

01673



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

División de Estudios de Posgrado e Investigación  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

VARIACION GENETICA EN LA RESISTENCIA DE LAS  
ABEJAS *Apis mellifera* L. AL PARASITO *Varroa jacobsoni*  
Oud. E IMPACTO RELATIVO DE LOS MECANISMOS  
QUE LES CONFIEREN ESTA RESISTENCIA

## TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN PRODUCCION ANIMAL: GENETICA  
PRESENTADA POR:  
ING. MIGUEL ENRIQUE ARECHAULETA VELASCO

DIRECTOR:

DR. ERNESTO GUZMAN NOVOA

CODIRECTOR:

DR. CARLOS SOSA FERREYRA



MEXICO, D.F.

1998

263777

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

El autor da consentimiento a la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México para que la tesis esté disponible para cualquier tipo de reproducción e intercambio bibliotecario.

---

ING. MIGUEL ENRIQUE ARECHAVALETA VELASCO.

**A MIS PADRES, QUE ME HAN DADO EL APOYO Y LA LIBERTAD PARA  
SEGUIR EL CAMINO QUE HE ESCOGIDO.**

**A FABIAN, MI HERMANO, POR DARLE SIGNIFICADO A LA PALABRA  
AMISTAD.**

**A CARMEN, POR TODO LO QUE NOS UNE, PERO SOBRE TODO POR LO QUE  
NOS ESPERA EN EL FUTURO.**

**A MIS PROFESORES Y AMIGOS.**

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ernesto Guzmán Novoa, por compartir sus conocimientos, por su tiempo, por la paciencia para enseñarme, por las oportunidades que me ha brindado, pero sobre todo por su amistad.

Al Dr. Carlos Sosa Ferreyra, por su tiempo y asesorías indispensables para la culminación de este trabajo.

Al Dr. Pedro Ochoa Galvan, por las oportunidades, por su apoyo y por sus siempre acertados comentarios.

A la MC. Adriana Ducoing W. por su asesoría en el manejo de los análisis estadísticos.

A la MVZ. Carmen Camacho Rea por su invaluable ayuda, sus comentarios y su comprensión en los momentos más difíciles.

Al Sr. Ruben Mendoza y al Biol. Enrique Coronado G. por la ayuda en el manejo de las colonias de abejas.

Al MVZ. Antonio Zozaya Rubio por el apoyo brindado para el desarrollo de este trabajo.

A la PMVZ. Gabriela Ortiz M. y al PMVZ. Modesto Bautista, por la ayuda brindada para el análisis de las muestras.

El presente trabajo fue financiado parcialmente por la beca otorgada por el Programa de Apoyo a la Investigación, de la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## RESUMEN

Este estudio se realizó con el objetivo de determinar la existencia de variación fenotípica y genética en la resistencia de las colonias de abejas *Apis mellifera* L. al crecimiento poblacional del parásito *Varroa jacobsoni* Oud., así como para establecer la contribución relativa de cuatro mecanismos que confieren resistencia a las abejas contra el ácaro en la variación observada. Los mecanismos estudiados fueron el acicalamiento entre abejas adultas, su comportamiento higiénico, atracción de la cría de abejas a *Varroa* y efecto de la cría sobre la capacidad reproductiva del ácaro. Además se analizó el impacto de la infestación del parásito sobre la producción de miel de las colonias. Para el desarrollo del trabajo se establecieron 58 colonias de abejas en un mismo apiario, a las cuales se les introdujo una reina joven. Las reinas se obtuvieron de siete líneas diferentes con el objeto de generar una población de abejas con alta variabilidad genética. Cada colonia fue infestada con 25 ácaros adultos y a partir del segundo mes después de la infestación se midió el nivel de infestación en las abejas adultas y en la cría, mensualmente y por un periodo de seis meses. Al finalizar este periodo y con el objeto de determinar el impacto relativo de los mecanismos de resistencia, se seleccionaron 16 colonias de abejas, las ocho con menor y las ocho con mayor nivel de infestación.

Se observaron diferencias significativas entre colonias en los niveles de infestación a nivel de las abejas adultas (6.55% a 44.70%), pero no a nivel de la cría. Se estimaron los componentes de la varianza fenotípica en términos de varianza genética y medio ambiental para la característica resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa*, calculándose una heredabilidad en el sentido amplio de 0.36. De los mecanismos de resistencia estudiados, el acicalamiento entre abejas adultas, fue el que tuvo el mayor impacto en la resistencia ( $t= 2.41$ ,  $P= 0.03$ ;  $r= -0.65$ ,  $P< 0.01$ ;  $r= -0.76$   $P< 0.01$ ; correlaciones entre ácaros eliminados y ácaros lesionados con el nivel de infestación final de la colonia); así mismo los resultados sugieren que el comportamiento higiénico tuvo una contribución relativa menor, ( $F=10.71$ ,  $P< 0.01$ ), mientras que mecanismos como la atracción de la cría a *Varroa* y el efecto que esta tiene sobre la capacidad reproductiva del ácaro aparentemente no tuvieron un impacto importante en la resistencia de las colonias de

abejas al crecimiento poblacional del ácaro. Finalmente los resultados muestran que la producción de miel de las colonias infestadas fue significativamente menor a la de colonias tratadas con un acaricida bajo las mismas condiciones medio ambientales.

Se concluye que existe variación en la resistencia de las abejas al crecimiento poblacional de *Varroa*, que el acicalamiento entre abejas adultas puede ser un mecanismo importante en la resistencia, y que esta variación tiene componentes genéticos, por lo que el desarrollo de abejas tolerantes al ácaro parece factible. Se sugiere que las colonias de abejas infestadas con *Varroa*, sean tratadas con acaricidas en tanto se desarrollan abejas genéticamente resistentes a *Varroa jacobsoni* Oud.

***Apis mellifera* L. / *Varroa jacobsoni* Oud. / Resistencia Genética / Mecanismos de Resistencia.**

## SUMMARY

This study was conducted to determine the existence of phenotypic and genotypic variation in the resistance of honey bee colonies (*Apis mellifera* L.) to the population growth of the mite *Varroa jacobsoni* Oud., to assess the relative impact of four mechanisms that confer resistance to the honey bees against the mite. The mechanisms studied were grooming behavior, hygienic behavior, brood attractiveness, and host-induced non-reproduction, and to establish the effect of *Varroa* on the production of honey in infested colonies. Fifty eight colonies were established in a single apiary. The queens heading the colonies were obtained from seven different breeders in order to generate populations with a high genetic variability. Each colony was infested with 25 adult mites, and the levels of infestation in both, adult bees and brood, were determined once a month during five occasions. At the end of this period and with the objective of studying the mechanisms of *Varroa* resistance, 16 colonies were selected, the eight having the highest *Varroa* infestation levels, and the eight having the lowest.

The *Varroa* infestation levels in adult bees varied significantly between colonies (range: 6.55 to 44.70 %), but no differences were found in the brood infestation levels. The resistance of colonies to the mite's population growth was decomposed in genotypic and environmental variance and the broad-sense heritability for this characteristic was estimated to be 0.36. Of the mechanisms studied, grooming behavior explained most of the variation found among colonies ( $r = -0.65$ ;  $r = 0.76$ ; correlations between number of mites collected in hive-trays and injured mites with the *Varroa* population growth, respectively). Hygienic behavior had a relative minor contribution, since colonies varied significantly for this mechanism, but no significant regression or correlations were obtained between infestation levels and pupa removed by bees. Mechanisms such as brood attractiveness and mite non-reproduction apparently did not have a significant effect on the resistance of honey bee colonies to the *Varroa* population growth. Results also showed that the honey production of infested colonies was significantly lower than that of miticide-treated colonies.

It is concluded that there is variation for the resistance of honey bee colonies to the *Varroa* population growth, and that grooming behavior may be an important mechanism



conferring resistance. Moreover, the resistance of honey bee colonies to *Varroa*, is at least partially affected by genetic effects, which suggests that the development of honey bees tolerant to the *Varroa* mite is feasible. Additionally, results suggest that colonies infested with *Varroa*, be treated with miticides meanwhile *Varroa*-resistant bees are developed.

