctuaciones poblacionales de *Sigmodon hispidus* (Rodentia: Cricetidae) en agroecosistemas cañeros, Veracruz, México. Tesis de doctorado. Colegio de postgraduados. Montecillo, Estado de México. México. 66 p.
- Villa, C.B. 1995. Estudio ecológico preliminar de los roedores plaga en áreas agrícolas. Estudio evaluatorio piloto. Instituto de Biología. UNAM. Veracruz México. pp. 6 - 7.
- Villa, C.B.; Sanchez-Cordero, V.; Prescott, C.V. and Wilson, J.C. 1997. Population Ecology of the Cotton Rat *Sigmodon hispidus* at Agricultural Fields in Veracruz, Mexico. Seventh International Theriological Congress, Acapulco, Mexico. 362 p.
- Villa, C.B. y Vázquez, L.I. 2001. Estudios de efectividad biológica con rodenticidas. *In*: Bautista MN, Díaz GO. (Eds.) Bases para realizar estudios de efectividad biológica de plaguicidas. México. pp. 51 -61.
- Villa, C.B. and Whisson, D. 1995. Los roedores plaga como un problema en cultivos de caña de azúcar. Ciencia y Desarrollo. CONACYT 21: 62-69.
- Villa, C.B.; Wilson, J. y Whisson, D. 1993. Los Roedores Plaga como un problema en los ecosistemas agrícolas: un enfoque a los cultivos de caña de azúcar. *In*: Simposio Nacional. Xalapa, Veracruz, México. pp. 45-52.
- Wallace, M.E.; and Macswiney, F.J. 1976. A major gene controlling warfarin-resistance in the house mouse. Journal of Hygiene. London 76: 173-181.
- Walsh, L.E.; Holler, N.R.; Decker, D.G. and Ingram, C.R. 1976. Studies of rodent damage and rodent population dynamics in Florida sugarcane. Proceedings of the American Society of Sugar Cane Technol 5: 227-230.

- West, R.R.; Fall, M.W. and Libay, J.L. 1975. Field trial of multiple baiting with zinc phosphide to protect growing rice from damage by rats (*Rattus rattus mindanesis*). Proceeding 3rd Annual Scientific Meeting. Crop Protection Society of the Philippines. pp. 143-147.
- Whitlon, D.S.; Sadowski, J.A.; Suttie, J.W. 1978. Mechanism of coumarin action: significance of vitamin K epoxide reductase inhibition. *Biochemistry* 17 (137): 1-9.
- Willson, J.C. 1993. The Management of rodents in North Queensland Canefields. Centre for Biological populations management School of life Science. Queensland University of Technology. 219 p.

**SUSCEPTIBILIDAD DE *Sigmodon hispidus* A SEIS RODENTICIDAS EN
LABORATORIO**

III. SUSCEPTIBILIDAD DE *Sigmodon hispidus* A SEIS RODENTICIDAS EN LABORATORIO

3.1. INTRODUCCIÓN

La rata algodonera o cañera (*Sigmodon hispidus* Say et Ord) es el principal roedor causante de pérdidas en cultivos de caña de azúcar en México y Centro América (Estrada *et al.*, 1996; Hedgal *et al.*, 1965; Hilje y Monge, 1988, Martínez-Palacios y Ross, 1978). Estas pérdidas pueden ser de hasta 40% en cultivos donde no se aplican medidas adecuadas de control (Bates y Granger, 1969; Hall, 1980; González y Jofré, 1978; Hedgal *et al.*, 1965).

En la actualidad el uso de cebos rodenticidas agudos, como el endrin, el sulfato de talio y el fosfuro de zinc para el control de las poblaciones de rata cañera, ha sido descartado para dar lugar a la utilización de cebos con venenos crónicos de acción anticoagulante, por ser más efectivos y selectivos (Wilson y Anderson, 1985).

El fosfuro de zinc es el producto que se usa en la mayoría de los ingenios azucareros; sin embargo, no se sabe con certeza el grado de pureza del producto usado en el país y no se cuenta con los datos precisos de las dosis letales adecuadas para las especies nativas, debido a que se hacen extrapolaciones de las dosis sugeridas para *Rattus rattus* y *R. norvegicus* (Vázquez, 2001). Los productores utilizan estos tóxicos cuando la abundancia poblacional es alta y suponen la eficiencia de los mismos basándose en la reducción de la población. Sin embargo, ignoran que las poblaciones de roedores tienen una dinámica caracterizada por aumentos y disminuciones en función de diversas condiciones del medio y la disponibilidad de recursos, por lo que no necesariamente existe una relación directa entre la aplicación del producto y la reducción de la población.

La alta presión de selección ocasionada por la aplicación consecutiva de rodenticidas comerciales y preparados (cebos), provoca en los roedores un rechazo

al cebo cuando no se ingiere una dosis letal del rodenticida empleado (Desley, 1996; Donald, 1998; Kanakasabair y Saravanan, 1999; Kuijpeis *et al.*, 1995). La determinación periódica de los niveles de susceptibilidad o resistencia de la especie en estudio y de las poblaciones en campo, es necesaria para el establecimiento de estrategias de manejo racional de los rodenticidas, específicamente la determinación de las DL₅₀. En estudios de resistencia es importante el conocimiento de las dosis aplicadas a organismos de una especie, cuando éstas muestran susceptibilidad y sirven como puntos de comparación con otros organismos de la misma especie donde se ha ejercido presión de selección en condiciones de campo.

El uso irracional de los productos rodenticidas ha provocado la ineficiencia de los mismos en el control de los roedores. Algunos estudios revelan que el uso constante de la warfarina conlleva a la disminución de la susceptibilidad (McNicoll y Gill, 1993) o al incremento de resistencia por parte de los roedores (Greaves y Ayres, 1967).

Aunque la warfarina ha demostrado ser eficaz contra *R. argentiventer* en los campos del arroz (Wood, 1971; Liao y Wood, 1976; Buckle *et al.*, 1980b), pruebas alimenticias en laboratorio revelan una variación individual considerable en la susceptibilidad a éste anticoagulante (Buckle *et al.*, 1980a). La susceptibilidad al tóxico empleado cambia de región a región y aún entre individuos de una misma localidad, lo que constituyen factores que pueden afectar la eficacia del rodenticida (Desley, 1996; Donald, 1998; Kanakasabair y Saravanan, 1999; Kuijpeis *et al.*, 1995).

La eficacia y la palatabilidad en bloques parafinados con bromadiolona al 0.005%, fueron probados en ratas marrones (*Rattus norvegicus*), las pruebas se hicieron en laboratorio y campo. En las pruebas de laboratorio se observaron reacciones neofóbicas, una aceptación baja y una mortalidad de 50 a 80%; las pruebas en campo, sin embargo, demostraron una buena aceptación y una mortalidad de 90 a 100% (Carlsen *et al.*, 1999).

En el siguiente trabajo se planteó conocer la respuesta de *Sigmodon hispidus* a los rodenticidas warfarina, difacinona, brodifacum, flocumafen, bromadiolona y fosfuro de zinc bajo condiciones de laboratorio.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

El estudio se realizó en el laboratorio de roedores del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Localizado en el Km 348 de la carretera Federal Córdoba-Veracruz. Sus coordenadas geográficas son 18° 40' de latitud norte y 96° 40' de longitud oeste y cuenta con una altitud de 650 msnm (Figura 1).

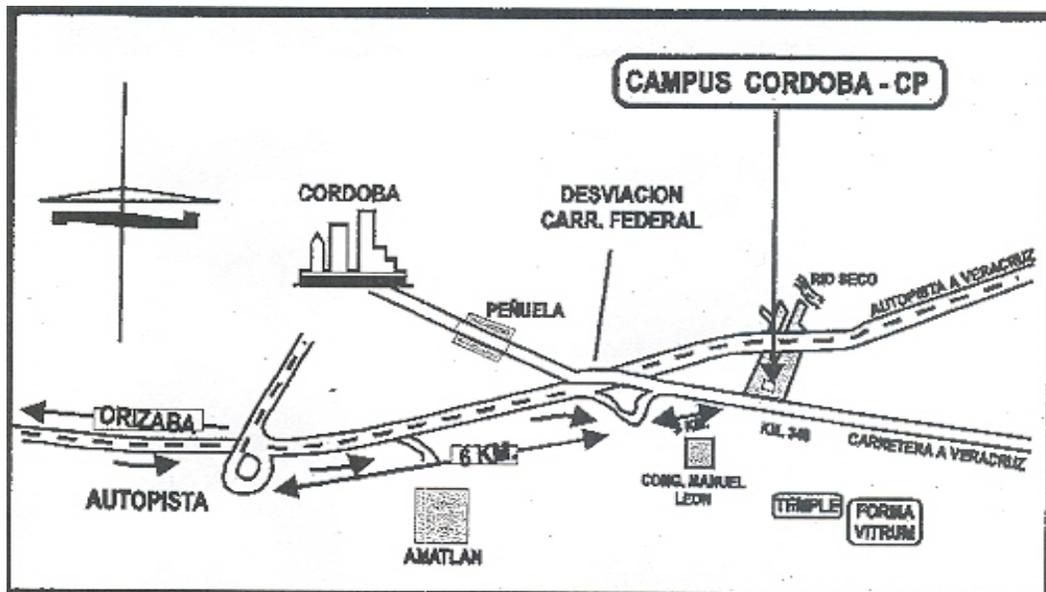


Figura 3.1. Ubicación del laboratorio de roedores del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba.

Colecta y establecimiento de la especie

Durante el periodo de octubre del 2005 a junio del 2006 se recolectaron organismos en parcelas cercanas a la comunidad de la Junta Municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca.

Se capturaron animales vivos por medio de trampas Sherman de aluminio plegables (7.82 x 8.89 x 22.86 cm), las cuales se distribuyeron de manera sistemática a una distancia de 10 m entre cada una de ellas dentro del cultivo de caña de azúcar, en sitios donde no se hubieran aplicado rodenticidas anticoagulantes por lo menos dos meses antes (WHO, 1982; EPPO. 1995).

Los individuos que se capturaron fueron de la especie *Sigmodon hispidus*, adultos, sanos y activos; se capturaron además, organismos adicionales para reponer aquellos que no reunían las características de peso, edad y estado reproductivo requeridas para la prueba.

Los individuos recolectados se trasladaron al laboratorio de roedores, donde se les identificó el sexo, se pesaron y posteriormente fueron confinados en jaulas individuales de acrílico (34 x 24.5 x 16 cm), en las cuales se preparó una cama de aserrín para absorber la humedad producto de la orina y heces. La temperatura ambiente promedio del laboratorio donde se realizaron los ensayos fue de 25 °C. Antes de iniciar los ensayos, los organismos capturados se sometieron a un proceso de alimentación por dos semanas, con el producto comercial Laboratory Rodent Diet 5001, a razón de 30 g/ día de alimento y se les colocó agua *ad libitum* mediante dispensadores de botella.

El consumo de alimento fue monitoreado y cuantificado a través de los remanentes, a fin de seleccionar los organismos que mostraron un patrón regular de consumo diario de alimento. Posteriormente, los individuos seleccionados se dejaron

sin comer durante 24 h, a fin de garantizar el consumo de los cebos que contenían los rodenticidas a comparar en cada tratamiento y ensayo (EPPO, 1982).

Rodenticidas

La administración de los rodenticidas se realizó vía oral tal y como viene el producto presentado en su forma comercial. Se utilizaron cuatro productos comerciales: 0.05% difacinona (Felino®), 0.05% flocumafen (Storm®), 0.05% brodifacum (Klerat®), 0.05% bromadiolona (Cereal B®) y dos preparados manualmente (cebos) warfarina 0.05% (mezcla de sorgo y maíz quebrado) y 2.0% fosfuro de zinc (mezcla de maíz quebrado), utilizando el producto como se administra en campo en situaciones prácticas¹.

Bioensayo

El estudio se realizó de octubre del 2005 a junio del 2006, se utilizó un diseño completamente al azar. Se evaluaron seis rodenticidas, el sexo del roedor y dos dosis de cada producto. Los rodenticidas fueron: brodifacum, bromadiolona, difacinona, flocumafen, warfarina y fosfuro de zinc, las dosis fueron 5 y 30 g. La unidad experimental fue un individuo, se evaluaron 5 individuos para cada combinación de los diferentes factores. El número total de individuos incluidos en este estudio fue de 120. Los rodenticidas evaluados se ofrecieron a las ratas por 24 h. El consumo se estimó por medio de los remanentes, también se estimó el tiempo en que el producto empezó a hacer efecto después de haberlo suministrado.

Después de las 24 h se retiró el sobrante del producto administrado y se le siguió suministrando el alimento comercial. La inspección se realizó después de administrar la dosis correspondiente del rodenticida, a intervalos de 4 h, por un periodo de 23 días. En ese tiempo se registraron los cambios y síntomas en los animales, comportamiento, locomoción, niveles de actividad, aspecto, presencia de hematomas

¹ El uso de estos productos no constituyen una recomendación de los mismos.

subcutáneos, epistaxis, sangramientos oculares, sangramientos del canal auditivo y hemorragias en las patas y cola. A los roedores muertos se les hizo la necropsia para determinar la causa de muerte, describiendo la apariencia del hígado (Garner, 1979; Buck *et al.*, 1975; Humphreys, 1990; Klaassen, 1996).

Análisis estadístico

Las pruebas de consumo de los seis rodenticidas suministrados a los grupos de 10 roedores de cada tratamiento, sirvieron para determinar que producto fue más efectivo, la mortalidad se evaluó a través del tiempo (23 d).

Se analizaron dos variables respuesta, mortalidad de los individuos a los 23 días del ensayo y consumo total del rodenticida. La mortalidad se analizó con el procedimiento LOGISTIC del Statistical Analysis System (SAS) V.9.1 (SAS Institute, 2004). El modelo inicial evaluado incluyó los factores rodenticidas, sexo, dosis y sus interacciones; el peso inicial del roedor se incluyó como covariable. El análisis fue iterativo para seleccionar el modelo más simple. El modelo final incluyó solamente el efecto de los rodenticidas, pues no hubo efecto de los otros factores ni de la covariable. La significancia de los modelos se probó mediante la prueba de χ^2 de Wald (Agresti, 1996). El efecto de cada factor se realizó independientemente mediante una prueba de análisis de efecto tipo 3 (SAS Institute, 2004). Se realizaron comparaciones (contrastes) por pares entre los rodenticidas para probar si había diferencias entre ellas. Para esto se utilizó la opción CONTRAST, que aplica una prueba de χ^2 . También se obtuvieron los valores predichos sobre la probabilidad de mortalidad de los roedores y se obtuvieron los intervalos de confianza. La mortalidad de los roedores se analizó en porcentajes para cada tratamiento. También se hizo una valoración visual sobre el proceso de mortalidad en el tiempo.

Por otra parte, el consumo total se analizó con el procedimiento GLM del Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1. El modelo evaluado incluyó los factores sexo, producto y dosis y sus interacciones en un arreglo factorial completo,

el efecto de los componentes del modelo se hizo mediante pruebas de F. Se estableció la significancia entre los grupos mediante pruebas de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se presentan los principales resultados obtenidos al evaluar seis rodenticidas en laboratorio. Se evaluó la respuesta de consumo y mortalidad de *Sigmodon hispidus*. Se observaron aspectos sobre la variación de la susceptibilidad, efectividad del veneno, tiempo en el que empezaron a mostrarse los primeros síntomas de intoxicación, número de animales muertos por rodenticida y número total de muertes.

Mortalidad

Los resultados mediante el análisis logístico indicaron que la mortalidad por dosis ($\chi^2=0.096$, $gl=1$, $P=0.756$) y el peso analizado como covariable ($\chi^2=0.098$, $gl=1$, $P=0.753$) no fueron significativos. En contraste, por sexo ($\chi^2=6.01$, $gl=1$, $P=0.014$) y producto ($\chi^2=24.96$, $gl=5$, $P=0.0001$) fueron significativos.

Los resultados de mortalidad por dosis (5 g y 30 g) indicaron, que los animales que fueron tratados con una dosis de 5 g de brodifacum, alcanzaron el 100% de muertes totales en las unidades experimentales. Cuando se les suministró una dosis de 30 g del producto rodenticida alcanzaron el 80% de mortalidad al igual que con la difacinona (Figura 3.2). Este resultado sugiere que no es necesario aplicar grandes cantidades del producto en campo ya que es suficiente con sólo aplicar una dosis de 5 g para causar la muerte en los roedores. Además puede ser un indicativo que a elevadas cantidades algunos individuos detectan el veneno. También se observó que la mortalidad atribuida al peso del roedor no fue significativa. Hernández (1994) mencionó que las diferencias del consumo por grupo (machos y hembras) son atribuidas a la diferencia en peso corporal entre los grupos, siendo el grupo de mayor peso (machos) el que muestra mayor consumo. Por otra parte, Cleighorn y Griffiths

(2002) mencionaron que no todos los ratones en pruebas de no opción en laboratorio consumen el cebo en el primer día. Sin embargo, todos lo van tomando eventualmente y la dosis de mortalidad es alcanzada en un periodo que va de 4 a 7 d aproximadamente.

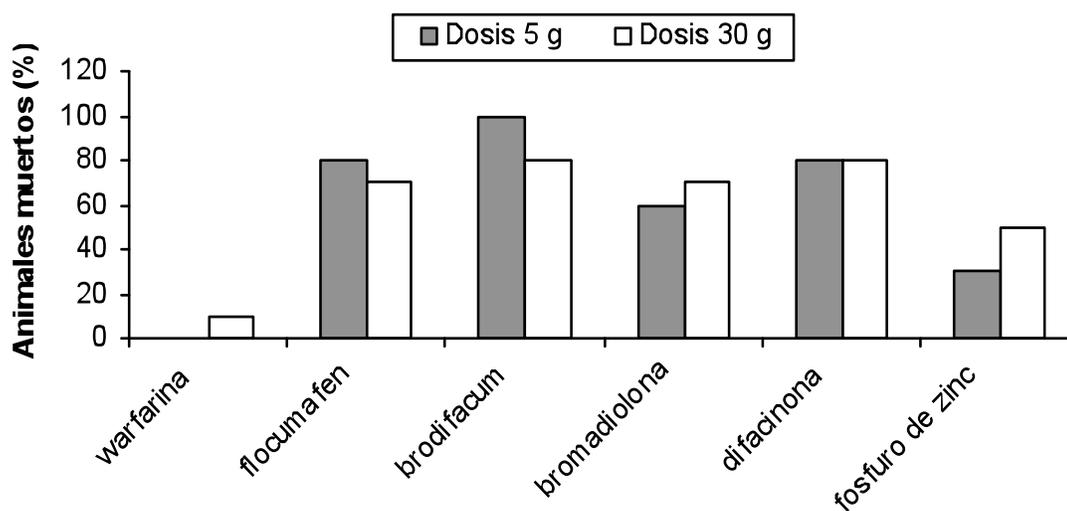


Figura 3.2. Mortalidad total de *S. hispidus* al suministrar dos dosis de rodenticidas en condiciones de laboratorio.

En cuanto a las proporciones de mortalidad, se observó que los machos son más susceptibles a los rodenticidas (0.69%) que las hembras (0.50%). Encontrando la mayor mortalidad en machos y hembras (0.96 y 0.85%, respectivamente) cuando se suministró brodifacum y la menor mortalidad (0.08 y 0.03%, respectivamente) cuando se suministró warfarina. Esto quiere decir que la probabilidad de que ocurran más muertes en hembras es menor que en los machos (Figura 3.3). Hara *et al.* (1994), encontraron que el estradiol afecta los mecanismos de coagulación, por lo que existen diferencias influenciadas por el sexo, reafirmando que los machos son más susceptibles.

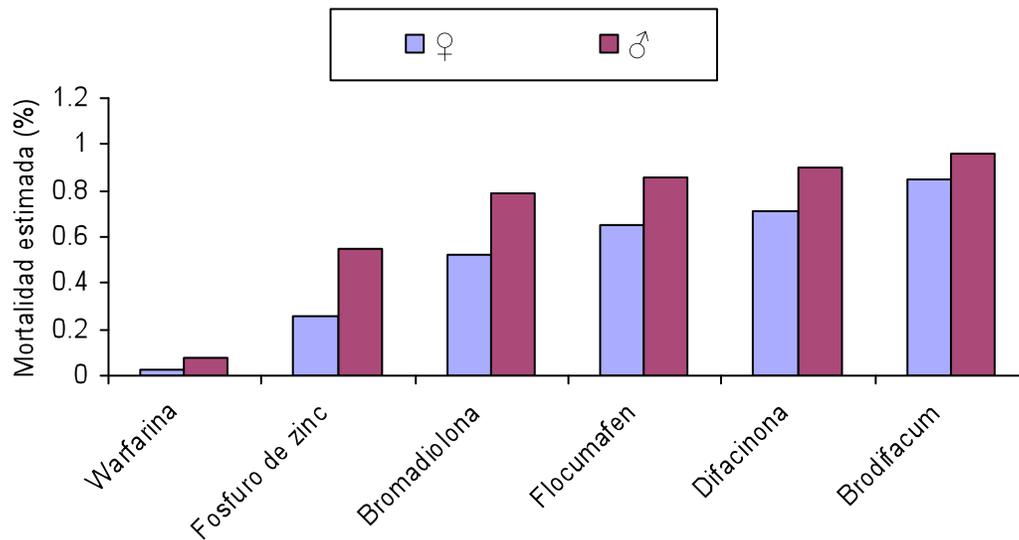


Figura 3.3. Mortalidad estimada en hembras y machos al suministrar seis rodenticidas a *S. hispidus* en laboratorio.