***Apis mellifera* L. / *Varroa jacobsoni* Oud. / Genetic resistance/ Resistance mechanisms**

## INDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS E HIPOTESIS	8
MATERIALES Y METODOS	9
Establecimiento de Colonias Experimentales	9
Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de <i>Varroa jacobsoni</i> Oud.	10
Impacto Relativo de los Mecanismos de Resistencia sobre la Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de <i>Varroa jacobsoni</i> Oud.	14
Efecto de la Infestación de <i>Varroa jacobsoni</i> Oud. sobre la Producción de Miel de Colonias de Abejas <i>Apis mellifera</i> L.	17
RESULTADOS	18
Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de <i>Varroa jacobsoni</i> Oud.	18
Impacto Relativo de los Mecanismos de Resistencia sobre la Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de <i>Varroa jacobsoni</i> Oud.	19
Efecto de la Infestación de <i>Varroa jacobsoni</i> Oud. sobre la Producción de Miel de Colonias de Abejas <i>Apis mellifera</i> L.	21
DISCUSION	22
CONCLUSIONES	27
LITERATURA CITADA	28
CUADROS Y FIGURAS	35

## LISTA DE CUADROS

**Cuadro No. 1.** Componentes de la varianza entre colonias para la característica resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. calculados por el método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML).

**Cuadro No. 2.** Componentes de la varianza fenotípica entre colonias para la característica resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. calculados por el método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML).

**Cuadro No. 3.** Impacto relativo de los mecanismos de resistencia, medidos a través de pruebas t-Student entre las medias de los grupos de colonias seleccionados de alta y baja infestación

**Cuadro No. 4.** Coeficientes de correlación y de determinación entre el nivel de infestación final de las colonias seleccionadas y el total de *Varroas* recuperadas y lesionadas en las pruebas de acicalamiento en las colmenas y en la incubadora.

## LISTA DE FIGURAS.

**Figura 1.** Esquema del recipiente utilizado para la obtención de *Varroas*.

**Figura 2.** Porcentaje promedio ( $\pm$  D.E.) de infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. en abejas adultas durante cinco meses de muestreo.

**Figura 3.** Porcentaje promedio de infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. en abejas adultas de colonias pertenecientes a siete diferentes orígenes genéticos al cabo de seis meses de infestación.

**Figura 4.** Porcentaje promedio ( $\pm$  D.E.) de infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. en la cría durante cinco meses de muestreo.

**Figura 5.** Porcentaje promedio ( $\pm$  D.E.) de infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. en abejas adultas de colonias seleccionadas como de baja y alta infestación.

**Figura 6.** Número promedio ( $\pm$  D.E.) de ácaros de *Varroa jacobsoni* Oud. recolectados en charolas por semana y por colonia, para los grupos de alta y baja infestación en las pruebas de acicalamiento en las colonias.

**Figura 7.** Regresión entre el número de *Varroas* recuperadas en las pruebas de acicalamiento en las colmenas y el nivel de infestación final de las colonias seleccionadas.

**Figura 8.** Regresión entre el número de *Varroas* lesionadas en una muestra de 120 ácaros en las pruebas de acicalamiento en las colmenas y el nivel de infestación final de las colonias seleccionadas.

**Figura 9.** Regresión entre el número de *Varroas* recuperadas en las pruebas de acicalamiento en la incubadora y el nivel de infestación final de las colonias seleccionadas.

**Figura 10.** Producción promedio (Kg  $\pm$  D.E.) de miel producidos por las colonias infestadas y por las colonias tratadas.

## INTRODUCCION

La varroasis es el problema más serio al que se enfrenta la actividad apícola a nivel mundial. En México la varroasis y la africanización de las colonias de abejas constituyen las dos limitantes más importantes para el desarrollo de la apicultura (Guzman-Novoa y Page 1994; Cajero 1995).

La varroasis de las abejas melíferas *Apis mellifera* L. es una parasitosis externa causada por el ácaro *Varroa jacobsoni* Oudemans. El primer informe que se tuvo del ácaro procedió de Indonesia, en el año de 1904. El ácaro se encontró parasitando a su huésped original, la abeja asiática *Apis cerana* (Jong De 1990). Debido a la introducción de *Apis mellifera* L. en el continente asiático y con el consecuente contacto entre las dos especies de abejas, en el año de 1960 se reportó la presencia de *Varroa jacobsoni* Oud. parasitando a *Apis mellifera* L. (Jong De 1990).

Hasta el año de 1971 no existían evidencias de que *Varroa jacobsoni* O. infestara abejas fuera de Asia, pero debido a la movilización de abejas hacia otros continentes, la varroasis se extendió por Europa, Africa y Sudamérica (Jong De *et al.* 1982b). En 1987 *Varroa jacobsoni* O. fue identificado en los Estados Unidos (Anónimo 1987) y en 1992 se reportó en México, en el estado de Veracruz (Chihu *et al.* 1992). En la actualidad *Varroa* se encuentra distribuido en todos los estados del país con excepción de Baja California Sur.<sup>1</sup>

Las hembras adultas de *Varroa jacobsoni* presentan una cubierta dura de color café rojizo, de forma ovalada, que tiene aproximadamente 1 mm de largo por 1.6 mm de ancho. El ácaro parasita tanto a la cría como a las abejas adultas. En las abejas adultas se localiza principalmente entre los esternitos del abdomen, en donde se encuentra protegido y alcanza con facilidad las membranas intersegmentarias, a través de las cuales introduce su chelicerae (aparato bucal) para alimentarse de la hemolinfa de las abejas (Jong De 1990).

El ácaro se separa de la abeja adulta únicamente para introducirse en una celda que contenga una larva a punto de ser operculada (cerrada), en donde inicia su ciclo

---

<sup>1</sup> Cajero, S., Director del Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana, SAGAR, com. pers.

reproductivo. Una vez dentro de la celda, el ácaro se coloca en el fondo de esta, sumergiéndose en el alimento larvario y permaneciendo inmóvil hasta que la celda es operculada. Mientras la larva se alimenta, el ácaro se sujeta a la parte anterior de ésta, introduciéndole su chelicerae para alimentarse de hemolinfa (Jong De 1990; Boot *et al.* 1994).

El ácaro hembra oviposita el primer huevo aproximadamente 60 h después de que la celda es operculada. A partir de ese momento pone un huevo cada 30 h ( Jong De 1990; Martin 1994). El desarrollo de las hembras del ácaro tiene una duración de siete y medio a ocho días, mientras que el de los machos dura de cinco y medio a seis días (Infantidis 1984; Camazine 1988). El ácaro macho es mas pequeño que la hembra y su aparato bucal se encuentra modificado para la transferencia de semen, por lo que no puede alimentarse. Los apareamientos se llevan a cabo dentro de la celda operculada, de manera que cuando la abeja adulta emerge, lleva adheridas al cuerpo únicamente a las hembras fecundadas del ácaro. Los machos y el resto de las hembras que no alcanzan la madurez en este periodo, mueren dentro de la celda (Infantidis 1984; Jong De 1990).

El daño que la varroasis causa depende del grado de infestación de las colonias afectadas. Se sabe que el efecto negativo sobre la producción de miel comienza cuando la población de ácaros alcanza entre el 10 y el 15 % de las abejas adultas en la colonia y cuando esta llega a ser del 30 al 40 %, normalmente termina con la muerte de la colonia (Jong De 1990). El desarrollo de las crías parasitadas se ve afectado, produciéndose abejas con menor peso corporal (Jong De *et al.* 1982a) y con un promedio de vida más corto (Jong De y Jong De 1983), lo que trae como consecuencia que la producción de miel y otros productos de la colmena se vean disminuidos.

Además *Varroa jacobsoni* ha sido identificado como un vector de enfermedades virales de las abejas, como son la parálisis aguda y la cría ensacada (Ball 1983). También se encuentra asociado con el desarrollo de enfermedades bacterianas (Horn 1984; Ball 1988; Glinski y Jarosz 1992).

El efecto que la varroasis pueda llegar a tener sobre la producción de miel en México aún no es cuantificable, debido al poco tiempo que la parasitosis tiene en el país. Sin

embargo, la velocidad de dispersión y los niveles de infestación que se han encontrado, llegando a alcanzar los 13,000 ácaros por colmena en un periodo de seis meses<sup>2</sup>, hacen suponer que el impacto negativo que esta tendrá sobre la producción de miel será relevante.

En la actualidad las colonias infestadas con *Varroa* son tratadas con productos químicos, los cuales permiten cierto grado de control. Sin embargo, el uso de acaricidas tiene serios inconvenientes.

Se sabe que el ácaro es capaz de desarrollar resistencia a los productos químicos utilizados para su control (Ritter 1981; Koeninger y Fuchs 1988; Eischen 1995). Recientemente se han encontrado en Italia, ácaros resistentes al fluvalinato (principal acaricida utilizado para el control de *Varroa*) en poblaciones de abejas que estuvieron en tratamiento durante los últimos 10 años (Eischen 1995).

Además los acaricidas pueden dejar residuos en la miel y cera, de hecho se sabe que el fluvalinato si no es empleado adecuadamente, puede dejar importantes residuos en estos productos (Slabezki *et al.* 1991; Faucon y Flamiini 1990; Wallner 1995). Los acaricidas también son tóxicos tanto para las abejas como para el hombre, e incluso algunos de ellos pueden ser carcinógenos (Koeninger y Fuchs 1988).

El tratamiento con productos químicos tiene un efecto directo sobre el costo de producción de la miel y otros productos apícolas, que se ven incrementados por el precio del acaricida, así como por el tiempo y mano de obra que se invierten para su aplicación. Esto provoca una reducción en la rentabilidad de la actividad apícola.

La erradicación de *Varroa* es un objetivo poco factible, de ahí que la apicultura requiera de opciones para poder mantener colonias de abejas con niveles de infestación bajos que permitan mantener la producción. Debido a los serios riesgos y desventajas asociados con el uso de productos químicos es necesario crear otras alternativas para el control del ácaro. Una de estas podría ser el desarrollo de abejas resistentes a *Varroa*. Si bien el eliminar totalmente a los ácaros a través del mejoramiento genético es poco factible, el desarrollo de líneas de abejas que mantengan niveles de infestación bajos, permitiría

---

<sup>2</sup> Sánchez, A., Investigador, INIFAP-SAGAR, com. pers.

mantener colonias productivas y disminuiría los riesgos y costos que conlleva el uso de productos químicos.

La aplicación de programas de mejoramiento genético ha permitido desarrollar variedades de abejas resistentes a enfermedades como la loque americana (Park 1936; Park 1937; Rothenbuhler 1964a; Rothenbuhler 1964b), la parálisis aguda (Kulincevic y Rothenbuhler 1975) y la acariosis traqueal (Gary y Page 1987; Page y Gary 1990). Lo anterior sugiere que algo similar podría lograrse con la varroasis, si entre las poblaciones de abejas existen mecanismos que confieran resistencia contra la parasitosis y si estos mecanismos son heredables.

El huésped original de *Varroa*, la abeja *Apis cerana*, posee mecanismos de resistencia contra el parásito. Estos mecanismos se han desarrollado por selección natural como consecuencia de una larga asociación con el ácaro. Por eso *Varroa jacobsoni* Oud. es poco patógeno para esta especie de abejas (Peng *et al.* 1987a).

En el caso de *Apis mellifera* L., la mayoría de las colonias son altamente susceptibles a la parasitosis. Sin embargo, existen reportes de colonias de abejas que han logrado sobrevivir en zonas que han sido devastadas por *Varroa*, lo cual sugiere que existe cierto grado de resistencia al ácaro (Engels *et al.* 1986; Kulincevic y Rinderer 1986; Morse *et al.* 1991). Estudios desarrollados en Alemania reportaron diferencias en los niveles de infestación entre colonias de abejas (Moosbeckhofer *et al.* 1988), mientras que en Yugoslavia también se reportaron diferencias en la infestación de distintas colonias de raza carniola (Kulincevic *et al.* 1988). En Israel se realizaron trabajos que muestran diferencias genéticas en la resistencia a *Varroa* entre líneas de abejas italianas, carniolas y caucásicas (Ron y Rosenthal 1989). Finalmente, en Brasil se demostró que el clima y el biotipo de abeja (europea o africanizada), influyen en el grado de infestación de las colonias, siendo los climas más fríos y las abejas de origen europeo los factores que favorecieron el desarrollo de niveles más altos de la parasitosis (Moretto *et al.* 1991).

Entre los mecanismos de resistencia que la abeja asiática *Apis cerana* ha desarrollado contra el parásito, está el de acicalamiento entre abejas (Peng *et al.* 1987a). Una obrera parasitada se limpia con sus patas y mandíbulas para librarse de los ácaros. Si no se los



puede quitar, ejecuta un baile de manera que atrae a otras obreras, las que con sus mandíbulas retiran al ácaro que se encuentra sobre la abeja (Büchler 1994).

Este comportamiento también se ha observado en la abeja *Apis mellifera* L., pero con menor frecuencia (Morse *et al.* 1991; Ruttner y Hanel 1992; Boecking *et al.* 1993; Moretto *et al.* 1993). Existen informes de colonias donde se han observado ácaros que aparentemente fueron perforados por las mandíbulas de las abejas (Wallner 1990; Morse *et al.* 1991; Boecking 1992; Boecking *et al.* 1993; Moretto *et al.* 1993). En un estudio realizado por Moosbeckhofer (1992) se obtuvo una correlación negativa, altamente significativa, entre el número de ácaros lesionados y el nivel total de infestación de las colonias, sugiriendo que el comportamiento de acicalamiento entre abejas adultas disminuye el nivel de infestación en las colonias. En otro estudio se encontró que las abejas africanizadas eliminaron de sus cuerpos más ácaros que las abejas europeas y que la heredabilidad de este comportamiento en abejas africanizadas fue de 0.71 (Moretto *et al.* 1993) lo cual indica que la selección de esta característica es posible.

Las obreras de *Apis cerana* poseen la capacidad de detectar crías operculadas que se encuentran infestadas con *Varroa*. Las obreras abren las celdillas para retirar y matar a los ácaros. Este mecanismo de resistencia se conoce como comportamiento higiénico (Peng *et al.* 1987b; Rath y Drescher 1990; Boecking 1992). Estudios desarrollados por Boecking y Drescher (1991) demostraron que las obreras de *Apis mellifera* de la raza carniola fueron capaces de detectar, desopercular y sacar pupas infestadas por el ácaro dentro de celdas de obrera. En otro estudio se encontró una correlación negativa entre el nivel de comportamiento higiénico y la susceptibilidad de cuatro líneas de abejas a los ácaros (Büchler 1992).

Otro mecanismo que influye en la resistencia a *Varroa*, es la atracción relativa que ejercen la cría y las abejas adultas de diferentes razas al ácaro (Büchler 1989). Se sabe que la cría de abejas africanizadas es menos atractiva para *Varroa* que la de abejas europeas, mientras que la cría de abejas híbridas (africanizadas x europeas) resulta tan atractiva para el ácaro como la cría de abejas europeas. Esto sugiere dominancia genética para la característica de alta atracción (Guzmán-Novoa *et al.* 1996). La razón de esta mayor

atracción parece deberse a diferencias cuantitativas y cualitativas en las kairomonas de atracción, producidas por las larvas de las abejas (Troullier *et al.* 1994). En lo referente a la atracción de las abejas obreras adultas, se sabe que las de origen europeo son más atractivas para *Varroa* que las africanizadas, mientras que las obreras híbridas son tan atractivas para el ácaro como las africanizadas, lo cual sugiere un probable efecto de dominancia para la característica de baja atracción (Guzmán-Novoa *et al.* 1996).