En relación con la mortalidad por producto (rodenticidas), se encontró que al suministrar los rodenticidas brodifacum y difacinona se obtuvieron los mayores porcentajes de muertes (90 y 80%, respectivamente), la warfarina fue la que causó el menor número de muertes (5%) con respecto a los otros productos (Figura 3.4). El mayor porcentaje de muertes alcanzado por el brodifacum puede atribuirse a que es un producto de segunda generación y de dosis única causando la muerte a un mayor número de roedores, en cambio la difacinona y la warfarina son rodenticidas de primera generación de acción acumulativa, los roedores necesitaron haber consumido dosis repetidas del mismo producto para causarles la muerte. En nuestro ensayo la aplicación de los seis rodenticidas se realizó en una sola aplicación, esto pudo haber ocasionado que los roedores que fueron tratados con éste tipo de rodenticidas no alcanzaran un mayor porcentaje de muertes. Ross *et al.* (2000) mencionaron que la variabilidad en el consumo del cebo es diferente entre cada individuo, ya que algunos organismos consumen más que otros antes de alcanzar una dosis letal y provocarles la muerte. Algunos autores califican a las coumarinas de segunda generación y a las indandionas como rodenticidas de una sola dosis

entre ellos el brodifacum, flocumafen y la bromadiolona. La warfarina y la difacinona pertenecen a la primera generación (Desley, 1996; Donald, 1998; Humphreys, 1990; Kanakasabair y Saravanan, 1999; Kuijpeis *et al.*, 1995).

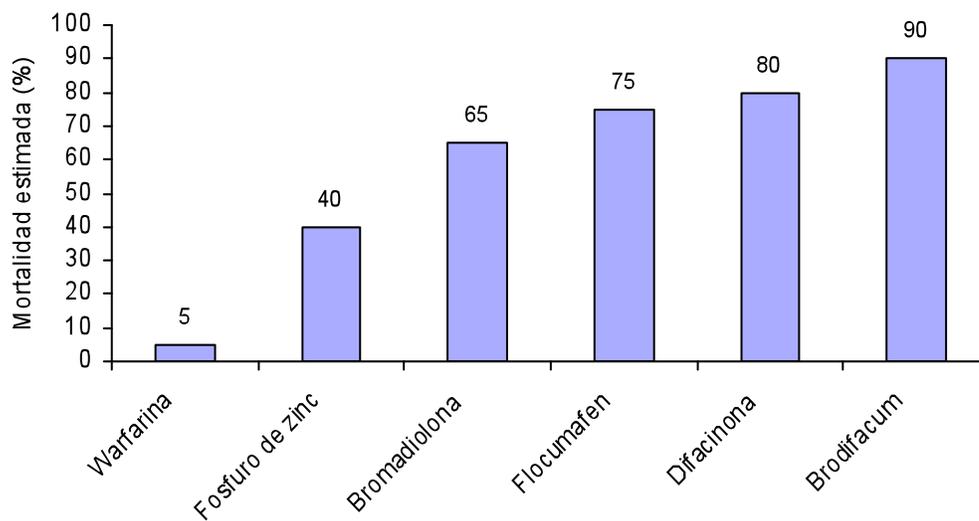


Figura 3.4. Proporción de mortalidad estimada de *S. hispidus*, al suministrar seis rodenticidas evaluados en laboratorio.

La comparación entre los seis rodenticidas indicaron significancia en los siguientes pares: brodifacum vs fosforo de zinc ($\chi^2=9.45$, $gl=1$, $P=0.002$), brodifacum vs warfarina ($\chi^2=8.46$, $gl=1$, $P=0.003$), difacinona vs fosforo de zinc ($\chi^2=9.45$, $gl=1$, $P=0.002$), difacinona vs warfarina ($\chi^2=4.32$, $gl=1$, $P=0.037$), y flocumafen vs fosforo de zinc ($\chi^2=5.10$, $gl=1$, $P=0.023$); las otras comparaciones no mostraron efecto alguno (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Significancia estadística de comparación de proporciones de mortalidad por pares mediante prueba de contrastes.

Producto	Mortalidad*
Brodifacum	0.905 a
Difacinona	0.805 a
Flocumafen	0.755 a b
Bromadiolona	0.655 a b
Fosfuro de zinc	0.405 b
Warfarina	0.055 b

* Diferencia literal entre filas significan diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

En cuanto a la mortalidad a través del período de ensayo, los porcentajes totales al suministrar rodenticidas agudos y anticoagulantes (Figura 3.5) mostraron que los animales tratados con un rodenticida agudo, en este caso fosfuro de zinc, presentaron los primeros síntomas característicos de la intoxicación en un periodo de 24 h. Esto resultó en un 40% de muertes después de haber aplicado el producto (Figura 3.5a), los animales que sobrevivieron al rodenticida se recuperaron en el transcurso del ensayo. Prakash (1988) mencionó que los rodenticidas agudos (fosfuro de zinc) actúan en el sistema nervioso de los roedores y causan la muerte al instante; por tal motivo, las muertes ocurrieron más rápido que con los anticoagulantes. Meehan (1984) observó que los síntomas aparecen después de 12 horas y dependen del compuesto y que el tiempo de muerte esta relacionado con la dosis suministrada.

Lo anterior contrasta con los animales del grupo tratado con rodenticidas crónicos de acción anticoagulante, es decir, flocumafen y brodifacum que indujeron los primeros síntomas característicos de intoxicación a las 48 h. Lo que resulto en un 10% de muertes; respecto a los 120 individuos estudiados (Figura 3.5c y e). Los otros grupos experimentales tratados con difacinona, bromadiolona y warfarina presentaron los primeros síntomas de intoxicación a las 72 h, traduciéndose en un 75% de muertes respecto a los 120 individuos estudiados (Figura 3.5b, d y f). Sin

embargo, la mortalidad mayor se alcanzó a las 96 h con los rodenticidas brodifacum, bromadiolona, flocumafen y difacinona con un 80%. La mortalidad observada a través del tiempo, indicó que los rodenticidas anticoagulantes tienen un efecto retardado y causan la muerte en periodos más largos (Figura 3.5c, d, e y f). Gráficamente se observó que el comportamiento fue similar, iniciando en aumentos y disminuciones de los picos de mortalidad con variaciones en cada tratamiento (Figura 3.5c, d, e y f). MacNicoll (1986) mencionó que cuando se suministran rodenticidas anticoagulantes las manifestaciones tóxicas se muestran algunos días después de la ingesta y la muerte del individuo es causada por hemorragias internas, porque se requiere tiempo para la desaparición de los factores coaguladores de la sangre, lo que origina que el proceso de muerte se retrase.

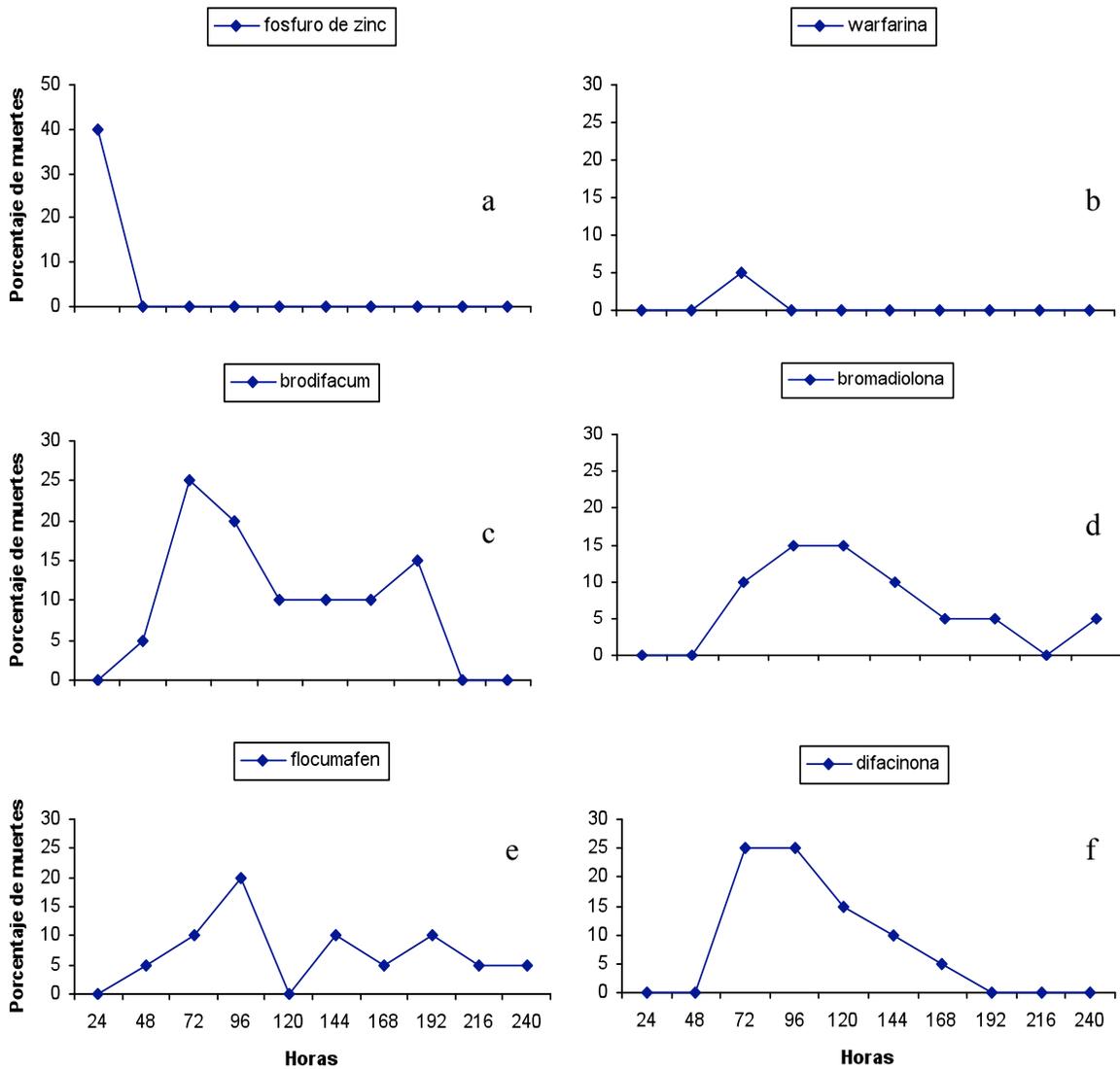


Figura 3.5. Mortalidad en horas causada al suministrar rodenticidas agudos (a) y anticoagulantes (b, c, d, e, f) a grupos experimentales de roedores en laboratorio.

Consumo

Los resultados mostraron que el consumo en las interacciones sexo*producto*dosis ($F=0.41$, $gl=5,96$, $P=0.842$), sexo*dosis ($F=0.40$, $gl=1,96$, $P=0.527$), sexo*producto ($F=0.41$, $gl=5,96$, $P=0.842$) y sexo ($F=0.40$, $gl=1,96$, $P=0.527$), no fueron significativos. En contraste, el consumo por interacción

producto*dosis ($F=10.06$, $gl=5,96$, $P \leq 0.001$), dosis ($F=226.79$, $gl=1,96$, $P \leq 0.001$) y producto ($F=10.06$, $gl=5,96$, $P \leq 0.001$) fueron altamente significativos.

El consumo promedio por dosis (5 y 30 g) fue de 5.00 g y 13.63 g, respectivamente. Los roedores consumieron todo el producto en la dosis baja pero no se acabaron lo ofertado a la dosis más alta (30 g), lo cual se refleja en la interacción producto*dosis. En la dosis de 30 g, las comparaciones de consumo por pares indicaron que el mayor consumo fue de los productos difacinona y bromadiolona (20.76 g y 16.76 g, respectivamente) y el menor consumo fue de (9.10 g) al suministrar fosfuro de zinc (Cuadro 3.2). Debe recordarse que el presente ensayo es un estudio controlado, los roedores consumieron el producto como única alternativa de alimentación, puesto que se trabajó con roedores enjaulados.

Cuadro 3.2. Comparación del consumo de rodenticidas por pares mediante prueba de contrastes al suministrar una dosis de 30 g.

Producto	N	Media*	
Brodifacum	10	20.76	a
Difacinona	10	16.76	ab
Flocumafen	10	13.83	bc
Bromadiolona	10	11.21	c
Fosfuro de zinc	10	10.14	c
Warfarina	10	9.10	c

* Diferencia literal entre filas significan diferencias estadísticas ($P \leq 0.001$).

Los resultados demuestran que el consumo atribuido al peso del roedor no fue significativo. Priotto y Steinmann (1999) encontraron que una rata parda adulta consume por día aproximadamente 25 g de alimento, en relación a su peso corporal y que requiere de 15 a 30 ml de agua por día cuando se alimenta de productos sin contenido de agua. Mientras que algunos sigmodontinos comen sólo de 3 a 4 g de alimento por día, observándose que pueden sobrevivir hasta con 0.3 ml de agua por día. En este estudio todos los roedores mantenían un peso similar.

Por otra parte, la sintomatología observada por envenenamiento con rodenticidas anticoagulantes, indicaron que los roedores murieron por hemorragias internas alrededor de hígado y pulmón, manifestada por espuma teñida de sangre en la nariz y boca, ocasionando dificultad para respirar. También se manifestaron hematomas subcutáneos especialmente en zonas de la boca y el plexo inguinal, lo que provocó inestabilidad. En general, se manifestó una debilidad al caminar, marcha vacilante o ataxia, que se acentuó rápidamente a medida que progresó la anemia originada por las hemorragias. Estudios realizados por Garner (1979), Buck *et al.* (1975) y Klaassen (1996) mostraron que la sintomatología de envenenamiento por rodenticidas anticoagulantes cumarinas o indadionas reflejan manifestaciones hemorrágicas, en casos subagudos, los animales están anémicos y débiles y presentan síntomas como mucosa pálida, disnea, hematemesis, epistaxis y heces sanguinolentas, la frecuencia cardíaca es irregular y los latidos débiles, pueden aparecer hematomas subcutáneos e intramusculares especialmente en zonas traumatizadas y blandas. En contraste, los que murieron por rodenticidas agudos, presentaron síntomas en el sistema nervioso central como ataxia, paresia, ictericia, convulsiones y muertes súbitas. Drolet *et al.* (1996) y Guale *et al.* (1994) mencionaron que cuando se suministran rodenticidas agudos los signos incluyen anorexia, ictericia, letargia y emesis, esto puede ser seguido de disnea, disturbios gastrointestinales, sudoración y signos nerviosos, incluyendo hipercinesia, temores, rigidez muscular, ataxia, convulsiones y coma, en algunos casos muerte súbita.

3.4. CONCLUSIONES

En este estudio se encontró que los rodenticidas brodifacum y difacinona causaron el mayor porcentaje de muertes (90 y 80% respectivamente). El efecto de mortalidad por dosis suministrada no fue significativo, ya que si se aplica una dosis de 5 g se obtienen resultados similares que cuando se utiliza una dosis mayor (30 g). La proporción de sobrevivencia por sexo demostró que las hembras (0.034%) toleran más los rodenticidas que los machos (0.013%), indicando que los machos son más susceptibles que las hembras. El efecto de mortalidad respecto a comparaciones por

pares entre los seis rodenticidas fue diferente. Se observó que al suministrar fosfuro de zinc la mortalidad de individuos ocurrió en las primeras 24 h, cuando se suministró flocumafen y brodifacum a las 48 h y cuando se suministró difacinona, bromadiolona y warfarina a las 72 h. La mayor mortalidad se alcanzó a las 96 horas, en algunos casos se prolongó hasta las 192 a 240 hr (8 a 10 días). El consumo promedio por dosis (5 g y 30 g) indicó que los roedores consumieron más donde una cantidad mayor se encontraba disponible. Los roedores consumieron todo el producto en la dosis baja pero no se acabaron lo ofertado a la dosis más alta (30 g) lo cual se refleja en la interacción producto*dosis. En la dosis de 30 g, las comparaciones de consumo por pares indicaron que el mayor consumo fue de los productos difacinona y bromadiolona, respectivamente. Las observaciones postmortem mostraron que los roedores murieron por hemorragias internas al suministrar rodenticidas anticoagulantes. En contraste, al suministrar rodenticidas agudos estos afectaron el sistema nervioso ocasionando paros cardiacos y muertes súbitas.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

- Agresti, A. 1996. An introduction to categorical data analysis. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 296 p.
- Bates, J.M. and Granger, C.W.J. 1969. The combination of forecasts. The Operational Research Quarterly 20: 451-468.
- Buck, W.; Osweiler, G. And Van Gelder, G.A. 1975. Toxicología Veterinaria, Clínica y Diagnóstica, 2da. Edición. Zaragoza, España. 309 p
- Buckle, A.P.; Rowe, F.P. and Yong, T.C. 1980a. Field trials of two warfarin in baiting methods against the rice field rat (*Rattus argentiventer*). Malaysian Agricultural Journal 52: 78-95.

- Buckle, A.P.; Rowe, F.P. and Yong, T.C. 1980b. Laboratory evaluation of 0.025 % warfarin against *Rattus argentiventer*. *Tropical Pest Management* 26: 162-166.
- Carlsen, M.; Lodal, J.; Leirs, H. and Jensen, T.S. 1999. The effect of predation risk on body weight in the field vole *Microtus agrestis*. *Oikos* 87: 277-285.
- Cleighorn, D. and Griffiths, R. 2002. Palatability and efficacy of pest 20R bait on mice from Mokoia Island, Rotorua. DOC. Science internal series 25. Department of conservation, Wellington. 15 p.
- Desley, W. 1996. Rodenticides for control of Norway rats, roof rats and house mice. *Poultry Fact Sheet* 34 (23):154-158.
- Donald, J.E. 1998. Roedores como plagas de productos almacenados; control y manejo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Oficina Regional para América Latina y el Caribe y la Red de Información sobre operaciones poscosecha. Denver Wildlife Research Centre. Santiago, Chile. 42 p.
- Drolet, R.; Lavery, S.; Braselton, W.E. and Lord, N. 1996. Zinc phosphide poisoning in a horse. *Veterinary clinics of North America. Equine practice*. 28: 161-162.
- EPPO. 1982. Guideline for the evaluation of resistance to plant protection products – testing for resistance to anticoagulant rodenticides. *Bulletin* 25, pp 575-593.
- EPPO. 1995. Guidelines on Efficacy Testing of Rodenticides. Part Three/A3/Appendix 3, formerly Working Document 10/2. PSD/HSE Registration Handbook for Pesticides, Biocides and Plant Protection Products. 34 p.

- Estrada, J.; Salazar, R. y Carrillo, E. 1996. Estimación de pérdidas causadas por la rata cañera, en caña de azúcar variedad CP 72-2086. *In: I Simposio Nacional de plagas de la caña de azúcar*. Ed. CAÑAMIP. Guatemala. pp 104-111.
- Garner, A. 1979. Toxicología Veterinaria. Editorial Acribia. Tercera Edición. Madrid, España. pp. 268 –276.
- González, L.A. y Jofré, C. 1978. Técnica para el análisis de contenido estomacal en roedores. *Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)* 266: 3-5.
- Greaves, J.H. and Ayres, P. 1967. Heritable resistance to warfarin in rats. *Nature* 215: 877-878.
- Guale, F.G.; Stair, E.L.; Jonson, B.W.; Edwards, W.C. and Haliburton, J.C. 1994. Laboratory diagnosis of zinc phosphide poisoning. *Veterinary and human toxicology* 36: 517-518.
- Hall, S. 1980. The diets of two coexisting species of *Antechinus* (Marsupialia: Dasyuriade). *Australian Wildlife Research* 7: 365-378.
- Hara, K.; Akiyama, Y. and Tajima, T. 1994. Sex differences in the anticoagulant effects of warfarin. *Japanese Journal of Pharmacology* 66 (3): 387-392.
- Hedgal, P.L.; Ward, A.L.; Johnson, A.M. and Tietjen, H.P. 1965. Notes on the life history of the mexican pocket gopher (*Cratogeomys castarops*). *Journal of Mammology* 46: 334-335.
- Hernández, V.T. 1994. Comparación de la palatabilidad de dos rodenticidas comerciales de bromadiolona en campo y laboratorio. Tesis U.N.A.M. Facultad de Medicina Veterinaria Zootecnia. México D.F. 87 p.

- Hilje, L. y Monge, J. 1988. Lista preliminar y consideraciones generales acerca de los animales vertebrados plaga en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 10: 39-52.
- Humphreys, D. 1990. *Toxicología Veterinaria*. Editorial Interamericana de España. Tercera Edición. Madrid, España. 178 p.
- Kanakasabair, R. and Saravanan, K. 1999. Field evaluation of anticoagulant rodenticides, bromadiolone and difethialone in sugarcane fields of Couvery delta. *Indian Journal of Experimental Biology* 37:56-60.
- Klaassen, C. 1996. *Toxicology. The Basic Science of Poisons*. International. Editorial the McGraw Hill. Fifth Edition. U.S.A. 5: 680 – 682.
- Kuijpeis, E.A.; Hartingh, J. D.; Savekoul, T.J. and De Wolf, F.A. 1995. A method for the simultaneous identification and quantitation of five superwarfarin rodenticides in human serum. *Journal of Analytical Toxicology* 19 (7): 557-562.
- Liau, S.S. and Wood, B.J. 1976. Increased rice production through control of field rats. Pp. 69-77. *In: proceedings of the conference on Malaysian Food Self-Sufficiency, 1975*. Tan Bock Thiam, F.S.C.P. Kalpage, Ching Guan Choo, Cheem Soon Tee and Wong Kai Choo (Ed.). UMAGA, Kuala Lumpur. 353 p.
- MacNicoll, A.D. 1986. Resistance to 4-hydroxycoumarin anticoagulants in rodents. *In: National Research Council. Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. Washington, D.C. pp. 87-99.
- MacNicoll, A. D. and GILL, J. E. 1993. Revised methodology for a blood clotting response test for identification of warfarin-resistant Norway rats (*Rattus norvegicus*). *European Plant Protection Organisation Bulletin* 23: 701-707.