Otro de los mecanismos que disminuyen el crecimiento poblacional de los ácaros, son los factores que afectan su fertilidad. El porcentaje de hembras de *Varroa* que se reproduce en las larvas, varía según la especie, raza y sexo del huésped. Se sabe que *Varroa* no se reproduce en la cría de obrera de *Apis cerana* (Koeninger *et al.* 1981) y que existen diferencias en cuanto al porcentaje de *Varroa* que se reproduce en la cría de diferentes razas de *Apis mellifera* L. (Rosenkranz y Engels 1994). Existen reportes de que *Varroa* presenta un porcentaje menor de fertilidad sobre la cría de abejas africanizadas que sobre la de abejas europeas. También es claro que el ácaro prefiere reproducirse sobre la cría de zángano que sobre la de obrera (Ritter y Jong De 1984; Camazine 1986; Camazine 1988; Kulinčević y Rinderer 1988; Fries *et al.* 1994).

Aunque se han identificado varios mecanismos de resistencia contra la varroasis en poblaciones de abejas melíferas, se desconoce la contribución relativa de cada uno de ellos en la resistencia total.

Existe un solo programa de mejoramiento genético para el desarrollo de abejas resistentes a *Varroa* del que se han publicado resultados (Kulinčević *et al.* 1992). Los autores reportaron que después de cuatro generaciones de selección bidireccional, las colonias resistentes tenían la mitad de la infestación que las colonias susceptibles. Sin embargo, en el desarrollo del trabajo no se identificaron los mecanismos de resistencia responsables y por otro lado, importaciones de abejas de la línea resistente a los Estados Unidos, no mostraron menores niveles de infestación que abejas locales (Rinderer *et al.* 1993). Es evidente que se requieren más intentos para desarrollar abejas resistentes.

Para el desarrollo de un programa de mejoramiento genético que permita seleccionar colonias de abejas resistentes al crecimiento poblacional del parásito, es indispensable

establecer con claridad si existe variación genética en la resistencia de las abejas *Apis mellifera* L. al ácaro *Varroa jacobsoni* Oud., así como determinar cuales son los mecanismos que contribuyen a conferir esta resistencia. También es importante conocer la variación en la expresión de estos mecanismos y la contribución relativa de cada uno de ellos en la resistencia. Esto permitirá establecer la posibilidad de seleccionar abejas usando los mecanismos que contribuyen en mayor medida a la resistencia.

## OBJETIVOS

1. Determinar la existencia de variación en la resistencia de las abejas *Apis mellifera* L. al crecimiento poblacional del ácaro *Varroa jacobsoni* Oud. en México.
2. Descomponer la variación en la resistencia de las abejas *Apis mellifera* L. al crecimiento poblacional del ácaro *Varroa jacobsoni* Oud. en términos de efectos genéticos y ambientales.
3. Determinar la contribución relativa de los mecanismos que confieren resistencia a las abejas *Apis mellifera* L. contra *Varroa jacobsoni* Oud.
4. Determinar el efecto de la infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. sobre la producción de miel de colonias de abejas *Apis mellifera* L.

## HIPOTESIS

1. Existe variación en la resistencia de las abejas *Apis mellifera* L. al crecimiento poblacional *Varroa jacobsoni* Oud. en México.
2. La variación en la resistencia de las abejas *Apis mellifera* L. al crecimiento poblacional del parásito *Varroa jacobsoni* Oud. es producida por efectos genéticos y ambientales.
3. Existen diferencias en la contribución relativa de los mecanismos que confieren resistencia a las abejas *Apis mellifera* L. al parásito *Varroa jacobsoni* Oud.
4. La producción de miel de las colonias de abejas *Apis mellifera* L. disminuye significativamente cuando se encuentran infestadas por el ácaro *Varroa jacobsoni* Oud.

## MATERIALES Y METODOS

El desarrollo de los experimentos tuvo lugar en el municipio de Valle de Bravo, el cual se encuentra localizado en la parte Suroeste del Estado de México, a 19° 14' 65" de latitud Norte y a 100° 06' 23" de longitud Oeste. El municipio tiene una altura media sobre el nivel del mar de 2050 m.

### **Establecimiento de las Colonias Experimentales.**

En el mes de septiembre de 1996 se establecieron 63 colonias de abejas en un apiario. Las colonias se instalaron en colmenas de tipo Jumbo y cada una estuvo constituida por cuatro bastidores de cría y aproximadamente 2 kg de abejas obreras adultas. A cada una de estas colonias se le introdujo de manera aleatoria una abeja reina, la cual fue previamente identificada por medio de un número de plástico que se le pegó sobre el tórax. Las reinas que se utilizaron se obtuvieron de siete diferentes criaderos del país (líneas), con el objetivo de generar una población de abejas con alta variación genética entre colonias.

Las colonias se revisaron una semana después de establecidas para comprobar la aceptación y postura adecuada de las reinas. En las colmenas en que la reina no fue aceptada, o bien la postura de esta resultó defectuosa, se introdujo una segunda reina de la misma línea que la anterior.

Una vez establecidas, las colonias fueron tratadas con dos tiras plásticas impregnadas con fluvalinato (Apistan®, Laboratorios Sandoz), las que permanecieron nueve semanas dentro de las colmenas, con la idea de que las colonias quedaran libres de *Varroa jacobsoni*, ya que el fluvalinato destruye más del 99.8% de los ácaros durante este periodo de tratamiento (Ruijter De y Van Den Eijnde 1989).

Todas las colonias tuvieron un manejo uniforme durante el desarrollo de los experimentos. Cada colonia fue alimentada con 2 L de jarabe al 50 % (sacarosa y agua en partes iguales por peso) y recibió un tratamiento preventivo contra loque europea (*Melissococcus pluton*) y loque americana (*Paenobacillus larvae*), por medio de una mezcla de 6 g de terramicina® (Laboratorios Pfizer) y 25 g de azúcar pulverizada, que se

espolvoreó sobre los bastidores de la cámara de cría. Las colonias fueron alimentadas y tratadas de esta manera cada 15 días hasta el inicio de la floración (noviembre, 1996).

### **Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. (Experimento 1).**

Este experimento se llevó a cabo para comprobar las hipótesis 1 y 2 y se hizo de la manera siguiente. Una vez que se retiraron las tiras impregnadas con fluvalinato, las colonias se mantuvieron durante dos semanas sin ningún tratamiento, para que se degradaran los posibles residuos de fluvalinato que hubiesen quedado en la cera de los panales. Al término de este periodo, todas las colonias fueron infestadas con 25 hembras de *Varroa* por colmena, para lo cual se tomó una muestra de 25 abejas obreras de cada colonia. Las obreras se introdujeron en dos jaulas de tipo Benton, que están hechas de madera y están cubiertas con tela de alambre de 2 mm. Para infestar a las abejas se utilizó la técnica desarrollada por Kraus<sup>3</sup>. A través de la tela de alambre de la jaula y con la ayuda de un pincel, se colocó un ácaro sobre cada una de las abejas obreras, para posteriormente ser introducidas y liberadas en su colmena de origen.

Los ácaros que sirvieron para infestar a las colonias experimentales se obtuvieron de una colonia altamente parasitada. Para recolectarlos se utilizó un recipiente de plástico con capacidad de 20 L, en el cual previamente se colocaron dos frascos de 40 ml con éter etílico y un excluidor de tela de alambre de 4 mm (Fig. 1). Dentro de este recipiente se sacudieron abejas obreras de la colonia altamente infestada. Las abejas permanecieron aproximadamente 5 min dentro del recipiente cerrado, tiempo suficiente para que los ácaros que se encontraban sobre las abejas sufrieran el efecto anestésico del éter etílico y cayeran al fondo del recipiente, de donde fueron recuperados para ser utilizados en la infestación de las colonias experimentales.

Con el fin de registrar el desarrollo poblacional de *Varroa* por un periodo de seis meses y por medio de este evaluar la resistencia de las colonias a su infestación, se

---

<sup>3</sup> Kraus, B., Investigador, Universidad de Berlín, Alemania, com. pers.

efectuaron muestreos mensuales en todas las colonias. Se tomaron muestras tanto de abejas obreras como de cría operculada, para así determinar los niveles de infestación en ambas etapas de la metamorfosis del insecto. Estas determinaciones se realizaron mensualmente a partir del segundo mes posterior a la infestación.

Para obtener el nivel de infestación en la cría, se cortaron tres segmentos de panal con aproximadamente 50 celdas operculadas de obrera de cada uno de los tres bastidores centrales de cada colmena. Las muestras se introdujeron en bolsas individuales de polietileno previamente identificadas y estas se colocaron en hielo. Posteriormente se procedió a desopercular y revisar cada una de las celdas de las muestras, para de esta forma determinar el nivel de infestación a partir del número de celdas infestadas en relación al total de celdas revisadas (Garza y Wilson 1994).

En las abejas adultas el nivel de infestación de cada colonia se determinó a partir de cuatro muestras de aproximadamente 100 abejas obreras cada una. Las muestras se obtuvieron de los bastidores centrales de la colmena, depositando las abejas en frascos que contenían una solución de alcohol etílico al 70%. Posteriormente de cada muestra se contaron el número de ácaros desprendidos y el total de abejas obreras, para de esta manera determinar el nivel de infestación de la colonia a partir de la relación entre el número de ácaros que se encontraron y el total de abejas muestreadas (Jong De *et al.* 1982c).

Los datos obtenidos se analizaron en busca de normalidad y se transformaron usando el método de Box y Cox (Snedecor y Cochran 1991). En donde la variable transformada es producto de la siguiente función.

$$Y_i = \frac{X_i^\lambda - 1}{\lambda}$$

**$Y_i$  = Observación transformada**

**$X_i$  = Observación bajo la distribución original**

**$\lambda$  = Coeficiente (  $\lambda \neq 0$  )**

**1 = Constante**

Los datos una vez transformados se sometieron a un análisis de varianza bajo un diseño completamente aleatorio, para determinar posibles diferencias en los niveles de infestación entre las colonias, como evidencia de variación fenotípica en la resistencia de las abejas al crecimiento poblacional del ácaro. Para ello se utilizó el siguiente modelo de efectos fijos:

$$Y_{ij} = \mu + R_i + E_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Nivel de infestación

$\mu$  = Media poblacional

$R_i$  = Efecto de la colonia (reina), ( $i=1,2,\dots,58$ )

$E_{ijk}$  = Error

Para identificar efectos genéticos en la variación de la resistencia de las abejas al crecimiento poblacional de *Varroa*, los datos sometieron a un análisis de varianza bajo un modelo de tipo jerárquico desbalanceado. En este modelo cada línea estuvo formada por las colonias cuyas reinas tenían el mismo origen (criadero). El modelo de efectos fijos usado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + R_{j(i)} + M_k + E_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = Nivel de infestación

$\mu$  = Media poblacional

$L_i$  = Efecto de línea (criadero) ( $i=1,2,\dots,7$ )

$R_{j(i)}$  = Efecto individual de cada colonia (reina) anidado dentro de la línea ( $j=1,2,\dots,n_j$ )

$M_k$  = Efecto del muestreo ( $k=1,2,\dots,5$ )

$E_{ijk}$  = Error



Además se realizó un análisis utilizando el método de máxima verosimilitud restringida (REML) para la estimación de los componentes de varianza, considerando el efecto de línea y el efecto de colonia (reina) anidado dentro de línea, bajo el siguiente modelo de efectos aleatorios:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + R_{j(i)} + E_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = Nivel de infestación

$\mu$  = Media poblacional

$L_i$  = Efecto de línea (criadero) ( $i=1,2,\dots,7$ )

$R_{j(i)}$  = Efecto de la colonia (reina) anidado dentro de línea ( $j=1,2,\dots,58$ )

$E_{ijk}$  = Error

La varianza genética se estimó a partir de la variación debida al efecto de línea y a la variación debida al efecto de la colonia (reina) dentro de línea. La varianza ambiental se determinó a través de la varianza del error. Los resultados permitieron descomponer la varianza fenotípica en varianza genética y varianza ambiental bajo el siguiente modelo:

$$\sigma^2 \text{ Fenotípica} = \sigma^2 \text{ Genética} + \sigma^2 \text{ Ambiental}$$

$\sigma^2$  = Varianza

La heredabilidad en el sentido amplio de la característica resistencia de las colonias de abejas *Apis mellifera* L. al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. para la población de abejas bajo estudio, se estimó a partir de la razón entre la varianza genética y la varianza fenotípica (Cornuet 1987; Oldroyd 1988).

$$h^2 = \frac{\sigma^2 \text{ GENETICA}}{\sigma^2 \text{ FENOTIPICA}}$$

## **Impacto Relativo de los Mecanismos de Resistencia sobre la Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de *Varroa Jacobsoni* Oud. (Experimento 2).**

Para comprobar la hipótesis 3, se seleccionaron colonias con niveles extremos de infestación; las ocho colonias que presentaron los niveles más bajos y las ocho que tuvieron los niveles más altos. El resto de las colonias se trataron con Apistan®. En las 16 colonias seleccionadas se midieron los siguientes mecanismos de resistencia de las abejas a *Varroa*:

**Acicalamiento entre abejas.** Para analizar el efecto del comportamiento de acicalamiento entre abejas de las colonias seleccionadas, se hicieron mediciones tanto en las colmenas como en una incubadora. Para efectuar las mediciones se instalaron charolas (30 x 42 cm) en el piso de cada una de las colmenas. Cada charola contenía una cartulina blanca cubierta con vaselina para atrapar a los ácaros que cayeran. Semanalmente y durante cinco semanas se realizaron conteos del total de ácaros en la cartulina. Los ácaros fueron transferidos de la cartulina a un frasco con alcohol etílico al 70% con la ayuda de un pincel. Del total de *Varroas* recuperadas sobre las charolas de cada colonia se tomó una muestra aleatoria de 120 ácaros, para determinar con la ayuda de un microscopio estereoscópico el número de *Varroas* aparentemente lesionadas por las abejas (Wallner 1990; Ruttner y Hanel 1992; Boecking *et al.* 1993; Moretto *et al.* 1993). Las lesiones consistieron en daños (muescas y perforaciones) observados sobre el tórax de los ácaros.

La pruebas en la incubadora sirvieron para medir el comportamiento de acicalamiento en condiciones de laboratorio. Para ello se utilizaron muestras de 30 abejas por cada colonia seleccionada (16 muestras). Cada muestra de abejas se colocó en una jaula de tela de alambre (10 x 10 x 20 cm) en cuyo piso se instaló un cuadro de cartulina blanca cubierto con vaselina. Las abejas de cada jaula se infestaron con 10 ácaros con la ayuda de un pincel. Las abejas infestadas se mantuvieron dentro de la jaula en una incubadora (30°C, 55% H.R.), alimentándolas con una mezcla de azúcar glass con miel a partes iguales y proporcionándoles agua por medio de un alimentador de plástico con capacidad de 50 ml.

Las abejas permanecieron 48 h dentro de la incubadora, tomándose registros del número de ácaros eliminados cada 12 h. Al finalizar este periodo se cuantificó el total de ácaros eliminados por las abejas y con la ayuda de un microscopio estereoscópico se contó el número de ácaros que presentaron lesiones de aquellos que se recuperaron de cada cuadro de cartulina. Para esto se siguió el método anteriormente mencionado

**Comportamiento higiénico.** Para medir el comportamiento higiénico de las abejas de las 16 colonias seleccionadas se modificó la prueba descrita por Newton y Ostasiewski (1986). De cada una de las colmenas se seleccionaron tres bastidores que contenían celdas operculadas con prepupas y pupas jóvenes. En cada bastidor se delimitaron tres grupos de siete celdas operculadas, las cuales fueron perforadas con un alfiler, con el fin de sacrificar a las crías. Después de esto, los bastidores se reintrodujeron en el centro de la cámara de cría de su respectiva colmena. Las colonias se revisaron al cabo de 24 h para contar el número de celdas desoperculadas y el número de pupas muertas retiradas por las abejas.