- Martínez-Palacios, C.A. and Ross, L.G. 1978. The feeding ecology of the Central American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther). *Journal of fish biology* 33: 665-670.
- Meehan, A.P. 1984. *Rats and Mice, their Biology and Control*. Rentokil Ltd. East Grinstead, Uk. 356 p.
- Prakash, I. 1988. Bait shyness and poison aversion. *In: Prakash, I. (ed) Rodent Pest Management*. CRC Press, Boca Raton. pp. 321-329.
- Priotto, J.W. and Steinmann, A.R. 1999. Factors affecting home range size and overlap in *Akodon azarae* (Muridae: Sigmodontinae) in natural pasture of Argentina. *Acta Theriologica*. 44: 37-44.
- Ross, J.; Frampton, C. and Henderson, R. 2000. The efficacy of four animal control products Ltd rodenticides compared with Ditrac®. Pest of Rodent Bait Palatability Report by Lincoln University, Internet web page: <http://www.pestoff.co.nz>
- SAS Institute Inc. 2004. SAS / STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Vázquez, L.I. 2001. Abundancia de *Sigmodon hispidus*, *Oryzomys couesi* y *O. chapmani*, en la región cañera de la cuenca del Papaloapan, Ver. Mex. *Agrociencia* 38 (4): 5–13.
- WHO, 1982. Instructions for determining the susceptibility of rodents to anticoagulant rodenticides. World Health Organization. WHO/VBC. pp. 82-843.
- Wilson, K.R. and Anderson, D.R. 1985. Evaluation of two density estimators of small mammal population size. *Journal of Mammology* 66 (1):13-21.

Wood, B.J. 1971. Investigation of rats in ricefields demonstrating an effective control method giving substantial yield increase 17: 180-193.

**CONSUMO Y PREFERENCIA DE *Sigmodon hispidus* A SEIS PRODUCTOS
RODENTICIDAS EN CAÑA DE AZÚCAR**

IV. CONSUMO Y PREFERENCIA DE *Sigmodon hispidus* A SEIS PRODUCTOS RODENTICIDAS EN CAÑA DE AZÚCAR

4.1. INTRODUCCIÓN

Los roedores juegan un valioso papel en los hábitat naturales, alimentándose principalmente de plantas silvestres semillas e insectos; además forman parte importante de la dieta de muchas aves rapaces y pequeños predadores (Greaves, 1982; Vaughan *et al.*, 1988); sin embargo, debido a su alta capacidad de adaptación, no es extraño que algunas especies encuentren atractivos los ambientes producidos por la actividad agrícola, en donde se les ha dado la calificación de plagas (Greaves, 1982; Hilje y Monge, 1988).

Diversos estudios mencionan la importancia que tiene la cobertura vegetal para la sobrevivencia de los roedores como una fuente de alimentación y de refugio (Bomford y Redhead, 1987; Krebs, 1999; Reichmann y Van de Graaff, 1975). En la región de la cuenca del Papaloapan la mayoría de los cultivos permanentes (como la caña de azúcar) o anuales presentan invasiones de malezas, principalmente donde las labores de labranza son deficientes, lo que crea condiciones adecuadas de refugio y alimentación.

Los pocos estudios sobre la abundancia de roedores en las áreas cultivadas de caña, resaltan que éstos presentan incrementos poblacionales principalmente en la época de sequía, que coincide con la madurez de la caña, mientras que en la época de lluvia su población decrece (Riess y Flores, 1976). Sin embargo, los incrementos poblacionales están relacionados con la disponibilidad de recursos alimenticios en el hábitat (Peña, 2007).

McFadden (1984) encontró diferencias en la preferencia de consumo en la rata de indonesia o pacífica (*Rattus exulans*) con cebos a base de cereal y esencias artificiales. Robertson *et al.* (1998) reafirmaron que los cebos necesitan ser

evaluados en campo y que las condiciones ambientales afectan la composición física del producto. Eason (1991) e Innes (1995) reconocen que hay pocas publicaciones sobre la palatabilidad, durabilidad y tiempo de vida, bajo diferentes condiciones ambientales; además, mencionaron que es necesario mejorar la palatabilidad de los productos como bromadiolona (Ridrat®), Brodifacum (Talón® 50WB) y flocumafen (Storm®), ya que se requiere que un cebo sea palatable a las especies de roedores, para que sea consumida una dosis letal en la primera exposición.

El comportamiento social y alimenticio son dos aspectos útiles de la biología de los roedores, para mejorar la aceptación de cebos. El comportamiento social es importante por que puede afectar el acceso al cebo. West *et al.* (1975) al hacer aplicaciones en tres lugares asociados al consumo por *Rattus rattus mindanensis* encontraron que se utiliza más producto cuando se aplican cebos pequeños. Por otra parte, Robards y Saunders (1998), encontraron que *Mus domesticus* presentó distintas preferencias en su comportamiento alimenticio con cebos a base de cereal.

Reidinger y Mason (1983) mencionaron que es necesario conocer y manipular el comportamiento alimenticio de los roedores con el fin de que las ratas coman cebos envenenados en la primera exposición. La habilidad de los roedores para evitar envenenamiento se hace evidente en el comportamiento alimenticio de las ratas; éstas presentan neofobia (al sabor y a objetos extraños en su hábitat) y aversiones hacia los productos tóxicos (rechazo al cebo). Por otra parte, algunos roedores silvestres tienen preferencia por cierto tipo de alimentos (Jackson, 1972). Esto resalta la importancia de conocer las preferencias, pues con el uso de componentes alimenticios se espera superar la neofobia y disminuir la aversión hacia los cebos (Prakash, 1988).

Quy *et al.* (1996) mencionaron que la rata noruega cuando tiene disponibilidad de comida alternativa y se hace un control, se requiere hacer un precebado para tener efectividad. Esto resalta la necesidad de realizar dos tipos de pruebas: la

palatabilidad relativa y el consumo de los productos actuales, para determinar el mejor cebo y así, asegurar el consumo de una dosis letal en la primera exposición.

Hernández (1994) evaluó en una granja de cerdos y en laboratorio la palatabilidad de dos presentaciones comerciales de bromadiolona (anticoagulante de segunda generación), administrando el producto y pesando el consumo diario, analizó el consumo con relación a la presentación y al sexo en *R. rattus*. Llegó a la conclusión que tanto en laboratorio como en campo, las ratas prefieren la presentación en grano, encontrando diferencias de consumo por sexos (machos y hembras) atribuidas a la diferencia en peso corporal entre los grupos. Siendo los machos el grupo de mayor peso los que tuvieron mayor consumo. También observó una disminución de consumo al tercer día, relacionado con la presencia de síntomas que indicaron un malestar en las ratas.

Aunque muchos estudios se han realizado acerca de las preferencias de los alimentos aceptados por los roedores, muy pocas investigaciones se han dirigido a evaluar y a contrastar la preferencia hacia los diferentes rodenticidas comerciales, cuando se les da a elegir entre un amplio rango de productos y éstos tengan que competir con el alimento natural de los roedores (semillas, caña de azúcar, insectos, partes vegetales de plantas) en su hábitat (Ramírez, 1997). Por tal motivo, en esta investigación el objetivo fue conocer la preferencia de consumo de los roedores a cuatro rodenticidas comerciales 0.05% difacinona (Felino®), 0.05% brodifacum (Klerat®), 0.05% flocumafen (Storm®), 0.05% bromadiolona (Cereal B®) y dos de elaboración casera 0.05% warfarina (mezcla de maíz y sorgo) y 2.0% fosfuro de zinc (mezcla de maíz) en caña de azúcar.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación en campo se realizó en tres parcelas donde se estimó el tamaño poblacional, se estimó el consumo de seis rodenticidas y los efectos de

algunos factores ambientales sobre la apariencia física de los roenticidas. A continuación se describe cada una de ellas.

Localización geográfica

El área de estudio se desarrollo en tres parcelas cercanas a la comunidad de la Junta, Municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca, México, Las coordenadas geográficas fueron: sitio 1 ($18^{\circ} 29.46' N$ y $96^{\circ} 40.68' W$); sitio 2 ($18^{\circ} 29.50' N$ y $96^{\circ} 41.28' W$) y sitio 3 ($18^{\circ} 29.57' N$ y $96^{\circ} 39.98' W$), a una altura de 132 msnm (Figura 4.1). El clima predominante en esta zona es calido subhúmedo Am(w)(e)g, según la clasificación de Köppen modificado por García (1988), con una temperatura promedio de $27^{\circ} C$. Presenta una precipitación promedio anual de 2157 mm (Pomar, 2004).

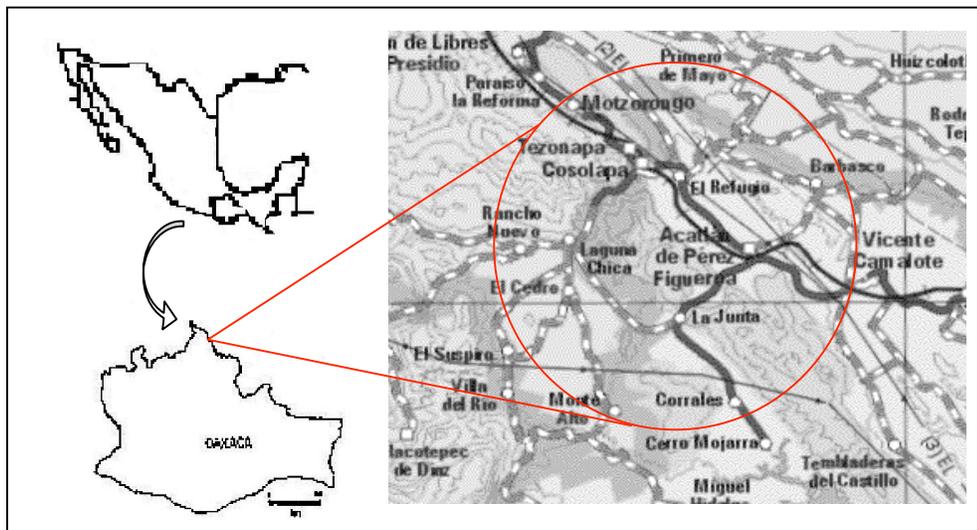


Figura 4.1. Localización del área de estudio en el estado de Oaxaca (Anónimo, 2005).

Estimación de las poblaciones de roedores

Con el fin de saber como se comporta la población a través del tiempo y asegurar la presencia de roedores dentro del cultivo donde se aplicaron los roenticidas, se estimó el tamaño poblacional de estos, colocando trampas Sherman ($7.82 \times 8.89 \times 22.86$ cm) en las tres parcelas, cuya superficie era de una hectárea

cada una y se encontraban en producción comercial de caña de azúcar. El muestreo por parcela fue durante 4 días consecutivos en periodos de tiempo diferentes, del 27 al 30 de junio y del 1 al 16 de julio del 2006. Las trampas se colocaron por la tarde en el primer día de sesión de muestreo dentro del cultivo caña de azúcar, se utilizaron 40 trampas/ ha distribuidas de forma sistemática, numeradas previamente para facilitar el registro ordenado de datos, se colocaron a una distancia de 10 m entre cada una con la finalidad de minimizar la competencia entre ellas. La primera trampa se ubicó 10 m al interior del cultivo para reducir los efectos de borde (Figura 4.2). Las trampas fueron cebadas con tortilla, con la finalidad de asegurar la captura del individuo a estudiar (Buckle y Smith, 1994).

En cada sesión de muestreo se inspeccionaron las trampas por la mañana observando si hubo o no captura de individuos. La manipulación de los animales capturados en campo se realizó con conos de franela de un diámetro de diez centímetros en la boca y treinta centímetros de longitud, con el propósito de que los roedores capturados no se lastimaran al momento de sacarlos de las trampas y para maniobrarlos con más facilidad para la toma de datos (Escobar, 2002). Los individuos capturados se marcaron por el método de ectomización de falanges, las marcas por este método fueron permanentes y fácilmente reconocibles (Martof, 1953) y se registraron en una base de datos para después liberarlos; esto facilitó su reconocimiento en los muestreos siguientes, recebando las trampas para repetir el procedimiento anterior.

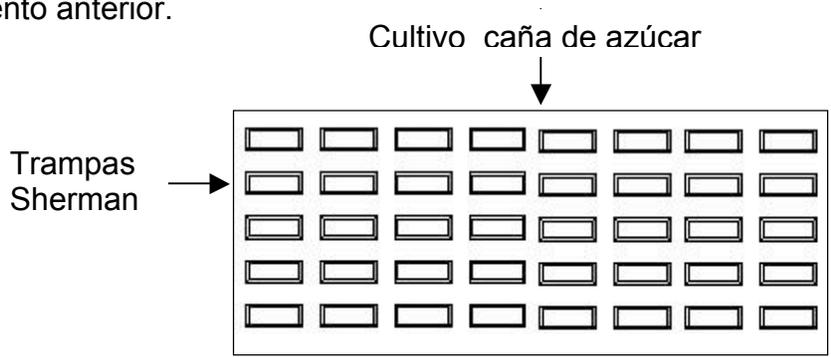


Figura 4.2. Distribución sistemática de las trampas Sherman dentro del cultivo para capturas en vivo.

Modelo Estadístico Jolly- Seber

El tamaño poblacional de los roedores (N) se estimó con las capturas y recapturas de cada muestreo (n_i), los datos fueron organizados siguiendo los principios propuestos por el modelo de Captura-Marcaje-Recaptura. En donde se hizo un recuento de los animales marcados (M), la proporción de la población total marcada en cada sesión (m_t), los no marcados (U_t) encontrados en el tiempo (t), el total de capturas (n_t) en el tiempo (t) y los roedores encontrados muertos o que escaparon durante el muestreo t (S_t). De esta forma se estimó el tamaño poblacional (N) así como las pérdidas (P_t) y ganancias (B_t) en cada sesión de muestreo (Jolly, 1965; Seber, 1973).

El número de animales marcados se estima según Jolly-Seber como:

$$M_t = \frac{S_t Z_t + m_t}{R_t}$$

Donde:

M_t = Número estimado de animales marcados en el i ésimo momento.

S_t = Total de animales liberados en el i ésimo momento.

Z_t = Número de animales marcados antes del i ésimo momento, no capturados en la i ésima muestra, pero capturados en las muestras siguientes (después del momento i).

R_t = Número de animales marcados liberados en el i ésimo momento (S_i) que fueron capturados en las muestras siguientes.

m_t = Animales marcados capturados en el i ésimo momento.

La proporción de animales marcados se estima como:

$$\hat{\alpha}_t = \frac{m_t + 1}{n_t + 1}$$

n_t = Número total de animales capturados en el momento i .

Donde +1 es una corrección para el sesgo en muestras pequeñas (Scott, 1973).

$$\hat{M}_t = \frac{(s_t + 1)Z_t}{R_t + 1} + m_t$$

Donde: \hat{M}_t = Tamaño estimado de la población marcada antes del muestreo en el tiempo t. Por lo cual el tamaño de la población estimada es:

$$\hat{N}_t = \frac{\hat{M}_t}{\hat{\alpha}_t}$$

Donde: \hat{N}_t = Tamaño estimado de la población antes del muestreo en el tiempo t.

Una vez estimada la población en cada sitio de muestreo se realizó la evaluación de consumo y preferencia, para determinar a través del consumo que productos son los preferidos.

Características evaluadas en los roedores

De acuerdo a los lineamientos de Lidicker (1985), se conformaron grupos de sexo y edad con base en el peso de los animales capturados y desarrollo de los órganos reproductivos. Para edad se consideraron 3 categorías: juvenil (organismos menores de 30 g); subadulto (organismos mayores de 30 g y menores de 45 g); adultos (organismos mayores de 45 g). Además, a las hembras se les clasificó en reproductivas y no reproductivas; las primeras se reconocieron por la presencia de la vagina abierta, tetillas lactantes y presencia de embriones; las que no presentaban estas características se clasificaron como no reproductivas. A los machos se les midió el diámetro testicular, la forma de los testículos (inguinal y escrotal) y el peso de cada individuo, con base en estas características también se clasificaron en reproductivos y no reproductivos (Goertz, 1965). Todas estas características fueron tomadas en cuenta para saber la estructura de la población dentro del cultivo. También sirvió para conocer si eran poblaciones establecidas dentro del cultivo, a través del mayor número de individuos adultos; o si se trataba de poblaciones emergentes por el mayor número de individuos juveniles.

Evaluación del consumo y preferencia en campo

El experimento se estableció de junio a julio del 2005. En cada una de las tres parcelas de muestreo se usaron 30 platos de polipropileno con 6 divisiones cada uno para evitar la mezcla de los diferentes productos a evaluar, colocando un rodenticida por división. Los platos se colocaron a 10 m de distancia entre cada uno y se fijaron al suelo para evitar que con algún movimiento el cebo saliera del plato. La cantidad utilizada por rodenticida fue de 11 g, homogenizando el peso de cada rodenticida al producto que presentó el mayor peso, en este caso la bromadiolona.

Se estableció un diseño en bloques al azar. Los tratamientos fueron los rodenticidas brodifacum, bromadiolona, difacinona, flocumafen, warfarina y fosfuro de zinc; la unidad experimental fue un plato que contenía los seis rodenticidas, la cual se consideró, a su vez, como un bloque con los seis tratamientos. En cada parcela se colocaron 30 unidades experimentales o repeticiones haciendo un total de 90 unidades por las tres parcelas de muestreo.

El producto se aplicó una vez y las unidades experimentales se revisaron diariamente, levantando de las parcelas aquellas en donde uno de los productos hubiera sido consumido en su totalidad, hasta que se levantaron los 30 platos de cada parcela. Una premisa del trabajo fue no continuar el experimento cuando un producto era consumido totalmente, para no permitir que los roedores optaran por otro producto a falta del desaparecido. Los rodenticidas remanentes en los platos recogidos se pesaron individualmente y por diferencia se midió el consumo de cada uno, para estimar la preferencia de los roedores.

El propósito de este ensayo fue evaluar los rodenticidas en distintas condiciones ambientales que fuesen altamente apetecibles, duraderos y efectivos; para que una dosis letal sea consumida en la primera exposición y cause mortalidad de las poblaciones de roedores. Como variable respuesta se evaluó el consumo de los productos (EPA. 1982).

Efecto de factores ambientales en los roenticidas

En adición a la evaluación de consumo, también se realizaron mediciones de otras variables con el fin de estimar el efecto de factores ambientales sobre los roenticidas evaluados. En cada unidad experimental se evaluaron los siguientes efectos: roenticida roído, remoción del roenticida (fuera del plato), roenticida consumido, la selectividad (fauna en general) y el tiempo que dura cada roenticida en ser consumido. Para estimar los efectos del ambiente en los seis roenticidas, se evaluaron las siguientes características: Efecto del rocío y lluvia (humedad), efecto del sol (derretido), efecto del sol y lluvia (agrietamiento), enranciamiento del aceite contenido en éstos y el daño por la presencia de hormigas (Ramírez, 1997). Las cuales se observaron en las mismas unidades experimentales donde se midió el consumo; el efecto del ambiente fue medido en porcentaje de incidencia de dichos factores. Los porcentajes de incidencia se categorizaron en bajo ($0 < 33.3\%$), medio ($33.3 < 66.6\%$) y alto ($66.6\% \geq 100$) respectivamente. Por lo tanto se estableció una fórmula para calcular los porcentajes de los valores promedio de incidencia, mediante una sumatoria de los valores medios, sobre el número de efectos medidos, calculados a través de la siguiente ecuación.

$$VM = \frac{\sum VE}{NE}$$

VM = Valor medio de incidencia de efectos del ambiente sobre los roenticidas

VE = Valor de los efectos medidos

NE = Número de efectos medidos

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se hizo en las tres parcelas. El modelo estadístico fue lugar, producto e interacción lugar*producto. El consumo de los seis

rodenticidas evaluados en campo se analizó a través de análisis de varianza (ANOVA) (Arkin-Colton, 1977) y se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0.05, con el procedimiento estadístico Statistica versión 5.1, (1995). Para analizar los efectos del ambiente sobre los rodenticidas (Humedad, derretido, agrietado, enranciado y presencia de hormigas) se obtuvieron los porcentajes totales de los efectos de cada una de las 90 unidades experimentales a través de los valores promedio de incidencia.

Productos rodenticidas utilizados y su descripción

Se hizo una descripción física de los productos rodenticidas, anotando su forma, color y peso con el fin de conocerlos e identificar cada uno durante el estudio.

0.05% brodifacum (**Klerat®**). Cebo parafinado, que son pellets de forma cúbica de aproximadamente 4.85 g, color azul marino. La etiqueta no menciona el contenido del cereal y éste no se identifica a simple vista.

0.05% flocumafen (**Storm®**). Cebo parafinado, en forma de nuez de aproximadamente 3.47 g, color azul claro. La etiqueta solo menciona que contiene cereal sin especificar de que tipo, el cereal no es identificable a simple vista.