**Atracción de la cría a *Varroa* y su efecto sobre la capacidad reproductiva del ácaro.** Se midió la atracción de la cría de las colonias seleccionadas a *Varroa*, así como el efecto que pudiera tener sobre la capacidad reproductiva del ácaro, siguiendo la técnica descrita por Guzmán-Novoa *et al.* (1996). Para ello se utilizó una colonia altamente infestada con *Varroa* a la que se le retiraron los bastidores que contenían cría abierta y se le introdujo un bastidor que contenía 16 segmentos de panal, uno de cada una de las colonias seleccionadas, con aproximadamente 100 celdas con larvas de un día de edad por segmento.

Para estandarizar la edad de las larvas de las colonias seleccionadas, se procedió a confinar a la reina de cada una de las colonias en un panal sin cría, el cual fue introducido en una jaula de tela de alambre que permitía el paso de las abejas obreras pero no el de la reina. De esta forma se obligó a la reina a ovipositar en ese panal, de tal manera que todas las reinas tuvieran cría de aproximadamente la misma edad el día que se realizó la prueba. A los cuatro días de haber sido confinadas las reinas fueron liberadas. De cada uno de los panales se cortó con un cuchillo un segmento que contenía aproximadamente 100 larvas recién

eclosionadas. Los segmentos de panal así obtenidos se colocaron en el bastidor intercalando un segmento de una colonia del grupo de alta infestación seguido de un segmento de una colonia de baja infestación y así sucesivamente. Lo anterior se hizo para evitar posibles efectos de la posición del panal sobre la oportunidad de que las crías fuesen infestadas por *Varroa* de una manera no aleatoria.

Después de 14 días de haber sido introducido, el bastidor con los segmentos de panal conteniendo ahora cría operculada fue retirado de la colonia infestada, para posteriormente contar el número de celdas que contenían crías parasitadas y el número de ácaros maduros e inmaduros dentro de cada celda. Para ello se desopercularon las celdas con una aguja de disección y con la ayuda de unas pinzas entomológicas y un microscopio estereoscópico, se efectuó el conteo de los ácaros. El número de celdas con ácaros maduros permitió determinar la atracción que ejerce la cría a *Varroa*, mientras que el número de celdas donde se observaron ácaros inmaduros determinó el efecto que tiene la cría para inhibir o estimular la reproducción de *Varroa*.

Los datos obtenidos de cada una de las pruebas se analizaron en busca de normalidad y las medias calculadas para los mecanismos de resistencia medidos en las ocho colonias con baja infestación, se compararon con las de las ocho colonias con alta infestación mediante una prueba t-Student. Adicionalmente se realizó un análisis de varianza bajo un modelo de efectos fijos completamente aleatorio, con objeto de identificar diferencias entre las colonias seleccionadas para los mecanismos de resistencia estudiados.

Finalmente en los mecanismos de resistencia en donde existieron diferencias significativas entre grupos y entre colonias, se realizó un análisis de regresión y correlación entre los niveles de infestación final de las colonias y las variables medidas en cada una de las pruebas.

La magnitud del estadístico t para las pruebas entre los dos grupos experimentales, el valor del coeficiente de determinación del análisis de regresión y el coeficiente de correlación, sirvieron para determinar cuales mecanismos tuvieron mayor impacto en la resistencia de las abejas *Apis mellifera* L. al crecimiento poblacional del ácaro *Varroa jacobsoni* Oud.

### **Efecto de la Infestación de *Varroa Jacobsoni* Oud. sobre la Producción de Miel de Colonias de Abejas *Apis mellifera* L. (Experimento 3).**

Para comprobar la cuarta y última hipótesis, se cuantificó la producción de miel de cada una de las colonias al finalizar la floración (marzo 1997), para lo cual se contó el número de bastidores de alza con miel que fueron cosechados de cada colmena. El total de miel cosechada en kg de todas las colonias, se dividió entre el número total de bastidores, para obtener un promedio en kg de miel por bastidor, mismo que se multiplicó por el número de bastidores cosechados de cada colonia, para así obtener la producción de miel por colmena (Estrada y Guzmán 1991).

El promedio de producción de miel de las colonias infestadas se comparó con el promedio de producción de 33 colonias, que fueron tratadas con Apistan® durante dos meses previos a la floración y que fueron manejadas en condiciones similares a las colonias experimentales. Estas colonias se ubicaron en el mismo apiario de las colonias experimentales. El análisis de los datos se hizo por medio de una prueba de comparación de medias t-Student, lo que permitió determinar diferencias en la producción de miel entre colonias infestadas y colonias tratadas.

## RESULTADOS

### Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. (Experimento 1).

**Variación fenotípica.** Se encontraron diferencias significativas entre colonias en los niveles de infestación en abejas adultas después de un periodo de seis meses ( $F= 1.57$ ;  $gl=58, 205$ ;  $P= 0.0113$ ), pero no se encontraron diferencias entre colonias para el nivel de infestación de la cría en el mismo periodo ( $F= 0.71$ ;  $gl= 58, 177$ ;  $P= 0.9322$ ). Los niveles de infestación variaron en un rango de 6.55% a 44.70 % para abejas adultas

**Variación genética y ambiental.** Los niveles infestación en las abejas adultas aumentaron significativamente mes con mes desde el inicio de los experimentos ( $F= 91.26$ ;  $gl= 4, 201$ ;  $P<0.0001$ ) (Fig. 2). Así mismo, se observaron diferencias significativas entre líneas ( $F= 5.32$ ;  $gl= 6, 201$ ;  $P<0.0001$ ) y entre colonias anidadas dentro de las líneas ( $F=3.06$ ;  $gl= 52, 201$ ;  $P<0.0001$ ) (Fig. 3).

El análisis para la estimación de componentes de varianza utilizando el método de máxima verosimilitud restringida (REML) mostró que parte de la variación observada se debió al efecto de línea y al efecto de colonias dentro de líneas. La variación debida al efecto de colonias dentro de líneas fue mayor que la variación debida al efecto de líneas (Cuadro 1).

La variación debido al efecto de línea y la variación debida al efecto de colonias dentro de líneas son componentes de la varianza de origen genético, mientras que la variación debida al error estima la varianza debida al medio ambiente (Cuadro 2).

La heredabilidad en sentido amplio que se estimó en la población para la característica resistencia de las colonias de abejas *Apis mellifera* L. al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. en abejas adultas fue de 0.36 .

Los niveles de infestación de la cría aumentaron significativamente en los muestreos mensuales ( $F= 98.49$ ;  $gl= 4, 173$ ;  $P= 0.0001$ ) (Fig. 4). Sin embargo, para esta característica

no se encontraron diferencias entre líneas ( $F= 1.95$ ;  $gl= 6, 173$ ;  $P= 0.0759$ ), ni entre colonias dentro de líneas ( $F= 1.34$ ;  $gl= 52, 173$ ;  $P= 0.0865$ ).

### **Impacto Relativo de los Mecanismos de Resistencia sobre la Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. (Experimento 2)**

Los niveles de infestación promedio entre los dos grupos de colonias seleccionadas, las de baja infestación ( $\mu=10.5\%$ ) y las de alta infestación ( $\mu=32.3\%$ ), difirieron significativamente ( $t= 8.48$ ;  $gl= 14$ ;  $P< 0.0001$ ) (Fig. 5).

**Acicalamiento entre abejas.** Se recolectaron significativamente más ácaros de las charolas del grupo de colonias de baja infestación que del grupo de las colonias de alta infestación ( $t = 2.41$ ;  $gl= 14$ ;  $P= 0.0301$ ). El promedio para el grupo altamente infestado fue de 186.3 *Varroas*, mientras que para el grupo de baja infestación fue de 386.3 parásitos en un lapso de una semana (Fig. 6). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre colonias para el número de *Varroas* recolectadas sobre las charolas ( $F= 6.47$ ;  $gl= 15, 60$ ;  $P< 0.0001$ ).

Paralelamente se analizó la relación entre el número de *Varroas* recuperadas sobre las charolas y el nivel final de infestación de las colonias, obteniéndose una correlación negativa, altamente significativa ( $r^2= 0.38$ ;  $r= -0.65$ ;  $n = 16$ ;  $P= 0.0085$ ) (Cuadro 4) (Fig. 7).

Por otro lado, se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos ( $t= 2.61$ ;  $gl=14$ ;  $P= 0.0204$ ) para el número promedio de ácaros lesionados (Cuadro 3). El grupo de alta infestación tuvo en promedio 11.25 ácaros lesiones en el tórax (9.4% del total de ácaros) mientras que el promedio para el grupo de baja infestación fue de 13.5 (11.3% del total de ácaros). Además, se encontró una correlación negativa, altamente significativa entre el número de ácaros lesionados y el nivel de infestación final de las colonias ( $r^2=0.54$ ;  $r=-0.76$ ;  $n = 16$ ;  $P< 0.0001$ ) (Cuadro 4) (Fig. 8).

Los datos de las pruebas realizadas en la incubadora mostraron diferencias significativas entre los dos grupos de colonias ( $t = 2.20$ ;  $gl = 14$ ;  $P = 0.0453$ ) para la media del número ácaros recuperados de las cartulinas. La media del grupo de alta infestación fue de 2.25 ácaros, mientras que la media del grupo de baja infestación fue de 4.63 (Cuadro 3).

Hubo una correlación negativa y significativa ( $r^2 = 0.22$ ;  $r = -0.52$ ;  $n = 16$ ;  $P = 0.04$ ) entre el número de ácaros recuperados en la incubadora y el nivel de infestación final de las colonias (Cuadro 4) (Fig. 9).

En el caso del número de *Varroas* lesionadas no se encontraron diferencias entre los dos grupos ( $t = 0.92$ ;  $gl = 14$ ;  $P = 0.79$ ) en la prueba de la incubadora (Cuadro 3). Por otro lado tampoco se observó correlación entre el número de varroas lesionadas y el nivel de infestación final de las colonias de abejas ( $r^2 = 0.06$ ;  $r = -0.23$ ;  $n = 16$ ;  $P = 0.45$ ) (Cuadro 4).

**Comportamiento higiénico.** No existió diferencia entre los dos grupos de colonias ( $t = -0.637$ ;  $gl = 14$ ;  $P = 0.53$ ) para el número de celdas desoperculadas y para el número de larvas muertas retiradas de las celdas (Cuadro 3). Las colonias del grupo de alta infestación tuvieron en promedio 54.8 celdas limpias, mientras que las colonias del grupo de baja infestación tuvieron en promedio 51.3. Sin embargo, un análisis de varianza para las mismas variables mostró diferencias significativas entre colonias ( $F = 10.71$ ;  $gl = 15, 116$ ;  $P < 0.0001$ ), con rangos de 11 a 63 celdas desoperculadas y larvas muertas retiradas por las abejas.

No existió correlación significativa entre el nivel de infestación final y el número de celdas desoperculadas y larvas muertas retiradas por las abejas ( $r^2 = 0.03$ ;  $r = 0.18$ ;  $n = 16$ ;  $P = 0.54$ ).

**Atracción de la cría a *Varroa*.** No se encontraron diferencias ( $t = -0.11$ ;  $gl = 14$ ;  $P = 0.91$ ) (Cuadro 3) entre los dos grupos de colonias en el porcentaje promedio de celdas que fueron infestadas por ácaros maduros, como tampoco existieron diferencias entre colonias ( $F = 0.02$ ;  $gl = 15, 84$ ;  $P = 0.88$ ). El promedio para las colonias del grupo de alta



infestación fue de 5.99% de celdas infestadas, mientras que el promedio para las colonias de baja infestación fue de 5.80%.

**Efecto de la cría sobre la capacidad reproductiva de *Varroa*.** No se encontraron diferencias entre los dos grupos de colonias en cuanto al porcentaje de celdas infestadas donde se observaron *Varroas* hembras que se reprodujeron ( $t = 0.495$ ;  $gl = 14$ ;  $P = 0.62$ ). Las colonias del grupo de alta infestación tuvieron en promedio 21.0% de celdas infestadas donde los ácaros se reprodujeron, mientras que las colonias del grupo de baja infestación tuvieron 28.5% (Cuadro 3). Tampoco se observaron diferencias entre colonias para esta variable ( $F = 0.128$ ;  $gl = 15, 84$ ;  $P = 0.72$ ).

**Efecto de la Infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. sobre la Producción de Miel de Colonias de Abejas *Apis mellifera* L. (Experimento 3)**

La media de producción de miel en kg de las colonias infestadas ( $7.91 \pm 7.2$  DE), fue significativamente menor ( $t = 3.32$ ;  $gl = 89$   $P = 0.0013$ ) al promedio de las colonias que se mantuvieron bajo tratamiento ( $13.09 \pm 7.04$  DE) (Fig. 10).

## DISCUSION

Se encontraron diferencias significativas en los niveles de infestación de *Varroa* en las abejas adultas tanto entre colonias como entre líneas. La variación observada entre colonias y entre líneas es atribuible a diferencias de origen genético. El mecanismo de resistencia que aparentemente inhibió en mayor grado el crecimiento poblacional de *Varroa* fue el comportamiento de acicalamiento entre abejas. Así mismo, se observaron diferencias en el comportamiento higiénico entre las colonias de abejas, pero el impacto de este mecanismo fue menor. Por otro lado, no se encontraron diferencias entre colonias en cuanto a la atracción que ejerce la cría a *Varroa* ni en el efecto que esta tiene sobre la capacidad reproductiva del ácaro, lo que sugiere que estos mecanismos tienen un impacto relativo mucho menor o que no fue perceptible en los experimentos. Finalmente se encontró que la infestación de *Varroa* tuvo un efecto negativo sobre la producción de miel de las colonias de abejas.

### **Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud.**

Los resultados mostraron la existencia de una variación significativa tanto fenotípica como genotípica entre colonias, para la resistencia de las abejas adultas al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud., pero no se encontró variación significativa entre colonias en los niveles de infestación de la cría. Lo anterior sugiere que la resistencia al desarrollo poblacional de *Varroa* encontrada en este estudio, se debió a la capacidad de las colonias para controlar el crecimiento poblacional de los ácaros cuando estos infestaron a las abejas adultas.

El análisis para la estimación de componentes de varianza por medio del método de máxima verosimilitud restringida (REML) mostró que parte de la variación observada se explica por el efecto de línea y por el efecto de colonias anidadas dentro de línea, lo cual es evidencia de efectos genéticos. Así mismo, este análisis mostró que la variación debida al efecto de colonias dentro de líneas fue mayor que la variación debida al efecto de líneas.

La heredabilidad en sentido amplio que se estimó, es otra evidencia de variación genética que plantea la posibilidad de establecer programas de selección para el desarrollo de colonias de abejas resistentes al ácaro, aunque antes sería indispensable estimar los componentes de la varianza genética para poder entender la forma en que esta característica se hereda, así como para estimar la proporción de la variación que es heredable.

La variación en el crecimiento poblacional de *Varroa* en las colonias de abejas registrada por este estudio coincide con los resultados reportados por Engels *et al.* (1986), Kulinčević y Rinderer (1988), Kulinčević *et al.* (1988), Moosbeckhofer *et al.* (1988), Moretto *et al.* (1991), Morse (1991) y Harbo y Hoopingarner (1995). En todos estos estudios la variación se midió únicamente sobre los niveles de infestación de las abejas adultas. Adicionalmente, el hecho de que parte de la variación se explique por efectos genéticos, concuerda con los resultados reportados por Ron y Rosenthal (1989), quienes atribuyeron la variación en los niveles de infestación de *Varroa*, a diferencias de origen genético entre líneas de abejas.

Es importante destacar que la mayor parte de la variación genética medida se debió a la variación de colonias dentro de líneas, mientras que la menor parte se debió a diferencias entre líneas, lo cual sugiere que es posible encontrar colonias resistentes dentro de las diversas poblaciones de abejas, y que esta característica no se encuentra relacionada a una línea en particular. Esto es alentador, porque se podrían encontrar genotipos resistentes dentro de las poblaciones de abejas que manejan los apicultores en México.