0.05% difacinona (**Felino®**). Cebo parafinado, en forma de canica, de aproximadamente 1.5 y 2.32 g, color verde. La etiqueta no menciona el contenido del cereal y no se puede identificar a simple vista.

0.05% bromadiolona (**Cereal B®**). Cebo parafinado, de forma cúbica de aproximadamente 11.8 g, color rojo. La etiqueta no menciona el contenido del cereal y no se puede identificar a simple vista.

0.05% (**Warfarina®**). Cebo preparado manualmente en bolsas de papel estraza o bolsas de polietileno, con una concentración del 0.005% de ingrediente activo en una

mezcla casera de maíz quebrado, sorgo y aceite vegetal, con un peso de 5 g cada uno.

2.0% (**Fosforo de zinc®**). Cebo preparado manualmente en bolsas de papel estraza o bolsas de glicina, con una concentración del 2.0% de ingrediente activo en una mezcla casera de maíz quebrado, aceite vegetal, esencia de vainilla y azúcar, con un peso de 5 g cada uno.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estimación del tamaño poblacional

Se estimó el tamaño poblacional a través de capturas y recapturas. Durante el estudio se capturaron 55 individuos y se recapturaron 38 de los cuales se obtuvo un éxito de recaptura del 69.1% en las tres parcelas de muestreo (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1 Capturas y recapturas totales de roedores en los tres sitios de muestreo.

Sitio	Capturas	Recapturas	% de Recapturas
1	24	16	66.66
2	13	11	84.61
3	18	11	61.11
Total	55	38	69.09

El primer análisis de los resultados fue establecer los tamaños poblacionales (N) a través del modelo de Jolly-Seber en el sistema cañero. La población de rata presentó fluctuaciones en cada una de las parcelas de muestreo. Se registró un valor alto en la primera parcela de muestreo con $N = 92.7$ y con una población menor de $N = 44$ y $N = 39.2$ en la segunda y tercera parcela de muestreo. Las variaciones en los tamaños poblacionales indicaron que la oferta y la demanda de los recursos varió en cuanto a la estación de seca (noviembre a mayo) y lluvia (Junio a octubre) en el sistema cañero, esto hizo que sus poblaciones cambiaran sus valores de (N),

observando en el primer periodo de muestreo que las lluvias tenían solamente una semana de haberse iniciado, mientras que en los dos últimos periodos de muestreo las lluvias ya estaban establecidas, lo que pudo haber ocasionado la disminución del número de roedores (Cameron y Spencer, 1981; Leopold y Krausman, 1986; Derting, 1989 y Lidicker *et al.*, 1992). Asimismo Mills y Childs (1998) mencionaron que la población crece por efecto de la precipitación sobre la vegetación, siendo los insectos el alimento de las ratas. En este mismo sentido, Humbert, (1968) reportó que en México, los daños en cañaverales causados por ratas, disminuyen cuando la estacionalidad favorece el espigamiento y cosecha de otros cultivos como gramíneas. Por otro lado Kincaid y Cameron (1985) mencionaron que esta especie se encuentra asociada principalmente con hábitat de pastizales y las áreas cultivadas sólo son ocupadas temporalmente.

Los resultados de los tamaños poblacionales se relacionaron con el consumo del producto por parcela, a través de los remanentes entre la cantidad ofertada y la consumida de cada rodenticida, para saber si mostraban diferencias estadísticas mediante pruebas de medias Tukey ($P \leq 0.05$), se encontró que no hubo diferencias en el consumo de los rodenticidas por parcela, aunque el tamaño poblacional de roedores en cada parcela de muestreo fue diferente, éstos no mostraron diferencias significativas en el consumo. Esto sucedió, porque en nuestro estudio se hizo una sola aplicación del producto, lo que ocasionó que los roedores ya no siguieran consumiendo el mismo producto porque no se encontraba disponible.

Proporción de sexos

En las tres parcelas de muestreo la proporción entre sexos fue similar, se observó predominancia de machos con respecto a hembras (Figura 4.3). Se encontró una proporción de machos-hembras 3 a 1 en la primera parcela de muestreo y de 2 a 1 en la segunda. En cambio, en la tercera parcela de muestreo la proporción fue de 1.5 a 1. Estos resultados son de suma importancia, se requirió que ambos sexos estuvieran presentes en nuestro estudio, a fin de conocer la

preferencia en el consumo de cada rodenticida, considerando que en programas de control de roedores con rodenticidas, se requiere que éstos sean palatables y que el ingrediente activo actúe de igual forma en ambos sexos obteniendo programas de control más efectivos. La mayor proporción de machos sobre hembras en las tres parcelas de muestreo se debe a que la rata cañera macho muestra preferencia por el cultivo caña de azúcar y las hembras en cambio, tienden a seleccionar hábitat con mayor oferta de semillas (Cameron y Kincaid, 1982). Este uso del hábitat puede variar con la estación del año y con el estado reproductivo. Villa y Vázquez (2001) mencionaron que durante este periodo la presencia mayor de machos se debe al periodo prereproductivo o búsqueda de pareja.

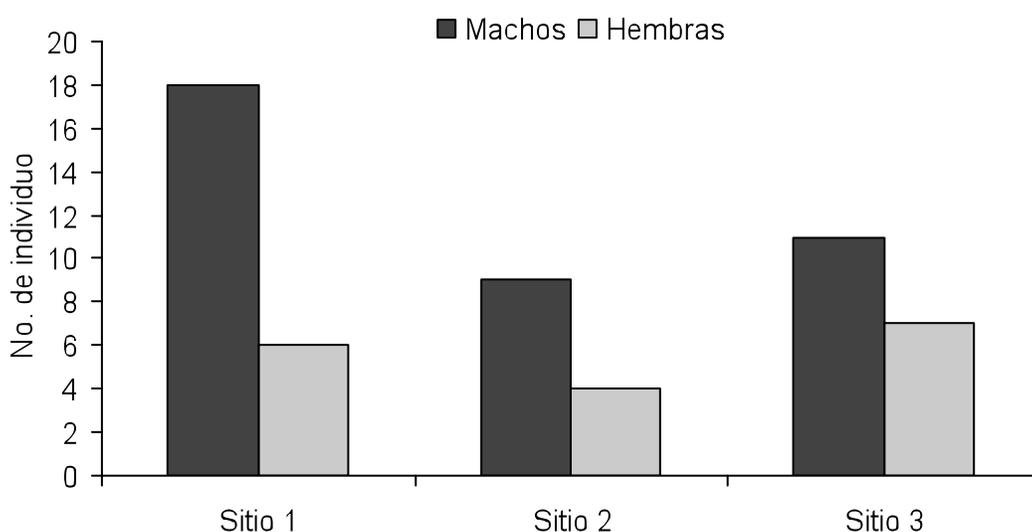


Figura 4.3. Proporción de sexos de *Sigmodon hispidus* en base a capturas realizadas en tres sitios de muestreo en caña de azúcar.

Clases de edades

Con base en las capturas realizadas sólo se encontraron dos clases de edades en las tres parcelas de muestreo, individuos subadultos y adultos, los adultos conformaron la clase más abundante en la población (Figura 4.4). Estos datos son relevantes en nuestra investigación puesto que se necesitaba que la población estuviera conformada por individuos subadultos y adultos, con el fin de

tener una muestra representativa de la preferencia a través del consumo. En adición a esto la clase subadulta esta relacionada con la mayor disponibilidad de recursos en el hábitat y en donde de manera directa es la responsable de la reproducción en las próximas generaciones (Derting, 1989).

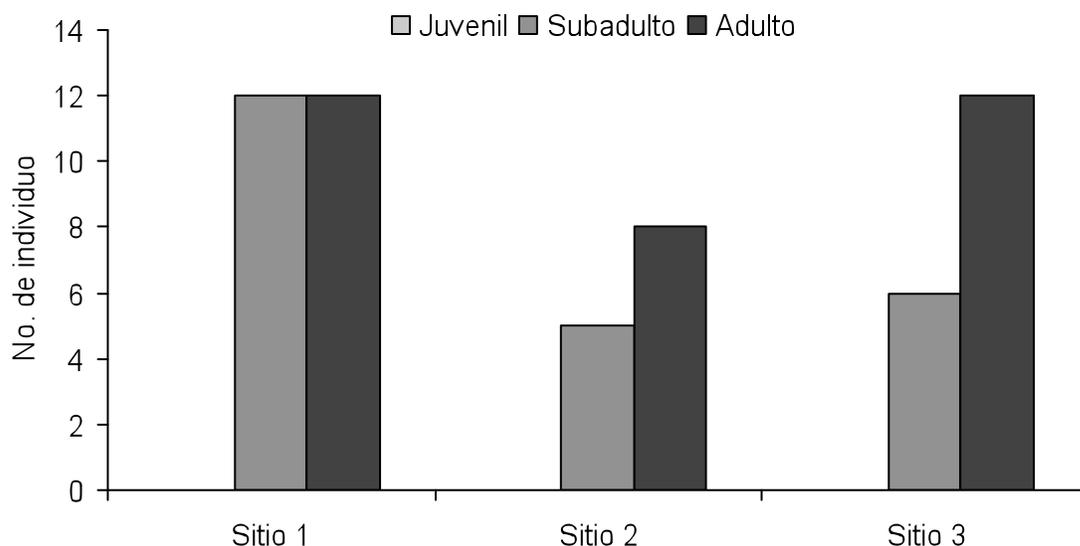


Figura 4.4. Clases de edades de *Sigmodon hispidus* encontradas en tres sitios de muestreo, en caña de azúcar.

Evaluación del consumo y preferencia en campo

Los resultados del análisis de varianza mostraron que el consumo por interacción lugar*producto ($F=0.64$, $gl=10$, $P=0.77$) y el efecto lugar ($F=0.64$, $gl=2$, $P=0.52$) no fueron significativos; en contraste, el efecto de los productos ($F=66.37$, $gl=5$, $P\leq 0.000$) fue altamente significativo.

Los resultados del análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($P\leq 0.05$) indicaron diferencias estadísticas en el consumo por producto, donde los productos warfarina, bromadiolona y fosfuro de zinc fueron los menos consumidos (0.00, 0.28 y 1.12 g, respectivamente), el flocumafen mostró un consumo intermedio (4.86 g), la difacinona y el brodifacum (5.37 y 6.56g, respectivamente) fueron los más consumidos (Figura 4.5 y Cuadro 4.2). Este consumo puede atribuirse a la

composición de los tres últimos rodenticidas porque son productos elaborados a base de granos de cereales, los roedores muestran preferencia a este tipo de productos. También podemos mencionar que la característica física del producto es un factor determinante en la preferencia, en el caso de los menos consumidos, posiblemente se debe a que la warfarina y el fosforo de zinc son productos de elaboración casera, preparados en bolsas de glicina, lo que ocasionó que los roedores no los consumieran, además, estos productos se vieron afectados por la humedad y tuvieron la presencia de hormigas. Los elaborados con fosforo de zinc se enranciaron por el aceite contenido en éstos, ocasionando menos consumo del mismo. En cambio, la bromadiolona es un producto altamente parafinado, fue afectado por el calor del sol lo que originó que se derritiera disminuyendo así la atracción hacia los roedores. En contraste, los productos mayormente consumidos, en este caso, flocumafen, difacinona y brodifacum, son productos elaborados con menos parafina y con mayor contenido de cereales enteros, lo que ocasionó mayor consumo por los roedores. Por otra parte, los roedores cuando buscan comida y encuentran cebos o pellets a su paso, en ocasiones consumen una pequeña parte del producto, otras veces lo transportan a su refugio o madriguera para consumirlo después (Priotto *et al.*, 2002). Así mismo, los roedores tienden a seleccionar una dieta balanceada cuando se les da a elegir entre un amplio rango de alimentos diferentes. De esta manera, los roedores tienen habilidad para reconocer formas simples, discernir cambios en muy escasa luz y distinguir objetos de diferente tamaño. MacDonald (1999) y O'connor *et al.* (2002) mencionaron que un factor muy importante es que el cebo sea palatable a las especies de roedores, para que una dosis letal sea consumida en la primera exposición. Priotto *et al.* (2002) encontraron que los roedores tienden a seleccionar una dieta balanceada cuando se les da a elegir entre un amplio rango de alimentos diferentes. De esta manera, los roedores tienen habilidad para reconocer formas simples y discernir cambios en muy escasa luz; pueden distinguir entre patrones simples y objetos de diferente tamaño. Por otra parte, Eason (1991) e Innes (1995) mencionaron que la palatabilidad es un factor muy importante, ya que se requiere que el cebo sea palatable a las especies de roedores, para que una dosis letal sea consumida en la primera exposición.

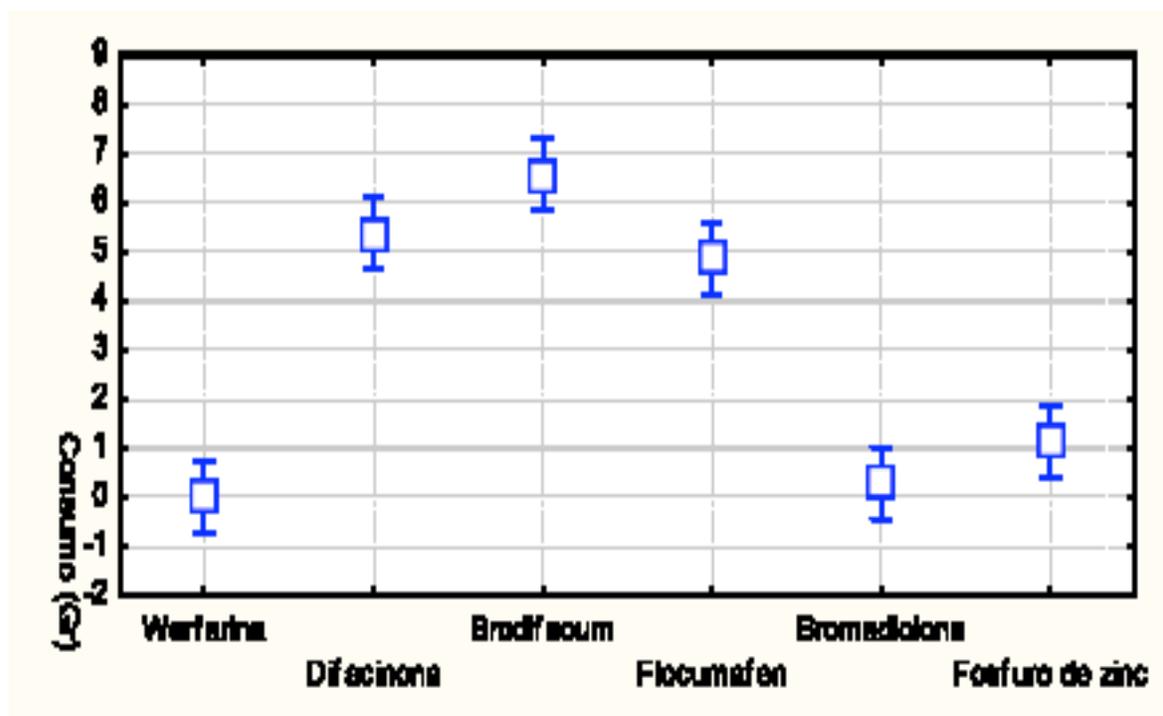


Figura 4.5. Consumo (g) de los seis rodenticidas ofertados en campo de junio a julio del 2005 en caña de azúcar.

Cuadro 4.2. Media y desviación estándar del consumo (g) de los rodenticida ofertados en campo.

Producto	Media*	Desviación estándar
Warfarina	0.00 a	0.00
Bromadiolona	0.28 a	1.63
Fosfuro de zinc	1.12 a	3.19
Flocumafen	4.86 b	4.31
Difacinona	5.37 bc	4.36
Brodifacum	6.56 c	4.83

* Diferencia literal entre filas significan diferencias estadísticas (Tukey; $P \leq 0.05$).

Efectos del ambiente sobre los rodenticidas

Factor humedad

Los productos que presentaron humedad evidente fue el flocumafen con un 92.2%, seguido de la difacinona con un 90%, el fosfuro de zinc un 62.2% y la warfarina un 61.1% (Figura 4.6). Los productos que no tienen una presentación parafinada son propicios a humedecerse con el rocío y a degradarse, como es el caso del flocumafen. Aunque en nuestro estudio estos productos fueron afectados por la humedad esto no fue tan significativo, ya que en el transcurso del día los productos volvían a secarse por el sol y por ende los roedores seguían consumiéndolos. En otros casos cuando se presentaban lluvias en la región y estas eran intensas los rodenticidas llegaban a deshacerse, en consecuencia, los roedores ya no presentaban preferencia hacia estos productos. Este tipo de productos debe manejarse en épocas de seca, ya que durante la época de lluvias podrían no causar efecto en las poblaciones de roedores.

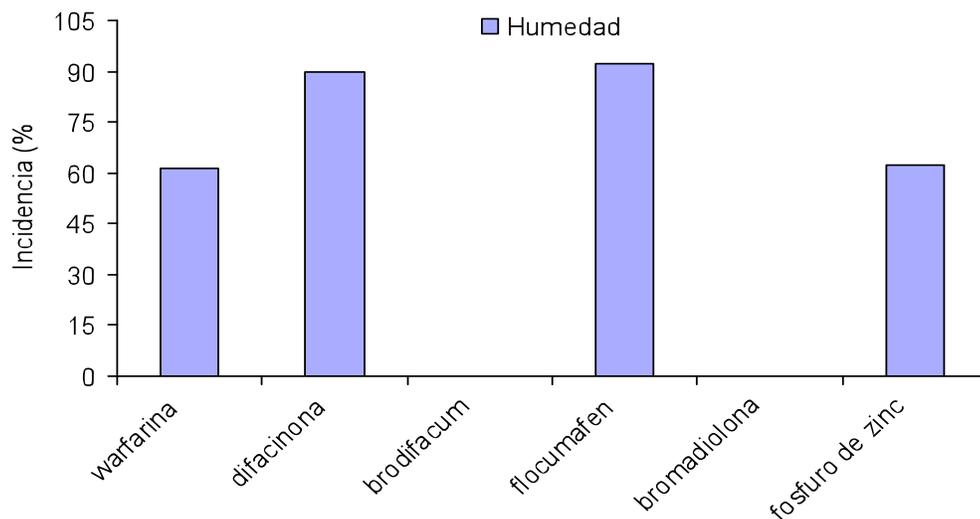


Figura 4.6. Porcentaje de incidencia del efecto humedad sobre los seis rodenticidas evaluados en campo.

Factor derretido

Los productos afectados por el calor fueron la bromadiolona con un 41.1% y el brodifacum con un 26.7% del total de unidades ofertadas (Figura 4.7). Éstos productos extremadamente parafinados demostraron no ser resistentes al calor, puesto que con las altas temperaturas llegaban a derretirse con mayor facilidad, y en algunos casos perdían su forma física. Los productos restantes no fueron afectados por este factor. Por lo tanto es necesario utilizar éstos productos en lugares donde el cultivo tenga buena cobertura y puedan protegerlos o bien usarlos en épocas en que las temperaturas no afecten su composición física, como es el caso de la temporada de lluvia.

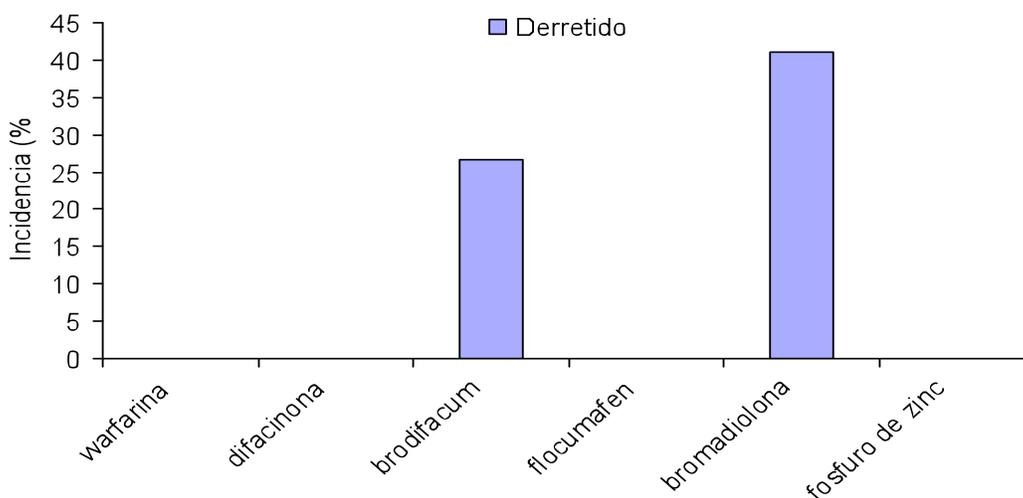


Figura 4.7. Porcentaje de incidencia del efecto derretido sobre los seis rodenticidas evaluados en campo.

Factor agrietado

El producto que presentó el mayor agrietado fue el flocumafen con un 87.8%, seguido de la difacinona con un 74%, los productos restantes no presentaron este daño (Figura 4.8). Los productos que están ligeramente parafinados presentaron este tipo de problemas ya que el sol y la humedad son los factores que los afectaron

principalmente, aunque en algunos casos estos productos perdían su color los roedores seguían consumiéndolos. Por otro lado la compactación del producto y cantidad de parafina utilizada fueron características determinantes que definieron la durabilidad de los productos y la resistencia a las condiciones ambientales.

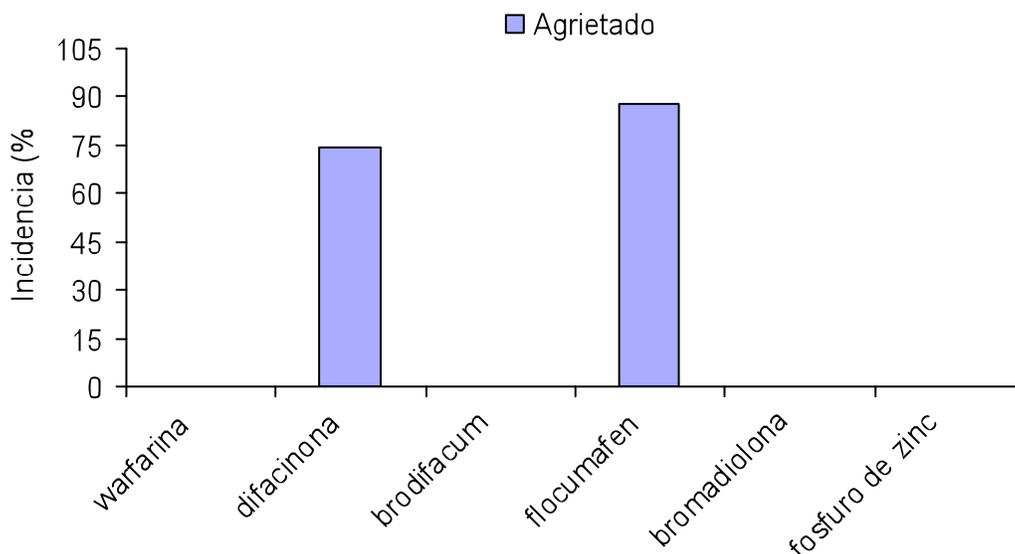


Figura 4.8. Efecto del agrietado sobre los seis rodenticidas evaluados en campo.

Factor enranciado

El producto que mostró mayor enranciamiento por el contenido de aceites fue el fosfuro de zinc con un 37.8%, los productos restantes no fueron afectados por este factor (Figura 4.9). La mayoría de los productos elaborados manualmente con aceites vegetales, muestran este tipo de problemas debido a la humedad presente por el rocío y por las lluvias ocasionales en la región, lo que ocasiona que estos productos pierdan atracción por los roedores.

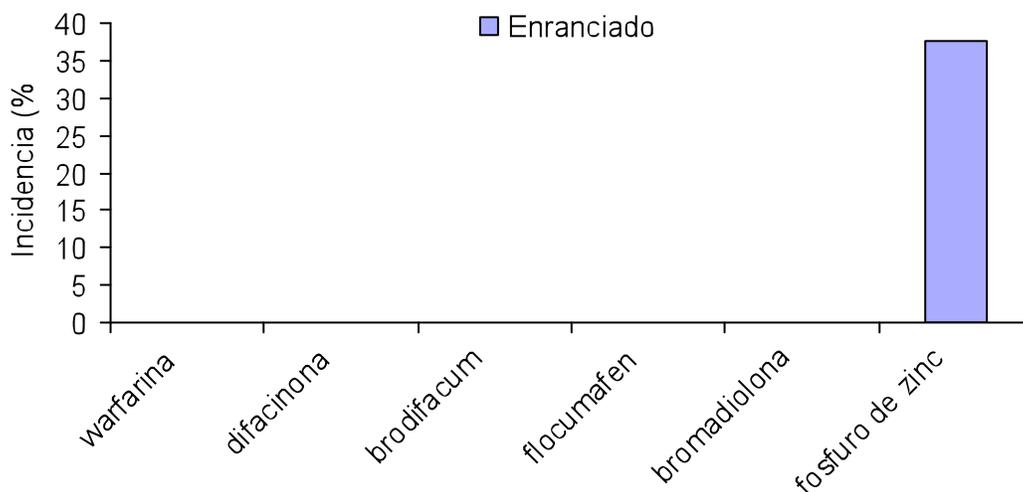


Figura 4.9. Porcentaje de incidencia del efecto enranciado sobre los seis rodenticidas evaluados en campo.

Factor hormigas

El producto que presentó el mayor porcentaje de hormigas fue la difacinona con un 27.7%, seguido del flocumafen con un 16.6%. Los productos restantes no presentaron más allá del 12% como es el caso del fosfuro de zinc (Figura 4.10). Los productos elaborados a base de cereales fueron los más atacados por hormigas, ya que éstas dejan agujeros en los cebos propiciando la fácil ruptura del producto y la pérdida del mismo por desmoronamiento. Lo cual coincide con lo reportado con Prakash (1988), quien menciona que los insectos pueden atacar los cebos que contienen cereal y esto disminuye la atracción hacia los roedores.

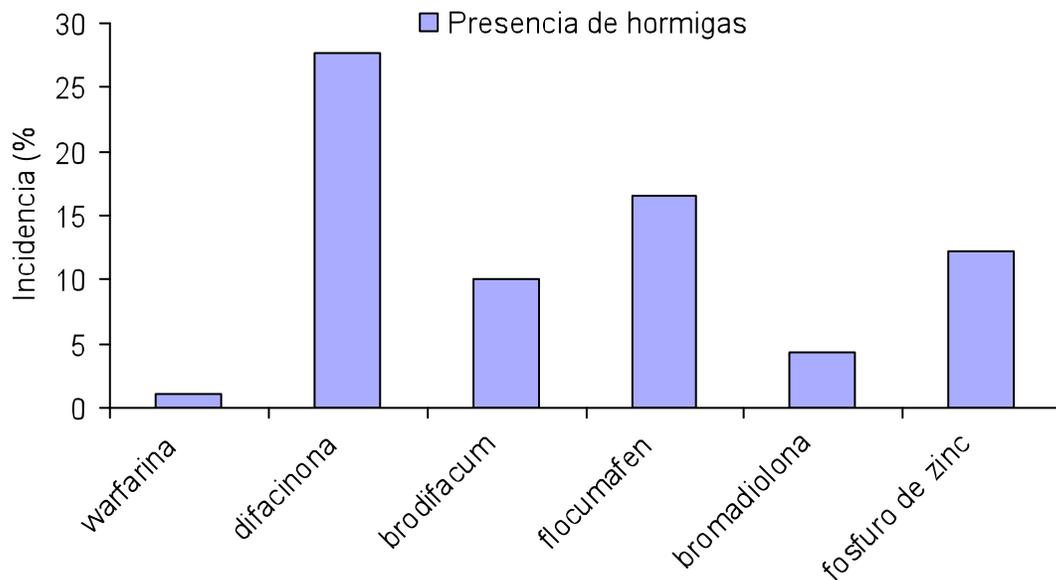


Figura 4.10. Porcentaje de incidencia de hormigas en los seis rodenticidas evaluados en campo.

La estimación de los efectos ambientales sobre los rodenticidas, mostraron que la humedad es el factor que más afecta las propiedades físicas de los rodenticidas con un 48.5%, seguido del agrietado del producto con un 25.0%, un 11.2% el efecto de hormigas, un 10.3% sufrieron derretido y el 5.0% se enranció (Figura 4.11). Estos factores afectaron más a unos productos que a otros debido a sus características de composición.

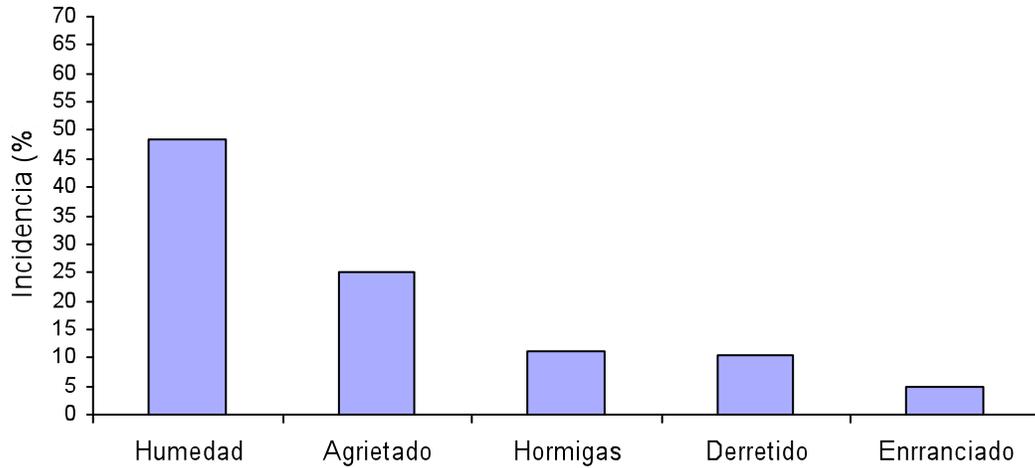


Figura 4.11. Incidencia de los factores ambientales sobre los rodenticidas.

Con base en los resultados de los efectos de factores ambientales y consumo de los seis rodenticidas, se encontró que la difacinona y el flocumafen (38.3 y 39.1%, respectivamente), tuvieron un índice medio de incidencia de los factores ambientales, éstos mismos productos presentaron un mayor consumo por los roedores. El brodifacum (7.2%) presentó un índice bajo de incidencia y fue el que mejor resistió los efectos del ambiente (Figura 4.12). Por lo tanto, es necesario conocer no solo la efectividad de los productos sino su composición, para que de acuerdo a la época de aplicación (lluvia o sequía) se elijan los rodenticidas adecuados y éstos puedan controlar las poblaciones de roedores.

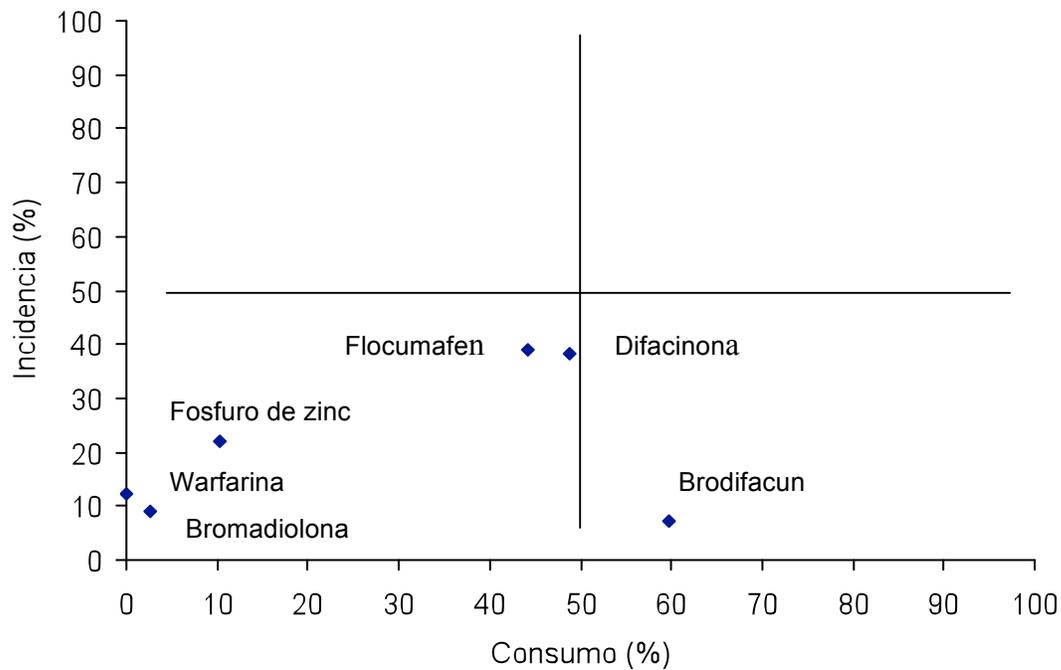


Figura 4.12. Efectos del ambiente y consumo de los seis rodenticidas evaluados en campo.

4.4. CONCLUSIONES

A través de este estudio se encontró que el tamaño poblacional de roedores estimado a través del modelo Jolly-Seber mostró variaciones en cada parcela de muestreo, el mayor número de roedores se encontró en la primera parcela de muestreo comparado con las otras parcelas. Los rodenticidas flocumafen, difacinona y el brodifacun, fueron los más consumidos por *Sigmodon hispidus*, en cambio la bromadiolona, fosfuro de zinc y warfarina fueron los menos preferidos. El consumo por sitio no fue significativo. La proporción entre sexos, mostraron que los machos son más abundantes que las hembras; así mismo, los roedores adultos fueron los más abundante. En la evaluación de los efectos del ambiente sobre los rodenticidas, el brodifacun fue el producto que presentó el mayor consumo y el que tuvo el menor número de incidencia de factores ambientales. En cambio, el flocumafen y la

difacina presentaron también un mayor consumo, pero fueron más afectados por los factores ambientales evaluados.

4.5. BIBLIOGRAFÍA

Anónimo. 2005. Map of México. Oaxaca State, México map in 16 zoomable tiler or section. :<http://www.maps-of-mexico.com/oaxaca-state-mexico/oaxaca-state>.

Arkin-Colton, H.R. 1977. Métodos estadísticos. C.E.C.S.A. México. pp. 164-170.

Bomford, M. and Redhead, T. 1987. A field experiment to examine the effect of food quality and population density on reproduction of wild house mice. *Oikos* 48: 304-311.

Buckle, A.P. and Smith, R.H. 1994. Rodent pest and their control. Centre for Agriculture and Biosciences International. England. pp. 132-156.

Cameron, G.N. and Kincaid, W.B. 1982. Species removal effects on movements of *Sigmodon hispidus* and *Reithrodontomys fulvescens*. *American Midland Naturalist* 108: 60-67.

Cameron, G.N. and Spencer, S.R. 1981. Mammalian species. *American Society of Mammalogists*. 158: 1-9.

Derting, T.L. 1989. Metabolism and food availability as regulators of production in juvenile cotton rat. *Ecological Society of America* 70 (3): 587-595.

Eason, C.T. 1991. An evaluation of different rodenticides for use on Lord Howe Island. Landcare Research Contract Report LC9596/102. Department of conservation. Wellington N.Z. (Unpublished).

- EPA. 1982. Guideline for field testing rodenticides. United States Environmental Protection Agency. Washington, USA. 23 p.
- Escobar, M.K. 2002. Estructura poblacional de *Sigmodon hispidus toltecus* (Saussure 1860) en un sistema agrícola cañero en la estación de lluvia y seca en Motzorongo Veracruz. Tesis profesional. Universidad Veracruzana. Veracruz. 43 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Adaptación a las condiciones de la Republica Mexicana. Instituto de geografía. UNAM 4 ed. México. D. F. pp 155-191.
- Goertz, J.W. 1965. Reproductive variation in cotton rats. American Midland Naturalist 74 (2): 329-340.
- Greaves, J.H. 1982. Rodent control in agriculture. FAO Plant Production and Protection Paper No. 40. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 88 p.
- Hernández, V.T. 1994. Comparación de la palatabilidad de dos rodenticidas comerciales de bromadiolona en campo y laboratorio. Tesis Profesional. U.N.A.M. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. México D.F. 87 p.
- Hilje, L. y Monge, J. 1988. Lista preliminar y consideraciones generales acerca de los animales vertebrados plaga en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 10: 39-52.
- Humbert, R. 1968. The growing of sugar cane. Elsevier Publishing Company. Amsterdam, Holland. 687 p.

- Innes, J. 1995. Evaluation of the Norfolk Island rat control program. Landcare Research Contract Report LC9495/128. Prepared for the Australian Nature Conservation Agency. Australia. (unpublished)
- Jackson, W.B. 1972. Biological and behavioural studies of rodents as a basis for control. Bulletin of the World Health Organisation 47: 281-286.
- Jolly, G.M. 1965. Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration: Stochastic model. Biometrika 52: 225-247.
- Kincaid, W.B. and Cameron, G.N. 1985. Interactions of cotton rat with a patchy environment; dietary responses and habitat selection. Ecology 66: 1769-1783.
- Krebs, C.J. 1999. Ecological methodology (2nd edition). Addison Wesley Longman. Menlo Park. 620 p.
- Leopold, B.D. and Krausman, P.R. 1986. Diets of 3 predators in Big Bend national Park, Texas. Journal Wildlife Management 50: 290-295.
- Lidicker, W.Z. 1985. Population structuring as a factor in understanding microtine cycles. Acta Zoologica Fennica 173: 23-27.
- Lidicker, W.Z.; Wolff, J.O.; Lidicker, L.N. and Smith, R.H. 1992. Utilization of habitat mosaic by cotton rats during a population decline. Landscape Ecology 6 (4): 259-268.
- Macdonald, D.W.; Mathews, F. and Berdoy, M. 1999. The behaviour and ecology of *Rattus norvegicus*: from opportunism to kamikaze tendencies. In: Singleton, G.R.; Hinds, L.A.; Leirs, H. and Zhang, Z. (Eds), Ecologically-based Rodent Management. Monograph No 59, Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra. pp. 49-80.

- Martof, B.S. 1953. Territoriality in the green frog, *Rana clamitans*. Ecology 34: 165-174.
- McFadden, I. 1984. Composition and presentation of baits and their acceptance by kiore (*Rattus exulans*). New Zealand Wildlife Service. Department of conservation, Wellington New Zealand. Technical Report No. 7.
- Mills, J.; Childs, J. 1998. Ecologic studies of rodent reservoirs: their relevance for human health. Emerging infectious diseases. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. Atlanta. USA 4 (4): 529-537.
- O'Connor, C.E.; Eason, C.T. and Endepols, S. 2002. Evaluation of secondary poisoning hazards to ferrets and weka from the rodenticide coumatetralyl. Wildlife Research. pp 457- 460.
- Peña, R.J.L. 2007. Variación estacional de la rata algodonera *Sigmodon hispidus* Say et Ord, 1825 (RODENTIA: CRICETIDAE). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. 73 p.
- Pomar, I. 2004. Estudio prehispánico e histórico social del municipio de Acatlan de Pérez Figueroa Oaxaca. CONACULTA. Oaxaca, Mexico. pp. 90-94.
- Prakash, I. 1988. Bait shyness and poison aversion. pp. 321-329 In: Prakash, I. (Ed). Rodent pest management. CRC Press, Florida, USA. 480 p.
- Priotto, J.W.; Steinmann, A. and Polop, J. 2002. Factors affecting home range size and overlap in *Calomys venustus* (Muridae: Sigmodontinae) in Argentine agroecosystems. Mammalian Biology (Z. Säugetierkunde) 67: 97-104.
- Quy, R.J.; Cowan, D.P.; Morgan, C. and Swinney, T. 1996. Palatability of rodenticide baits in relation to their effectiveness against farm populations of the Norway

rat. pp. 133–138 *in*: Timm, R.M. and Crabb, A.C. (Ed.). Proceedings 17th Vertebrate Pest Conference, 5-7 March 1996, Rohnert Park, California. University of California, Davis.

Ramirez, L.E. 1997. Evaluación de la preferencia y resistencia física de 10 productos rodenticidas utilizados en cultivos de caña de azúcar. Tesis profesional. U.N.A.M. Iztacala Tlalnepantla, Edo. de México. 75 p.

Reichmann, O.J. and Van de Graaff, K.M. 1975. Association between ingestion of green vegetation and desert rodent reproduction. *Journal of Mammology* 56: 503-506.

Reidinger, R.F. Jr. and Mason, J.R. 1983. Exploitable characteristics of neophobia and food aversions for improvements in rodent and bird control. pp. 20.39 *In*: Kaukeinen, D.E. (Ed.). Vertebrate pest control and management materials 4th vol., ASTM 974. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

Riess, H.C. y Flores, C.S. 1976. Catálogo de plagas y enfermedades de la caña de azúcar. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. México. Serie: Divulgación Técnica IMPA México. Libro No. 11. 177 p.

Robards, G.E. and Saunders, G. 1998. Food preferences of house mice (*Mus domesticus*) and their implications for control strategies. *Wildlife Research* 25: 595-601.

Robertson, H.; Saul, E. and Tiraa, A. 1998. Rat control on Rarotonga: some lessons for mainland islands in New Zealand. *Ecological Management* 6: 1-12.

Scott, J.A. 1973. Convergente of population biology and adult behaviour in two sympatric butterflies: *Neominois ridsingii* (Papilionoidea: Nymphalidae) and

Amblycirtes simus (Hesperoidea: Hesperidae). Journal of animal Ecology 42: 663-672.

Seber, G.A. 1973. The estimation of animal abundance and related parameters. Biometrika. 52: 249-259.

Statistica 5.1. StatSoft, Inc. 1995. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK. StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK. <http://www.statsoft.com>.

Vaughan, D.E.; Kirshenbaum, J.M. and Loscalzo, J. 1988. Streptokinase-induced, antibody-mediated platelet aggregation: a potential cause of clot propagation *in vivo*. Journal of American College of Cardiology 11 (6): 1343-1348.

Villa, C.B. y Vázquez, L.I. 2001. Estudios de efectividad biológica con rodenticidas. *In*: Bautista MN, Díaz GO. (Eds.) Bases para realizar estudios de efectividad biológica de plaguicidas. México. pp. 51 -61.

West, R.R.; Fall, M.W. and Libay, J.L. 1975. Reducing interactions among rats to improve bait acceptance. Philippine Agriculturist 59: 31-36.

**EFFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE SEIS RODENTICIDAS UTILIZADOS PARA EL
CONTROL DE *Sigmodon hispidus* EN CAÑA DE AZÚCAR**

V. EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE SEIS RODENTICIDAS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE *Sigmodon hispidus* EN CAÑA DE AZÚCAR

5.1. INTRODUCCIÓN

La rata cañera *Sigmodon hispidus* es en la actualidad una plaga importante ya que el nivel de daño que ocasiona es grave (Cruz, 1996), se estiman pérdidas económicas en tallos frescos de caña que van del 5 al 30% (Villa y Whisson, 1995). El problema generado por este roedor y el impacto económico se refleja en la reducción de la producción, así como en los costos para su combate.

El cultivo de caña de azúcar es en particular susceptible al ataque de roedores en todos sus estados de crecimiento; este roedor ataca las yemas, retoños y cogollos. Sin embargo, muchos autores han reportado que la infestación de roedores es mayor en cultivos maduros (Hampson, 1984), supuestamente por el alto contenido de sacarosa que presentan los tallos en esa etapa fenológica del cultivo (Buckle y Smith, 1994; Whisson, 1996). El daño es más frecuente en tallos maduros que contienen alta cantidad de azúcar cerca del décimo mes, roen el tejido cortical de los entrenudos (canutos) de los tallos hasta obtener el dulce jugo, causando daños del 10 al 30% del cultivo. Lo anterior, reduce el rendimiento por hectárea y por ende, la cantidad de azúcar por tonelada de caña (Estrada *et al.*, 1996; Greaves *et al.*, 1982; Hilje, 1992; Metcalfe y Thomas, 1966; Ruiz, 1984).

Para que un rodenticida sea efectivo debe ser presentado en una forma que sea rápidamente aceptada por la plaga. Los cebos confeccionados a una especie particular deben tener el potencial para: 1) Incrementar la aceptación del cebo; 2) Decrecer la cantidad de cebo requerida para alcanzar un nivel particular de control; 3) Incrementar la especificidad hacia la plaga, a fin de reducir el envenenamiento primario de especies inofensivas; y 4) Decrecer la aversión hacia el cebo (Willson, 1993).

La eficacia de un rodenticida no sólo depende del modo de acción y la toxicidad hacia la especie en cuestión, sino también de su palatabilidad (Prakash, 1988). También influye la estructura de edades del roedor al momento de la aplicación. El valor práctico de los rodenticidas se certifica bajo condiciones de campo, esto implica mayor complejidad por la diversidad de factores que intervienen y porque no solo se prueba su efectividad, sino también se examinan aspectos de impacto ambiental, salud pública y de fauna en general (Bautista y Díaz, 2001).

En el uso de rodenticidas es imprescindible que se profundice en el conocimiento de los aspectos relevantes de estos agroquímicos, como son: pruebas de efectividad biológica, métodos de aplicación, impacto ecológico, umbral económico y resistencia a éstos, entre otros. Por otra parte, es importante evaluar la toxicidad y residualidad de los rodenticidas puesto que pueden entrar en las cadenas tróficas. Otros estudios deben incluir la elección de la dosis adecuada y el momento de la aplicación, la etapa de desarrollo crítico del cultivo, la cual es muy importante por razones prácticas y económicas para el control (Velazco y Nava, 1988).

Tomando en cuenta lo antes mencionado, definimos la mortalidad como la tasa de muertes ocurridas en una población durante un tiempo dado, en general o por una causa determinada. Por lo tanto, en este estudio nos planteamos estimar los índices de mortalidad de *Sigmodon hispidus* para comparar la efectividad biológica de los rodenticidas warfarina, difacinona, brodifacum, flocumafen, bromadiolona y fosfuro de zinc.

5.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

Este trabajo se realizó en seis parcelas cercanas a la comunidad de la Junta, perteneciente al Municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca. México. Localizada entre las coordenadas: (18°32'9" N y 96°37'4" W); a una altura de 132 msnm. El clima predominante en esta zona es calido subhúmedo Am(w)(e)g, según

la clasificación de Köppen modificado por García (1988), con una temperatura promedio de 27 °C. Presenta una precipitación promedio anual de 2157 mm (Pomar, 2004). También se utilizó el mismo método para estimar las poblaciones de roedores y se evaluaron las mismas características en los roedores descritos en el capítulo II.

Estimación del tamaño poblacional y la tasa de residencia (sobrevivencia) a través del modelo Jolly-Seber

El método se empleó para estimar el tamaño poblacional (N), los datos de captura y recaptura de cada muestreo (n_i) de *Sigmodon hispidus* fueron organizados siguiendo los principios propuestos por el modelo Jolly-Seber. En donde se hizo un recuento de los animales marcados (M) capturados en el momento t (por medio de trampas Sherman). Se estimó el tamaño total de la población: 1) el número de animales marcados que están vivos (M), y 2) la proporción de la población total que esta marcada en cada sesión (m_t), los no marcados (U_t) encontrados en el tiempo (t), el total de capturas (n_t) en el tiempo (t) y los roedores encontrados muertos o que escaparon durante el muestreo (S_t). De esta forma se estimó el tamaño poblacional (N) como las pérdidas (P_t) y ganancias (B_t) en cada sesión de muestreo (Jolly, 1965; Seber, 1973).

Se realizaron dos estimaciones de la densidad o abundancia poblacional de los roedores blanco, una al inicio del tratamiento y otra al final, se obtuvo la tasa de mortalidad a partir de la diferencia en el tamaño poblacional estimada, a través del modelo Jolly-Seber utilizando la técnica de Captura-Marcaje-Recaptura. El supuesto de esta evaluación fue, que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser capturados. Este modelo también calcula una tasa de residencia (ϕ_t), el termino residencia puede ser más apropiado (Ehrlich, 1961) puesto que no distingue entre mortalidad y emigración (Bergman y Landin, 2002). Donde la residencia es la probabilidad estimada de que un individuo presente en el día t pueda encontrarse en el día $t+1$. Este método estima un tamaño poblacional y una residencia para cada uno de los días de muestreo. Se utilizó el método de Scott (1973) para estimar la razón de residencia; y el número total de individuos en la población durante el

periodo de muestreo, este método incluye un factor de corrección que pondera la razón de residencia a favor de los días con más datos y elimina las fluctuaciones causadas por el clima o factores de muestreo, que puedan afectar las estimaciones de residencia valoradas por dicho método. Puesto que el método estima un tamaño poblacional y una residencia para cada uno de los días de muestreo cuando se estiman poblaciones en dos periodos de muestreo diferentes (Jolly, 1965; Seber, 1973).

El tamaño de la población se estima según Jolly-Seber como:

$$M_t = \frac{S_t Z_t + m_t}{R_t}$$

Donde:

M_t = Número estimado de animales marcados en el i ésimo momento.

S_t = Total de animales liberados en el i ésimo momento.

Z_t = Número de animales marcados antes del i ésimo momento, no capturados en la i ésima muestra, pero capturados en las muestras siguientes (después del momento i).

R_t = Número de animales marcados liberados en el i ésimo momento (S_i) que fueron capturados en las muestras siguientes.

m_t = Animales marcados capturados en el i ésimo momento.

u_t = Son los animales capturados en el momento i que no presentaron marcas, es decir nuevos.

La proporción de animales marcados se estima como:

$$\hat{\alpha}_t = \frac{m_t + 1}{n_t + 1}$$

n_t = Número total de animales capturados en el momento i .

Donde +1 es una corrección para el sesgo en muestras pequeñas (Scott, 1973).

$$\hat{M}_t = \frac{(s_t + 1)Z_t}{R_t + 1} + m_t$$

Donde: \hat{M}_t = Tamaño estimado de la población marcada antes del muestreo en el tiempo t. Por lo cual el tamaño de la población estimada es:

$$\hat{N}_t = \frac{\hat{M}_t}{\alpha_t}$$

Donde: \hat{N}_t = Tamaño estimado de la población antes del muestreo en el tiempo t.

Definiendo el índice de supervivencia como el porcentaje de animales que sobreviven en un intervalo dado:

Este índice se define como:

$$\varphi_t = \frac{\text{Tamaño de la población marcada en el muestreo } t+1}{\text{Tamaño de la población marcada al final del muestreo } t}$$

Donde: φ_t = Probabilidad de residencia para el muestreo t al muestreo t+1, es decir:

$$\varphi_t = \frac{\hat{M}_{t+1}}{\hat{M}_t + (s_t - m_t)}$$

La tasa de residencia o supervivencia es el porcentaje de animales que sobreviven a la acción de un roenticida a través del tiempo, calculando el tamaño poblacional en dos periodos de tiempo (Nt1 y Nt2).

Evaluación del daño

Se estimó el daño en tallos frescos en seis parcelas del cultivo comercial caña de azúcar de 1 h cada una, del 27 de mayo al 24 de julio del 2006. Se realizó un

muestreo por parcela, tomando 3 líneas (surcos) al azar, a 10 m de distancia del margen externo (borde) y se estimó el daño en tallos frescos en cada uno de los surcos, contando 25 cepas de caña indicando el total de tallos por cepa y número de tallos dañados (mordeduras). Se hicieron las lecturas en los 3 surcos y se hizo una sumatoria de los tallos dañados, para determinar el daño dentro del cultivo y en cada una de las parcelas (Agüero *et al.*, 1985; Lefebvre *et al.*, 1976). Se establecieron categorías para medir el índice de daño, considerando un daño bajo ($0 < 10\%$); medio (>10 y $<20\%$) y alto ($>20\%$). El índice de daño se estimó con la siguiente ecuación.

$$\text{Daño } T = (a/b) 100$$

T = Porcentaje de daño

a = Número total de tallos dañados en 25 cepas muestreadas

b = Número total de tallos contados en 25 cepas muestreadas

Rodenticidas evaluados

Se evaluaron seis rodenticidas, cuatro comerciales: 0.05% difacinona (Felino®); 0.05% flocumafen (Storm®); 0.05% brodifacum (Klerat®); 0.05% bromadiolona (Cereal B®), y dos preparados manualmente (cebos), warfarina 0.05% (mezcla de sorgo y maíz quebrado) y 2.0% fosfuro de zinc (mezcla de maíz quebrado) para el control de la rata cañera (*S. hispidus*).

Establecimiento del experimento

El experimento se realizó de mayo a junio del 2006, se estableció un diseño completamente al azar, se seleccionaron seis parcelas del cultivo comercial caña de azúcar de 1 h cada una, se estimó el tamaño poblacional en cada parcela de muestreo, se evaluaron los seis rodenticidas uno por parcela, cada rodenticida se consideró un tratamiento. La dosis de aplicación fue de 5 g mínima y 11 g máxima

del producto por punto. La unidad experimental fue cada punto de producto ofertado en campo. Las frecuencias de saturación u hostigamiento están relacionadas al índice de daño dentro del cultivo, entre cada 3, 6 y 9 surcos de caña para un índice de daño alto, medio y bajo respectivamente, colocando el producto 10 m de distancia entre cada punto al interior del cultivo (Buckle *et al.*, 1984).

Cuadro 5.1. Frecuencia y dosis de aplicación de los seis rodenticidas evaluados en campo.

Producto	Dosis por punto (g)	Densidad (Puntos/ha)	Dosis total (g/ha)
Brodifacum	9.7	140	1,358
Bromadiolona	11	140	1,540
Flocumafen	6.94	140	971.1
Difacinona	6	140	940
Fosfuro de zinc	5	140	700
Warfarina	5	140	700

El estudio fue conducido sobre las poblaciones de *Sigmodon hispidus*, las cuales infestan los cultivos de caña de azúcar. Para reducir los efectos posibles del movimiento de la rata, se seleccionaron áreas internas del cultivo separadas a 500 m de distancia una de la otra como mínimo, con el propósito de evitar interferencias entre cada tratamiento (Buckle *et al.*, 1984).

Las unidades aplicadas en campo fueron vigiladas con el fin de evaluar el porcentaje de consumo. Se estimó el tiempo en que un producto alcanzó el 60% de consumo total en campo, para posteriormente estimar la población final. La variable a evaluar fue la mortalidad.

Evaluación de la efectividad de los rodenticidas en campo

Se aplicó el método de Captura - Marcaje – Recaptura Jolly-Seber para obtener las estimaciones del tamaño poblacional y conocer la densidad o abundancia de *Sigmodon hispidus*, una al inicio del tratamiento (N_{t1}) y otra al final (N_{t2}).

a) Se obtuvo el tamaño inicial de los roedores (N_{t1}), mediante capturas realizadas en cada una de las seis parcelas, durante mayo a junio del 2006, cada sesión de muestreo ($S_i = 1...6$) se realizó en cada una de las parcelas durante cinco noches consecutivas previas al tratamiento.

b) A partir del tiempo estimado de consumo mayor al 60 %, se inició el conteo de los días para realizar la siguiente evaluación del tamaño poblacional, seis días después (N_{t2}). Se obtuvo la tasa de mortalidad a partir de la diferencia en el tamaño poblacional, que se estimó utilizando la técnica de trampeo (captura-marcaje-recaptura). El supuesto de esta evaluación fue que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser capturados (Ruiz, 1999).

Donde: $M = N_{t1} - N_{t2}$

M = Número de individuos muertos (6 días posterior al tratamiento)

N_{t1} = Población inicial

N_{t2} = Población final

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estimación del tamaño poblacional

Durante el estudio se capturaron 112 individuos y se recapturaron 85, el éxito de recaptura total fue del 75.8% durante el periodo de muestreo de mayo a junio del 2006.

Los resultados de las capturas y recapturas totales obtenidas en los seis sitios de muestreo, indicaron que el mayor número de capturas fue de 17 donde se aplicó

la bromadiolona y el menor de 7 donde se aplicó el brodifacum, obtenidos en el primer periodo de muestreo (N1). También se observó, que los tamaños poblacionales fueron similares en la mayoría de los sitios. Sin embargo, los tamaños poblacionales encontrados a través de las recapturas en un segundo muestreo (N2), después de haber aplicado un rodenticida, indicaron que las poblaciones disminuyeron sus valores, encontrando el mayor número de recapturas de 6 donde se aplicó la warfarina y el menor de 0 donde se aplicó la difacinona (Figura 5.1). Esto indica que la difacinona fue el producto que alcanzó el 100% de muertes totales en la población; en contraste, la menor mortalidad estimada fue del 40% donde se aplicó la warfarina (Cuadro 5.2).

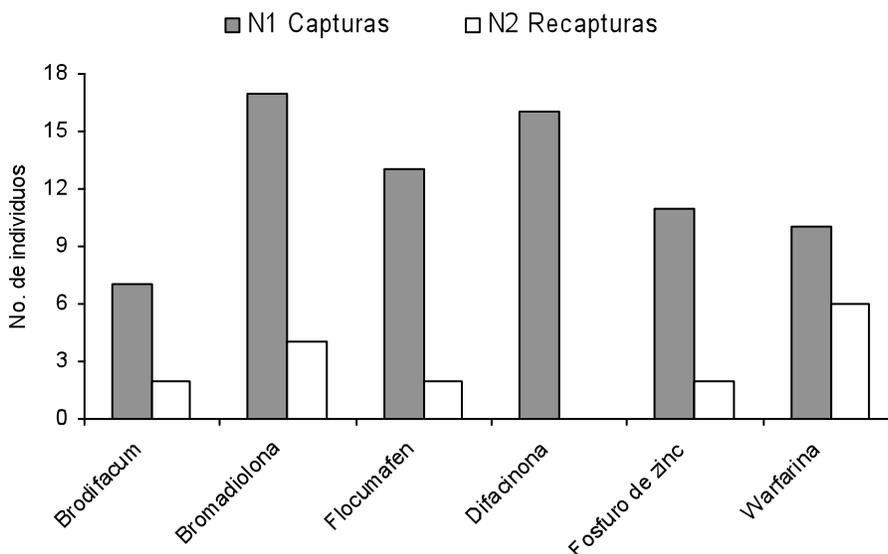


Figura 5.1. Capturas y recapturas totales de *Sigmodon hispidus* en los seis sitios de muestreo para estimar los tamaños poblaciones (N1 y N2) de mayo a junio del 2006.

En adición, podemos mencionar que la mortalidad estimada en cada sitio de muestreo esta relacionada con la población encontrada en cada muestreo, aunque no siempre sucede así ya que la mortalidad también depende del rodenticida utilizado. Derting (1989) y Wilson (1994) mencionaron que la aplicación de los roedenticidas es fundamental para obtener éxito en los programas de control de *S. hispidus*, considerando que la aplicación de un rodenticida sobre la población ha sido

tema de modelos de simulación basados en las relaciones lineales entre el tamaño poblacional y el daño.

Cuadro 5.2. Mortalidad estimada a través de las capturas y recapturas realizadas en los seis sitios de muestreo.

Rodenticida	Capturas (Nt1) Pre-tratamiento	Recapturas (Nt2) Post-tratamiento	Mortalidad estimada (%)
Brodifacum	7	2	71.42
Bromadiolona	17	4	76.47
Flocumafen	13	2	84.61
Difacinona	16	0	100
Fosfuro de zinc	11	2	81.81
Warfarina	10	6	40

Durante el período de muestreo se encontraron tres especies de roedores en el cultivo de caña de azúcar, el 95.5% corresponde a la especie *Sigmodon hispidus*, el 2.9% a la especie *Peromyscus boylii* y el 1.7% a la especie *Orizomys couesi* (Figura 5.2). La mayor abundancia de *S. hispidus* en relación a las otras especies indicaron que *Sigmodon hispidus* es una especie dominante. En estudios de estructura poblacional se mencionó que la especie *S. hispidus* compite con otras especies por la ocupación del espacio y los recursos alimenticios que este ofrece; no obstante los picos poblacionales de *S. hispidus*, determinan la interacción en aumentos y disminuciones de las otras especies en el hábitat (Cameron y Spencer, 1981; Hilscher-Conklin, 1997). En este estudio se planteó estimar los tamaños poblacionales de dicha especie puesto que es la que causa el mayor daño en caña de azúcar (Villa *et al.*, 1993; Villa y Whisson, 1995; Vázquez, 2005).

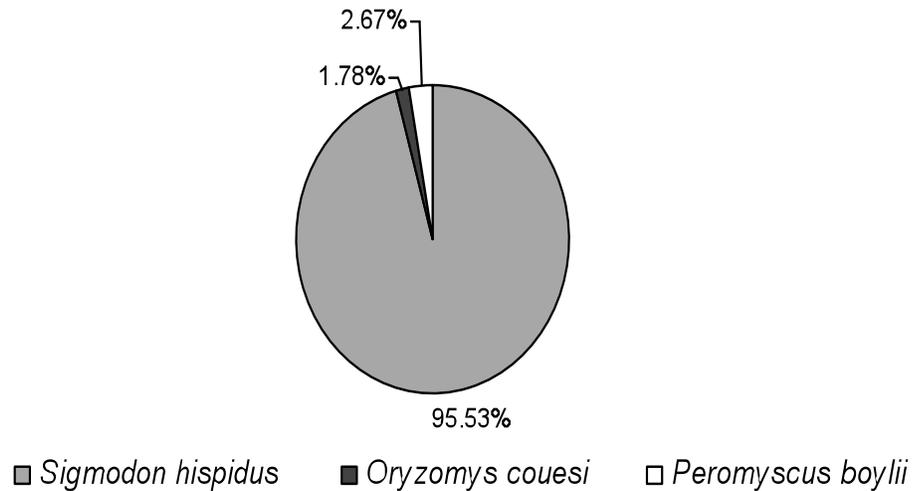


Figura 5.2. Especies de roedores encontradas en los seis sitios de muestreo de mayo a junio de 2006.

La proporción de machos y hembras observada durante el período de muestreo, indicaron que el número de machos generalmente fue mayor al de hembras en la mayoría de los sitios de muestreo, únicamente donde se aplicó brodifacum y fosfuro de zinc la proporción machos-hembras fue igual 1:1. Se encontraron 67 machos y 45 hembras en capturas totales (Figura 5.3). La presencia mayor de machos en relación al de hembras puede atribuirse a que los machos tienen más habilidad para dispersarse en los cultivos en busca de comida, considerando que los machos consumen más caña; sin embargo, las hembras tienden a consumir más semillas (Goertz, 1965; Cameron y Spencer, 1981; Lidicker *et al.*, 1992). Estos datos son de suma importancia ya que se requirió que ambos sexos estuvieran presentes en el estudio, considerando que en programas de control de roedores, es necesario evaluar el efecto de los rodenticidas sobre las poblaciones de roedores para obtener programas de control más efectivos.

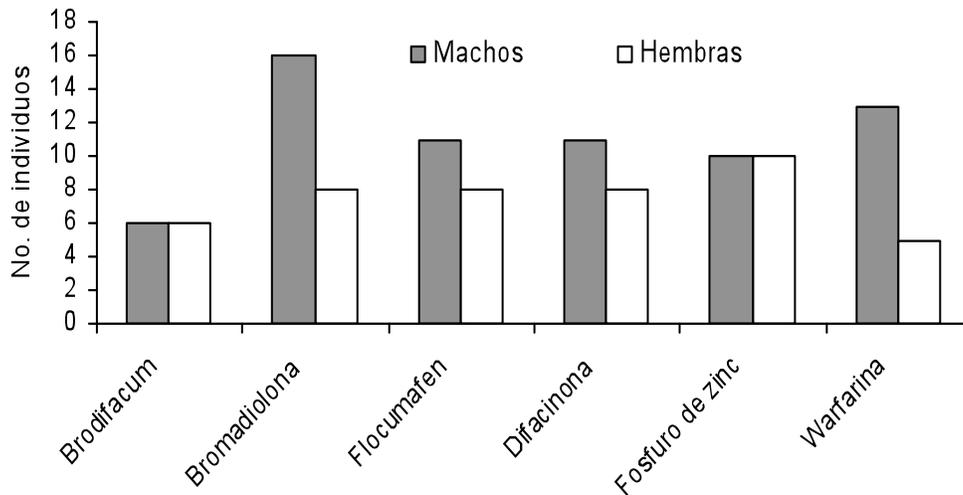


Figura 5.3. Proporción de machos y hembras encontrados en los seis sitios de muestreo de mayo a junio del 2006.

Índice de daño

De un total de 6,792 tallos frescos de caña evaluados, se observó un total de 1,003 tallos dañados en 60,000 m². En los primeros meses de desarrollo la caña no presentó daño, éste ocurrió cuando los tallos ya contenían azúcar (4 meses) y cuando la caña ofreció alimento y refugio a los roedores, la calidad del refugio esta relacionada con el número de roedores presentes en el cultivo (Derting, 1989).

Existe una relación positiva entre el número de roedores y el número de tallos dañados en los seis sitios de muestreo, ya que a mayor número de roedores, mayor fue el daño ocasionado (Figura 5.4). Sin embargo, también puede haber una relación inversa, ya que un número pequeño de roedores puede ocasionar un daño alto o bien no presentar daño evidente; también puede suceder que un número mayor de roedores ocasione un daño mínimo o presentar un daño extremadamente alto. Reafirmando esta hipótesis Diffendorfer y Slade (2002) mencionaron que el número de roedores y el daño presente en el cultivo también esta relacionado con la disponibilidad de recursos adicionales que el entorno le ofrece.

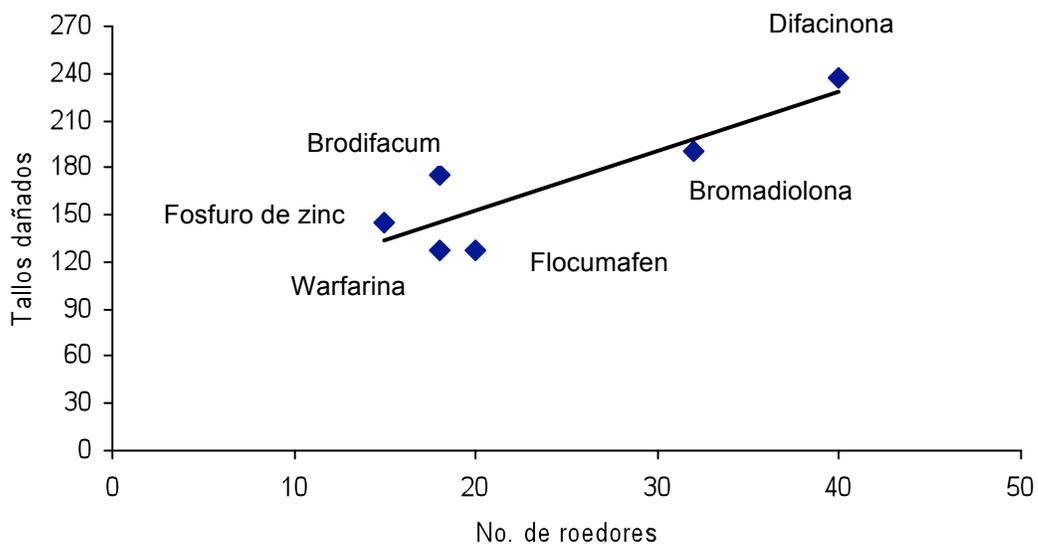


Figura 5.4. Relación del número de roedores y el daño ocasionado en tallos en caña de azúcar.

El índice de daño estimado en los seis sitios de muestreo antes de haber aplicado los rodenticidas. Mostraron un daño alto del 21.01% donde se aplicó la difacinona, los demás sitios de muestreo mostraron un índice medio del 10.2 al 16.07% respectivamente (Figura 5.5). Sánchez (1981) mencionó que cuando se obtiene más del 8% de daño en tallos frescos dentro del cultivo se sugiere la aplicación del control químico. Los resultados obtenidos sugieren la aplicación de un rodenticida en cada sitio de muestreo a fin de reducir el tamaño poblacional y en consecuencia que los roedores no sigan ocasionando más daño.

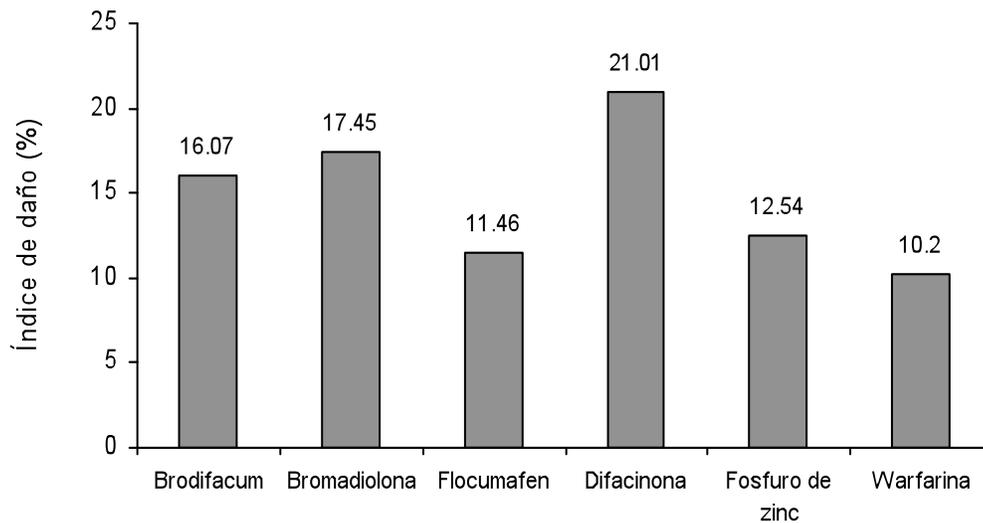


Figura 5.5. Índice de daño encontrado en los seis sitios de muestreo antes de aplicar los rodenticidas.

Índice de residencia (sobrevivencia)

El índice de residencia encontrado en los dos periodos de muestreo (N1 y N2) por el método Jolly-Seber, mostraron que la probabilidad de residencia (sobrevivencia) mínima fue del 0% donde se aplicó la difacinona y el brodifacum; lo que indicó que estos rodenticidas causaron la mayor mortalidad sobre las poblaciones de roedores, en cambio la mayor probabilidad de residencia fue de 7.15% donde se aplicó la warfarina (Cuadro 5.3). Esto significa que la difacinona y el brodifacum son los rodenticidas más efectivos en el control de las poblaciones de roedores, observado por el mayor número de muertes encontrado a través del índice de residencia.

Cuadro 5.3. Índice de residencia obtenida a través del modelo de Jolly-Seber de seis rodenticidas evaluados en campo.

Mes	Día/muestreo	Evaluación/ rodenticida	Población Estimada (N)	Residencia (ϕ_i)
Rodenticida brodifacum				
Mayo	28	1	5	2
	29	2	20	1.1
	30	3	17.33	0
Junio	8	4	0	0
	9	5	0	0
	10	6	0	0
Rodenticida bromadiolona				
Mayo	28	1	5.00	10.4
	29	2	121.33	0.6
	30	3	57.60	0.36
Junio	8	4	52	0.0
	9	5	0	4
	10	6	8	0
Rodenticida flocumafen				
Junio	10	14	7.00	1.71
	11	15	12.00	0.5
	12	16	8.00	0
Junio	21	17	0	0.5
	22	18	2	1.33
	23	19	4	0
Rodenticida difacinona				
Junio	21	25	13.00	2.84
	22	26	49.33	1.2
	23	27	53.71	0
Julio	2	28	0	0
	3	29	0	0
	4	30	0	0
Rodenticida fosfuro de zinc				
Junio	23	27	5.00	0.8
	24	28	8.00	2.0
	25	29	16.67	0
Julio	4	30	0	0
	5	1	0	0.5
	6	2	2	0
Rodenticida warfarina				
Junio	25	29	5.00	3.4
	26	30	42.50	0.5
	27	1	12.00	0.2
Julio	6	2	2	3.5
	7	3	9.33	0.25
	25	4	2.66	3.4

5.4. CONCLUSIONES

La estimación del tamaño poblacional de *Sigmodon hispidus* utilizando el modelo de Jolly-Seber, indicó que los machos son más abundantes que las hembras; las especies encontradas durante el estudio fueron *S. hispidus*, *Peromyscus boylii* y *Orizomys couesi*, siendo *S. hispidus* la más abundante. El índice de daño estimado en tallos frescos antes de haber aplicado los rodenticidas fue del 21.01% y 10.2%, respectivamente. Éste índice estuvo influido por el tamaño poblacional en cada sitio de muestreo. El índice de residencia indicó que los rodenticidas difacinona y brodifacum causaron el 100% de muertes totales, lo que significa que la población se vio afectada por éstos productos. En cambio, cuando se aplicaron los rodenticidas warfarina, bromadiolona, flocumafen y fosfuro de zinc la proporción de individuos que permanecieron en los sitios fue variable, lo que indica que estos rodenticidas no causaron tanto efecto en las poblaciones de roedores.

5.5. BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, D.; Quevedo, J.; Tovar, I.; Flores, A.; Martínez, V. y Espinoza, G. 1985. Estimación de daños y observaciones sobre la rata arrocera (*Holochilus venezuelae*) en caña de azúcar. Caracas Venezuela 3 (02): 63 - 70.
- Bautista, M.N. y Díaz, G.O. 2001. Bases para realizar estudios de efectividad biológica de plaguicidas. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Edo. de México. pp. 51- 61.
- Bergman, K.O. and Landin, J. 2002. Population structure and movements of a threatened butterfly (*Lopinga achine*) in fragmented landscape in Sweden. Biological conservation 108: 361-369.
- Buckle, A.P.; Rowe, F.P. and Abdul, R.H. 1984. Field trial of warfarin and brodifacum wax block baits for the control of the rice field rat, *Rattus argentiventer*. Peninsular Malaysia. Tropical Pest Management 30 (1): 51-58.

- Buckle, A.P. and Smith, R.H. 1994. Rodent Pest and their control. Centre for agriculture and biosciences international. Inglaterra. pp. 132 – 156.
- Cameron, G.N. and Spencer, S.R. 1981. Mammalian species. American Society of Mammalogists. 158: 1-9.
- Cruz, P.F. 1996. Distribución espacial del daño producido por los roedores plaga (Fam. Muridae) en cultivos de caña de azúcar. En las tierras de influencia de Tres Valles, Ver. Tesis Universidad Veracruzana Córdoba, Veracruz. pp. 111.
- Derting, T.L. 1989. Metabolism and food availability as regulators of production in juvenile cotton rat. Department of biology. Radford University. Virginia. USA. Ecology. The Ecological Society of America 70 (3): 587-595.
- Diffendorfer, E.J. and Slade, A.N. 2002. Long-distance movements in cotton rats (*Sigmodon hispidus*) and prairie voles (*Microtus ochrogaster*) in Northeastern Kansas. Journal of Mammalogy 148: 309-319.
- Ehrlich, P.R. 1961. Intrinsic barrier to dispersal in checkerspot butterfly. Science 134: 108-109.
- Estrada, J.; Salazar, R. y Carrillo, E. 1996. Estimación de pérdidas causadas por la rata cañera, en caña de azúcar variedad CP 722086. In: I Simposio Nacional de plagas de la caña de azúcar. CAÑAMIP. Guatemala. pp. 104-111.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Adaptación a las condiciones de la Republica Mexicana. Instituto de geografía. UNAM 4 ed. México. D. F. Pp155-191.
- Goertz, W.J. 1965. Reproductive variation in Cotton Rats. American Midland Naturalist 74: 329-340.

- Greaves, J.H.; Shepherd, D.S. and Gill, J.E. 1982. An Investigation of difenacoum resistance in Norway rat populations in Hampshire. *Annals of Applied Biology*. (100): 581-587.
- Hampson, S.J. 1984. A review of rodent damage to sugarcane what criteria for the use of rodenticides. pp. 227-251, *In: Proceedings of a Conference on: The Organization and Practice of Vertebrate Pest Control*. (A. C. Dubock, ed.) Imperial Chemical Industries PLC, Surrey, England. 662 p.
- Hilje, L. 1992. Daño y combate de los roedores plaga en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 23: 32-38.
- Hilscher-Conklin, C. 1997. *Rattus biologicus*: aggression in rats. *Rat and mouse gazette*. March-april. Sp. (<http://www.rmca.org/Gazette/aggression>). Fecha
- Jolly, G.M. 1965. Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. *Biometrika* 52: 225-247.
- Lefebvre, L.W.; Holler, N.R. and Ingram, C.H. 1976. Studies of rodent damage and rodent population dynamics in Florida sugar cane. *Proceedings of American Society of Sugar cane*. 5 p.
- Lidicker, W.Z.; Wolff, J.O.; Lidicker, L.N. and Smith, M.H. 1992. Utilization of habitat mosaic by cotton rats during a population decline. *Landscape Ecology* 6 (4): 259-268.
- Metcalf, J.R. and Thomas, G. 1966. Preliminary experiment in Jamaica with a method for determining loss of sugar resulting from rat damage to sugar cane.

The West Indies Sugar Cane Proceeding Breeding Station. Technology pp. 276-278.

Pomar, I. 2004. Estudio prehispánico e histórico social del municipio de Acatlan de Pérez Figueroa Oaxaca. CONACULTA. Oaxaca, Mexico. pp. 90-94.

Prakash, I. 1988. Bait shyness and poison aversion. *In*: Prakash, I. (ed) Rodent Pest Management. CRC Press, Boca Raton. pp.321-329.

Ruiz, L.A. 1984. Observaciones ecológicas de *Sigmodon hispidus* en áreas de cultivo de caña de azúcar del Ingenio Toboga S.A. Cañas Guanacaste. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Costa Rica. 90 p.

Ruiz, L.A. 1999. Evaluación de la efectividad biológica de dos dosificaciones de Brodifacoum para el control de la rata cañera (*Sigmodon hispidus*) en cultivos de caña de azúcar. Tesis de Maestría. Conservación y manejo de vida silvestre. Universidad Nacional de Costa Rica. 23 p.

Sánchez, N.F. 1981. Roedores y Lagomorfos. 1 Ed. Colegio de Ingenieros Agrónomos de México, A. C. México. 247 p.

Scott, J.A. 1973. Convergente of population biology and adult behaviour in two sympatric butterflies: *Neominois ridsingii* (Papilionoidea: Nymphalidae) and *Amblycirtes simus* (Hesperoidea: Hesperidae). *Journal of animal Ecology* 42: 663-672.

Seber, G.A. 1973. A note on the multiple recapture census. *Biométrica* 52: 249-259.

Vázquez, L.I. 2005. Factores que intervienen en las fluctuaciones poblacionales de *Sigmodon hispidus* (Rodentia: Cricetidae) en agroecosistemas cañeros,

Veracruz, México. Tesis de doctorado. Colegio de postgraduados. Montecillo, Estado de México. México. 66 p.

Velazco, S.A. y Nava, N.R. 1988. Ratas y ratones domésticos. Métodos y alternativas para su control. LIMUSA. México, D.F. pp. 153-156.

Villa, C.B. and Whisson, D. 1995. Los roedores plaga como un problema en cultivos de caña de azúcar. Ciencia y Desarrollo. CONACYT 21: 62-69.

Villa, C.B.; Wilson, J. y Whisson, D. 1993. Los roedores plaga como un problema en los ecosistemas agrícolas: un enfoque a los cultivos de caña de azúcar. *In*: Simposio Nacional. Xalapa, Veracruz, México. pp. 45-52.

Whisson, D. 1996. The effect of two agricultural techniques on populations of the cane field rat (*Rattus sordidus*) in Sugarcane Crops of North Queensland. Wildlife Research 23: 589–604.

Willson, J.C. 1993. The Management of rodents in North Queensland Canefields. Centre for Biological Populations Management School of Life Science. Queensland University of Technology. Australia. 219 p.

Wilson, B.A. 1994. The distribution of the New Holland mouse *Pseudomys novaehollandiae* (Waterhouse 1843) in the eastern Otways, Victoria. Victorian Naturalist 111: 46–53.

VI. DISCUSIÓN GENERAL

En esta investigación se hicieron estudios sobre pruebas de efectividad biológica, consumo y susceptibilidad a través de la mortalidad de *Sigmodon hispidus* hacia varios rodenticidas. Para ello la investigación se dividió en tres etapas: en la primera etapa se evaluó la mortalidad y el consumo de *S. hispidus* a seis rodenticidas en laboratorio; en la segunda etapa se realizó la prueba de consumo y preferencia en campo para determinar cual producto fue el más consumido; en la tercera etapa se evaluó la efectividad biológica para conocer que rodenticida es más efectivo en el control de *S. hispidus* en caña de azúcar.

Este estudio se realizó siguiendo las normas propuestas por la Agencia de Protección al Medioambiente (EPA, 1982), de Estados Unidos y con base en las normas de la Organización Europea y Mediterránea para la Protección de Plantas (EPPO, 1982), en Europa, evaluación de productos químicos (rodenticidas).

La mortalidad observada en pruebas de laboratorio fue similar al plicar una dosis de 5 g del producto que con una dosis de 30 g, aunque el consumo por dosis fue diferente. Lo que sugiere que no es necesario aplicar grandes cantidades del producto para causar la muerte en los roedores. Meehan (1984) mencionó que el periodo de los síntomas esta directamente relacionado con la dosis empleada, es decir, cuando se administra una dosis efectiva se alcanza el nivel de susceptibilidad en un periodo más corto. Cleighorn y Griffiths (2002) indicaron que no todos los ratones en pruebas de no opción en laboratorio consumen el cebo en el primer día. Sin embargo, todos lo van tomando eventualmente y la dosis de mortalidad es alcanzada en un periodo que va de 4 a 7 d aproximadamente. Además, se ha señalado que la pérdida de la susceptibilidad por parte de los roedores, se observa cuando el mismo producto es utilizado por largos periodos en una región o zona determinada (Desley, 1996; Donald, 1998; Kanakasabair y Saravanan 1999; Kuijpeis *et al.*, 1995).

La proporción de supervivencia indicó que los machos son más susceptibles al producto que las hembras, esto puede tener dos explicaciones: las hembras como procreadoras y conservadoras de la especie muestran mayor recelo al consumo de alimentos nuevos; la segunda, es que los machos recorren un mayor territorio en búsqueda de hembras receptivas al apareamiento, dándoles mayor oportunidad a encontrar un cebo en su camino. Por lo tanto, cuando ocurre una disminución considerable de la población se reduce el número de machos; porque las hembras se encuentran principalmente en áreas aledañas al cultivo con dominancia de gramíneas. Esto implica que los programas de control además de aplicarse en los cultivos, se deben dirigir a las otras áreas de infestación para que sean efectivos, reduciendo la oportunidad de que las poblaciones puedan recuperarse (Vázquez, 2002). Hara *et al.* (1994) encontraron que el estradiol afecta los mecanismos de coagulación, por lo que existen diferencias influenciadas por el sexo, reafirmando que los machos son más susceptibles. Hernández (1994) mencionó que las diferencias del consumo por grupo (machos y hembras) son atribuidas a la diferencia en peso corporal entre los grupos, siendo el grupo de mayor peso (machos) el que muestra mayor consumo. En este estudio el peso no tuvo correlación con la mortalidad, ya que todos los individuos mantenían un peso similar.

La difacinona y el brodifacum fueron los productos que causaron el mayor porcentaje de muertes, por el contrario la warfarina causó la menor mortalidad. El brodifacum es un producto de dosis única, en contraste la difacinona es un producto de dosis múltiple y causó una mortalidad similar, lo que indica que ambos productos son efectivos para el control de las poblaciones de roedores. En adición, el brodifacum, el flocumafen y la bromadiolona son productos de dosis única perteneciente al grupo de segunda generación. En cambio, La warfarina y la difacinona pertenecen a la primera generación (Desley, 1996; Donald, 1998; Humphreys, 1990; Kanakasabair y Saravanan, 1999; Kuijpeis *et al.* 1995).

Por otro lado, desde el punto de vista económico en el control de roedores, el objeto es reducir el daño ya que el número de roedores muertos no es el factor más

importante, sino los que aun quedan vivos y que continúan haciendo daño (Donald, 1998). Atendiendo esta consideración, se debe señalar que la capacidad reproductiva de las ratas es tan alta, que las poblaciones pueden recuperarse rápidamente después de un programa de control poco efectivo. Por lo tanto, es necesario conocer la respuesta de susceptibilidad de *S. hispidus* a los rodenticidas para que una dosis letal sea consumida en la primera exposición.

El presente ensayo es un estudio controlado y como ha sido reportado cuando se trabaja en campo, la semivariabilidad entre especies y entre individuos de la misma especie con susceptibilidades al tóxico empleado, cambian de región a región y aun entre individuos de un mismo lugar (Desley, 1996; Donald, 1998; Kanakasabair y Saravanan, 1999; Kuijpeis *et al.*, 1995).

Al suministrar fosfuro de zinc (rodenticida agudo) el periodo de los síntomas que ocasionaron la muerte en los roedores apareció en las primeras 24 h. En contraste, cuando se suministró warfarina, flocumafen, difacinona, bromadiolona y brodifacum (rodenticidas anticoagulantes) el periodo de los síntomas apareció de las 48 a 72 h y en algunos se prolongó hasta las 192 a 240 h (8 a 10 días). Prakash (1988) mencionó que los rodenticidas agudos (fosfuro de zinc) actúan en el sistema nervioso de los roedores y causan la muerte al instante; por tal motivo, las muertes ocurrieron más rápido que con los anticoagulantes. Meehan (1984) observó que los síntomas aparecen después de varios minutos a 12 horas y dependen del compuesto y que el tiempo de muerte está relacionado con la dosis suministrada. En contraste, MacNicoll (1986) indicó que cuando se suministran rodenticidas anticoagulantes las manifestaciones tóxicas se muestran algunos días después de la ingesta y la muerte del individuo es causada por hemorragias internas, porque se requiere tiempo para la desaparición de los factores coaguladores de la sangre, lo que origina que el proceso de muerte se retrase. Este mismo autor menciona que se requiere que los roedores tengan acceso libre al producto para que puedan alcanzar la dosis letal y en consecuencia provocarles la muerte. En adición a esto, el rechazo

al cebo alargó el periodo de aceptación en el consumo de cada rodenticida empleado por lo tanto las muertes ocurrieron en periodos diferentes

Las observaciones postmortem de envenenamiento en roedores al suministrar rodenticidas anticoagulantes, indicaron que éstos murieron por hemorragias internas. Sin embargo, al suministrar rodenticidas agudos estos afectaron el sistema nervioso ocasionando paros cardiacos y muertes súbitas. Estudios realizados por Garner (1979), Buck *et al.* (1975) y Klaassen (1996) mostraron que la sintomatología de envenenamiento por los rodenticidas de tipo cumarinas o indadionas reflejan manifestaciones hemorrágicas. En casos subagudos, los animales están anémicos y débiles y constituyen síntomas como mucosa pálida, disnea, hematemesis, epistaxis y heces sanguinolentas, además la frecuencia cardiaca es irregular y los latidos débiles, pueden aparecer hematomas subcutáneos e intramusculares, especialmente en zonas traumatizadas y blandas. Por otro lado, Drolet *et al.* (1996); Guale *et al.* (1994) mencionaron que los signos cuando se suministran rodenticidas agudos incluyen anorexia, ictericia, letárgia y émesis, esto puede ser seguido de disnea, disturbios gastrointestinales, sudoración y signos nerviosos, incluyendo hipercinesia, temores, rigidez muscular, ataxia, convulsiones y coma, en algunos casos muerte súbita.

La prueba de consumo en campo coincidió con la época de lluvias, encontrando variaciones de la población en cada sitio de muestreo. El tamaño poblacional de *Sigmodon hispidus* disminuyó en el segundo y tercer sitio de muestreo con respecto al primero, coincidiendo este periodo con los meses de mayor humedad. Las variaciones en los tamaños poblacionales obtenidas mediante el modelo de Jolly-Seber, mostraron que la oferta y la demanda de los recursos varió en cuanto a la estación seca (noviembre a mayo) y lluvia (junio a octubre) en el sistema cañero. Ocasionando que las poblaciones cambiaran sus valores de (N). Esto posiblemente se deba a que el primer periodo de muestreo se realizó a finales de junio, cuando la estación de lluvia estaba iniciando, mientras que los dos últimos periodos de muestreo se realizaron en julio, cuando la época de lluvias ya estaba

establecida, lo que pudo haber ocasionado la disminución del número de roedores (Cameron y Spencer, 1981; Leopold y Krausman 1986; Derting, 1989; Lidicker *et al.* 1992). En adición, Cameron y Kincaid (1985) mencionan que existen factores ambientales importantes que influyen en las poblaciones de roedores plaga, como por ejemplo, la disponibilidad de recursos alimenticios, encontrando índices poblacionales altos dentro del cultivo en época de sequía, mientras que en la época de lluvia estos picos disminuyen.

El consumo de los rodenticidas en campo fue similar aunque los tamaños poblacionales en cada sitio de muestreo fueron diferentes. Esto sucedió por que en nuestro estudio se hizo una sola aplicación del producto, lo que ocasionó que los roedores ya no siguieran consumiendo el mismo producto porque no se encontraba disponible.

Durante el periodo de muestreo la población de roedores estaban conformada por individuos subadultos y adultos, encontrando que la proporción de machos fue mayor al de hembras; lo que indicó que la población fue representativa en el consumo de los productos. Con respecto, al menor número de hembras Cameron y Kincaid (1985) y Lidicker *et al.*, (1992) mencionaron que las hembras de *S. hispidus* son más específicas de los hábitat de pastizales y matorrales con cobertura dominante de gramíneas y que los machos muestran preferencia por el cultivo de caña de azúcar. En adición, Derting (1989). Mencionó que la clase subadulta esta relacionada con la mayor disponibilidad de recursos en el hábitat y en donde de manera directa es la responsable de la reproducción en las próximas generaciones.

De acuerdo a los resultados los rodenticidas se pueden dividir en dos grupos, los de mayor preferencia: flocumafen, difacinona y brodifacum y los de menor preferencia: bromadiolona, warfarina y fosfuro de zinc. Esto fue tanto en laboratorio como en campo, lo que comprueba que no todos los rodenticidas fueron aceptados por los roedores. Es probable que la aceptación de los productos se deba a su composición, la forma de elaboración y a sus características físicas. En el caso de

los productos menos consumidos como la warfarina y el fosforo de zinc fueron de elaboración casera, preparados en bolsas de glicina lo que pudo haber ocasionado que los roedores no los prefirieran, a pesar de que el papel presentaba roeduras. En el caso de la bromadiolona, como es un producto altamente parafinado fue afectado por el calor del sol lo que ocasionó que se derritiera, disminuyendo así su consumo. En contraste, los productos mayormente consumidos, en este caso, flocumafen, difacinona y brodifacum, son productos elaborados con menos parafina y con mayor contenido de cereales enteros, favoreciendo el mayor consumo por los roedores. Por otra parte, los roedores cuando buscan comida y encuentran cebos o pellets a su paso, en ocasiones consumen una pequeña parte del producto, otras veces lo transportan a su refugio o madriguera para consumirlo después (Priotto *et al.*, 2002). Así mismo, los roedores tienden a seleccionar una dieta balanceada cuando se les da a elegir entre un amplio rango de alimentos diferentes. De esta manera, los roedores tienen habilidad para reconocer formas simples, discernir cambios en muy escasa luz y distinguir objetos de diferente tamaño. MacDonald (1999) y O'connor *et al.* (2002) mencionaron que un factor muy importante es que el cebo sea palatable a las especies de roedores, para que una dosis letal sea consumida en la primera exposición.

Aunque muchos estudios se han realizado acerca de la preferencia de los alimentos aceptados por los roedores, muy pocas investigaciones se han dirigido a evaluar la preferencia de los diferentes rodenticidas comerciales. La preferencia es probablemente una combinación de la vista, del olfato y de los receptores del gusto, en donde los rodenticidas tienen que competir con el alimento de las especies en su hábitat natural (Reidinger y Mason, 1983).

Los factores ambientales incidieron de forma diferente en los rodenticidas, se pudo observar que los productos que tenían una presentación extremadamente parafinada (brodifacum y bromadiolona) soportaron las condiciones de humedad, en cambio no soportaron las altas temperaturas ya que en ocasiones llegaron a derretirse. Los productos que tenían una presentación parafinada o ligeramente

parafinada (flocumafen y difacinona) dieron resultados opuestos a los extremadamente parafinados. La humedad afectó la composición de los cebos preparados manualmente (fosfuro de zinc y warfarina), en algunos casos el aceite contenido en éstos ocasionó que se enranciaran y perdieran atracción hacia los roedores. Prakash (1988) encontró que los insectos atacan los cebos que contienen cereal dejando agujeros en ellos, propiciando la fácil ruptura del producto y la pérdida del mismo por desmoronamiento, lo que ocasiona que los roedores pierdan el gusto hacia estos productos. Los resultados de los efectos del ambiente (humedad, derretido, agrietado, enranciado, y presencia de hormigas) sobre los rodenticidas muestran que su composición física es un factor muy importante para que un producto sea consumido; además, se requiere que éstos sean consumidos en la primera exposición y en el menor tiempo posible. Si los factores ambientales llegan a afectar la composición física de los mismos pierden su atracción de consumo por los roedores; por lo tanto, es necesario conocer no solo la efectividad de los productos sino su composición para que de acuerdo a la época de aplicación (lluvia o sequía), elegir los rodenticidas adecuados y éstos puedan controlar las poblaciones de roedores.

En la prueba de efectividad biológica en campo, se observó que los tamaños de la población en los seis sitios fue similar durante el primer periodo de muestreo, no obstante, al estimar la población al sexto día después de haber aplicado un producto por sitio, se observó que la población disminuyó, esto fue en respuesta a la toxicidad y al tipo de producto suministrado, indicando que los rodenticidas causaron efecto sobre las poblaciones de roedores.

Durante el periodo de muestreo se encontraron tres especies de roedores interactuando en el cultivo caña de azúcar, *Sigmodon hispidus*, *Orizomys couesi* y *Peromyscus boylii*. El tamaño poblacional de éstas dos últimas no fue significativo ya que *S. hispidus* fue la más abundante, esto se debe a que es una especie dominante, a pesar de que los hábitos alimenticios de las tres especies no son diferentes. *S. hispidus* defiende su hábitat por la ocupación del espacio y los

recursos alimenticios que el entorno le ofrece. Esto concuerda con lo reportado por Cameron y Spencer (1981) quienes mencionaron que *S. hispidus* compete con las especies de roedores presentes en su hábitat por la ocupación del espacio y los recursos alimenticios, determinando así los picos poblacionales, en aumentos y disminuciones de las otras especies, es decir, *S. hispidus* es más agresiva y defiende su territorio cuando es invadido (Cameron y Kincaid, 1985; Brades, 1956).

El mayor índice de daño estimado fue del 21.01% y el menor de 10.2%. Esto indicó que se necesitaba la aplicación de un producto para que la población de roedores ya no causara más daño. Sánchez (1981) indicó que cuando se obtiene más del 8% de daño en tallos frescos dentro del cultivo se sugiere la aplicación del control químico. Por otro lado, Derting (1989) mencionó que el daño y la calidad del refugio está relacionada con el número de roedores presentes en el cultivo. En nuestro estudio se encontró una relación positiva entre el daño en tallos frescos y el número de roedores presentes en el cultivo, ya que a mayor número de roedores, mayor fue el daño ocasionado. Sin embargo no siempre es así, ya que un número mínimo de roedores también puede ocasionar un daño alto o lo contrario no presentar daño evidente. Diffendorfer y Slade (2002) mencionaron que el número de roedores y el daño presente en el cultivo también está relacionado con la disponibilidad de recursos adicionales que el medio le ofrece.

La evaluación en campo demuestra que los rodenticidas evaluados fueron aceptados por los roedores, esto empezó a ocurrir al tercer día. Se ha observado que cuando se evalúan rodenticidas en campo, el tiempo estimado para que un cebo sea aceptado por el roedor es entre uno y cuatro días (Kanakasabair y Saravanan, 1999). Cabanac y Johnson (1983) y Jackson (1972).

El índice de residencia (supervivencia) indicó que la difacinona y el brodifacum fueron los que causaron la mayor mortalidad sobre las poblaciones de roedores. Eason (1991) e Innes (1995) realizaron estudios sobre preferencia de cebos y

mencionan que se requiere que un cebo sea efectivo a las especies de roedores para que una dosis letal sea consumida en la primera exposición.

VII. CONCLUSIONES GENERALES

Los rodenticidas difacinona y brodifacum fueron mayormente preferidos por *Sigmodon hispidus* y además fueron los que presentaron una mayor efectividad en el control de la población de este roedor, tanto en laboratorio como en campo. Una dosis de 5 g es suficiente para causar la muerte en los roedores por la alta susceptibilidad que presentan. Los primeros síntomas de muerte se observaron a las 24 h con rodenticidas agudos y de las 48 a 72 h con rodenticidas anticoagulantes. Las hembras son menos susceptibles a los rodenticidas que los machos. Los programas de control deben considerar su aplicación en las áreas de pastizales aledaños al cultivo, porque en la época de lluvias también ahí se encuentran los roedores.

El brodifacum fue el que presentó el menor número de incidencia de los factores ambientales, por sus características de composición. Uno de los factores que aseguran el éxito de los programas de manejo integrado de roedores plaga, es la selección de los rodenticidas que correspondan adecuadamente a las condiciones ambientales y a la facilidad de uso para cada problema y región en particular. Por otro lado, es imprescindible que todas las acciones implicadas en este tipo de programas estén encaminadas a la protección del medio ambiente. Es importante también conservar los principios fundamentales de un control químico basado en la utilización de moléculas rodenticidas eficientes, menos tóxicas, ambientalmente aceptables y legalmente permitidas, a fin de evitar el uso indiscriminado de químicos y los daños que conlleva su mal manejo.

VIII. RECOMENDACIONES

Los resultados de efectividad de rodenticidas sobre poblaciones de roedores, sugieren la realización de pruebas de laboratorio y de campo, para conocer que productos son más efectivos en el control de roedores y poder recomendar solo aquellos que causen disminución de sus poblaciones.

En estudios de efectividad biológica en campo es recomendable realizar muestreos de las poblaciones por periodos de tiempo más largos. Se recomienda realizar el mayor número posible de repeticiones en cada tratamiento, a fin de obtener una muestra de datos más representativa en cada muestreo y por ende más confiabilidad en los resultados.

Con base en los resultados de nuestra investigación se sugiere utilizar rodenticidas elaborados a base de cereal ya que éstos fueron los preferidos por los roedores.

En cuanto a la aplicación de rodenticidas en campo, es recomendable conocer el tipo de rodenticida a utilizar y la época de aplicación (lluvia, sequía), ya que éstos responden de manera diferente a las condiciones ambientales del lugar. En adición, cuando éstos son afectados por dichos factores pierden atracción hacia los roedores y por ende, rechazo al cebo. También es recomendable estimar los daños potenciales, los cuales deberán formar parte de la estrategia global del control de roedores. Las predicciones sobre el tiempo, sitios críticos de infestación e intensidad de las irrupciones poblacionales de los roedores son esenciales para la selección de los métodos de control más apropiados.

La aplicación de rodenticidas para el control de *S. hispidus* se debe orientar en áreas de mayor infestación o hábitat predominantes con malezas cercanas a las plantaciones de caña, ya que es ahí donde se encuentra la mayoría de hembras encargadas de los procesos reproductivos. Por lo tanto, es necesario reducir el

número de roedores en estas áreas, para que los roedores no emigren a los cultivos cercanos y causen pérdidas económicas.

Cuando el destino final de los roedores sea la muerte por causa de rodenticidas, la eliminación final de éstos se realizará mediante dos prácticas: 1) excavación de pozos con una profundidad mínima de 0.5 a 1m, para enterrar los roedores muertos; y 2) incineración. Esto, con la finalidad de evitar que otras especies de animales consuman estos roedores y como consecuencia mueran también.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Brades, E.W. 1956. Origin, dispersal and use in breeding of the Melanesian garden sugarcanes and their derivatives, *Saccharum officinarum* L. Proceeding. 9th Congress International Sugar cane Technol. 1: 709-750.
- Buck, W. Osweiler, G. and Van Gelder, G.A. 1975. Toxicología Veterinaria, Clínica y Diagnóstica, 2da. Edición. Zaragoza, España. 309 p
- Cabanac, M.; Johnson, K.G. 1983: Analysis of a conflict between palatability and cold exposure in rats. *Physiology and Behavior* 31: 249-253.
- Cameron, G.N. and Kincaid, W.B. 1985. Interactions of cotton rat with a patchy environment; dietary responses and habitat selection. *Ecology* 66: 1769-1783.
- Cameron, G.N. and Spencer, S.R. 1981. Mammalian species *American Society of Mammalogists*. 158: 1-9.
- Cleighorn, D. and Griffiths, R. 2002. Palatability and efficacy of pest off 20R bait on mice from Mokoia Island, Rotorua. DOC. Science internal series 25. Department of Conservation, Wellington. 15 p.
- Derting, T.L. 1989. Metabolism and food availability as regulators of production in juvenile cotton rat. *Ecological Society of America* 70 (3): 587-595.
- Desley, W. 1996. Rodenticides for control of Norway Rats, roof rats and house mice. *Poultry Fact Sheet* 34 (23):154-158.
- Diffendorfer, E.J. and Slade, A.N. 2002. Long-distance movements in cotton rats (*Sigmodon hispidus*) and prairie voles (*Microtus ochrogaster*) in Northeastern Kansas. *Journal of Mammalogy* 148: 309-319

- Donald, J.E. 1998. Roedores como plagas de productos almacenados; control y manejo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe y Red de Información sobre operaciones poscosecha. Lima, Perú. 42 p.
- Drolet, R.; Laverty, S.; Braselton, W.E. and Lord, N. 1996. Zinc phosphide poisoning in a horse. *Veterinary clinics of North America. Equine practice.* 28: 161-162.
- Eason, C.T. 1991. An evaluation of different rodenticides for use on Lord Howe Island. Landcare Research Contract Report LC9596/102 (unpublished).
- EPA. 1982. Guideline for field testing rodenticides. United States Environmental Protection Agency. Washington, USA. 23 p.
- EPPO. 1982. Guideline for biological evaluation of rodenticidas. Laboratory test for the evaluation of the toxicity and acceptability of rodenticides and rodenticide preparation. *EPPO Bulletin.* 1: 132 p.
- Garner R.J. 1979. *Toxicología veterinaria.* Editorial Acribia. Madrid, España 3: 268-276.
- Garrison, H.V. and Berdenstein, C.P. 1970. Digestion of sugarcane by the Polynesian rat. *Journal of Wildlife Management* 34 (3): 520-522.
- Guale, F.G.; Stair, E.L.; Jonson, B.W.; Edwards, W.C. and Haliburton, J.C. 1994. Laboratory diagnosis of zinc phosphide poisoning. *Veterinary and Human Toxicology* 36: 517-518.

- Hara, K.; Akiyama, Y. and Tajima T. 1994. Sex Differences in the anticoagulant effects of warfarin. *Japon. Journal the Pharmacology* 66 (3): 387-392.
- Hernández, V.T. 1994. Comparación de la palatabilidad de dos rodenticidas comerciales de bromadiolona en campo y laboratorio. Tesis U.N.A.M. Facultad de medicina veterinaria zootecnia. México D.F. 87 p.
- Humphreys, D. 1990. *Toxicología Veterinaria*. Editorial Interamericana de España. Tercera Edición. Madrid, España. 178 p.
- Innes, J. 1995. Evaluation of the Norfolk Island rat control program. Landcare Research Contract Report LC9495/128 (unpublished). Prepared for the Australian Nature Conservation Agency.
- Jackson, W.B. 1972. Biological and behavioural studies of rodents as a basis for control. *Bulletin of the World Health Organization* 47: 281-286.
- Kanakasabair, R. and Saravanan, K. 1999. Field evaluation of anticoagulant rodenticides, bromadiolone and difethialone in sugarcane fields of Couvery delta. *Indian Journal of Experimental Biology* 37: 56-60.
- Klaassen, C. 1996. *Toxicología. The Basic Science of Poison International*. Editorial the McGraw Hill. U.S.A. 5:680-682.
- Kuijpeis, E.A.; Den Hartingh, J.; Savekoul, T.J. and De Wolf, F.A. 1995. A method for the simultaneous identification and quantitation of five superwarfarin rodenticides in human serum. *Journal of Analytical Toxicology* 19 (7): 557-562.
- Leopold, B.D. and Krausman, P.R. 1986. Diets of 3 predators in Big Bend national Park, Texas. *Journal Wildlife Management* 50: 290-295.
- Lidicker, W.Z.; Wolff, J.O.; Lidicker, L.N. and Smith, M.H. 1992. Utilization of habitat mosaic by cotton rats during a population decline. *Landscape Ecology* 6 (4): 259-268.

- Macdonald, D.W.; Mathews, F. and Berdoy, M. 1999. The behaviour and ecology of *Rattus norvegicus*: from opportunism to kamikaze tendencies. *In*: Singleton, G.R.; Hinds, L.A.; Leirs, H. and Zhang, Z. (Eds), Ecologically-based Rodent Management. Monograph No 59, Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra. pp. 49–80.
- MacNicoll, A.D. 1986. Resistance to 4-hydroxycoumarin anticoagulants in rodents. *In*: National Research Council. Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management. Washington, D.C. pp. 87-99.
- Meehan, A.P. 1984. Rats and Mice, their Biology and Control. Rentokil Ltd. East Grinstead, U.K. 383 p.
- O'Connor, C.E.; Eason, C.T. and Endepols, S. 2002. Evaluation of secondary poisoning hazards to ferrets and weka from the rodenticide coumatetralyl. *Wildlife Research*. pp 457- 460.
- Prakash, I. 1988. Bait shyness and poison aversion. pp. 321-329 *In*: Prakash, I. (Ed). Rodent pest management. CRC Press, Florida, USA. 480 p.
- Priotto, J.W. Steinmann, A. And Polop, J. 2002. Factors affecting home range size and overlap in *Calomys venustus* (Muridae: Sigmodontinae) in Argentine agroecosystems. *Mammalian Biology (Z. Säugetierkunde)* 67: 97-104.
- Reidinger, R.F. and Mason, J.R. 1983. Exploitable characteristics of neophobia and food aversions for improvements in rodent and bird control. *In* Kaukeinen, D.E. (Ed.): Vertebrate pest control and management materials: 4th vol., ASTM 974. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. pp. 20-39.

Sánchez, N.F. 1981. Roedores y Lagomorfos. 1 Ed. Colegio de Ingenieros Agrónomos de México, A. C. México. 247 p.

Vázquez, L.I. 2002. Evaluación de la eficiencia biológica de rodenticidas en campo y laboratorio. Cap. 6 del libro: Bases para realizar estudios de efectividad biológica de plaguicidas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. pp. 36 -45.