#### **Impacto Relativo de los Mecanismos de Resistencia sobre la Variación en la Resistencia de las Colonias de Abejas al Crecimiento Poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud.**

Al analizar la contribución relativa de los diversos mecanismos de resistencia estudiados, los resultados sugieren que la variación observada en la resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa*, puede explicarse principalmente por el comportamiento de acicalamiento, ya que fue el único de los mecanismos estudiados para el que se encontraron diferencias significativas entre los grupos de colonias

seleccionados como de alta y baja infestación, así como entre las colonias. El número de ácaros recuperados de las charolas, tanto para las pruebas en la incubadora, como para las pruebas en las colonias del grupo de baja infestación, fue significativamente mayor que para el grupo de alta infestación. Además en el primer grupo hubieron significativamente más ácaros lesionados y se obtuvo una correlación negativa y significativa entre el número de ácaros recuperados, el número de ácaros lesionados y los niveles finales de infestación de las colonias. Lo anterior sugiere que las abejas de colonias con niveles bajos de infestación son más capaces de eliminar a los ácaros de sus cuerpos.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Morse *et al.* (1991), Ruttner y Hanel (1992), Boecking *et al.* (1993) y Moretto (1993), quienes reportaron que el comportamiento de acicalamiento parece conferir resistencia a las colonias de abejas contra el ácaro *Varroa*. Las lesiones observadas en los ácaros concuerdan con la descripción de las lesiones causadas por las mandíbulas de las abejas reportadas por Wallner (1990), Morse *et al.* (1991), Moosbeckhofer (1992), Ruttner y Hanel (1992) y Moretto *et al.* (1993). Además la correlación negativa entre el número de ácaros lesionados y el nivel de infestación final de las colonias, coincide con los resultados de Moosbeckhofer (1992), quien encontró una correlación negativa entre el número de ácaros lesionados y el nivel de infestación de *Varroa* en las colonias de abejas de su estudio.

La importancia que el comportamiento higiénico de las abejas pudiera tener en la resistencia de las colonias de abejas al crecimiento población al de *Varroa* no está clara. Boeking y Drescher (1991) y Büchler (1992) encontraron que las colonias de abejas melíferas de raza carniola que tenían un mayor comportamiento higiénico, también tenían bajos niveles de infestación. En otro estudio, Spivak (1996) encontró que para dos líneas de abejas, una higiénica y otra no higiénica, existieron diferencias significativas en la capacidad de detectar y remover pupas de celdas previamente infestadas con ácaros en su primer periodo de pruebas. Sin embargo, para un segundo periodo de pruebas no se detectaron diferencias entre los dos grupos de abejas. Bär y Rosenkranz (1992) concluyeron que el comportamiento higiénico, es un mecanismo que no es capaz de conferir a las colonias de abejas resistencia significativa a la varroasis. En el presente trabajo las diferencias

observadas entre colonias con respecto al comportamiento higiénico sugieren que este mecanismo pudo tener efecto en la resistencia, pero que su contribución relativa fue menor, ya que no hubieron diferencias significativas entre grupos.

Para la atracción que ejercen las larvas de las abejas a las hembras adultas de *Varroa* no hubieron diferencias ni entre grupos, ni entre colonias, lo que sugiere que este mecanismo no tuvo una contribución importante en la resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa* en este estudio. Este resultado coincide con lo reportado por Camazine (1986) quien no encontró diferencias en la atracción de la cría al ácaro entre abejas africanizadas y europeas. Sin embargo, difiere de lo reportado por Guzman De *et al.* (1995), quienes encontraron diferencias entre líneas comerciales de abejas de los Estados Unidos y una línea de abejas yugoslava identificada como resistente (Kulinčević *et al.* 1992). Así mismo es un resultado diferente al de Guzmán-Novoa *et al.* (1996), quienes reportaron diferencias en la atracción a *Varroa* entre la cría de colonias de abejas con genotipos europeo, africanizado y sus híbridos.

Por otro lado, tampoco hubieron diferencias ni entre grupos ni entre colonias en el posible efecto inhibitorio de la cría sobre la capacidad reproductiva del ácaro, lo cual sugiere que este mecanismo no tuvo una contribución en las diferencias en los niveles de infestación de *Varroa* de las colonias experimentales. Estos resultados se contraponen con lo reportado en varios estudios (Rosenkranz y Stürmen 1992; Fuchs 1994; Rosenkranz y Engels 1994; Harbo y Hoopingarner 1995; Guzmán-Novoa *et al.* 1996), los cuales sugieren consistentes diferencias en la reproducción de *Varroa* como resultado de la influencia del genotipo de la cría que infestan.

Es probable que la falta de diferencias entre colonias para estas dos características sea consecuencia de un tamaño de muestra que no fue lo suficientemente grande para poder evidenciarlas. Sin embargo, si su impacto sobre el crecimiento poblacional de los ácaros fuera alto, debieron encontrarse diferencias entre los grupos aun con una muestra pequeña.

Por todo lo anterior, los resultados sugieren que la variación fenotípica y genotípica en los niveles de infestación de las abejas adultas que se determinó en este estudio, se debió principalmente a diferencias en el comportamiento de acicalamiento entre colonias. La

ausencia de variación fenotípica y genotípica en los niveles de infestación de la cría, pudiera deberse a que no se encontraron diferencias ni entre grupos, ni entre colonias para ninguno de los mecanismos que podrían afectar el desarrollo del ácaro en esta etapa de la metamorfosis de las abejas, como son el comportamiento higiénico, la atracción que ejerce la cría a *Varroa* y el efecto que esta tiene sobre la capacidad reproductiva del ácaro. Se requieren mas estudios bajo las condiciones ambientales de México y con líneas de abejas mexicanas, para confirmar la importancia de la contribución del comportamiento de acicalamiento en la resistencia de las abejas a *Varroa*. También se requieren mas estudios que permitan estimar la heredabilidad de esta característica antes de decidir incorporarla en programas de mejoramiento genético como una herramienta en el control de la varroasis de las abejas.

#### **Efecto de la Infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. sobre la Producción de Miel de Colonias de Abejas *Apis mellifera* L.**

Finalmente, los resultados muestran que la infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. tuvo un efecto negativo sobre la producción de miel, ya que bajo las mismas condiciones medio ambientales, el promedio de producción de miel de las colonias infestadas fue significativamente menor que el de las colonias que se mantuvieron bajo tratamiento. El efecto negativo de la infestación de *Varroa* sobre la producción de miel de colonias de abejas es similar a lo reportado por Jong De (1990), quien encontró que la producción de miel de las colonias infestadas disminuye significativamente como resultado de la disminución del peso corporal de las abejas obreras (Jong De 1982a) y como resultado de una menor longevidad (Jong De 1983).

## CONCLUSIONES

- Se encontró variación fenotípica y genotípica en la resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. Esta variación se debió a la capacidad de las colonias para controlar el crecimiento poblacional del ácaro cuando estos se encontraban infestando a las abejas adultas.
- La heredabilidad en sentido amplio para la resistencia de las abejas al crecimiento poblacional de *Varroa* fue de 0.36, lo que sugiere que es posible establecer programas de selección para generar poblaciones de abejas resistentes al desarrollo poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud.
- La variación genotípica determinada puede explicarse en mayor proporción por la variación atribuible al efecto de colonias anidadas dentro de líneas y en menor proporción por la variación entre líneas, lo que sugiere que la resistencia se puede buscar dentro de las poblaciones de abejas existentes en el país y no en una línea en particular.
- El comportamiento de acicalamiento fue el mecanismo que tuvo el mayor impacto relativo en la resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud.
- El impacto relativo de mecanismos como el comportamiento higiénico, la atracción que ejerce la cría a *Varroa* y el efecto que esta tiene sobre la capacidad reproductiva del ácaro, aparentemente no tuvieron una contribución relativa importante en la resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. Por ello es indispensable el desarrollo de otros trabajos que permitan volver a evaluar el impacto relativo de estos mecanismos.
- La infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. disminuyó significativamente la producción de miel de las colonias de abejas melíferas.

## LITERATURA CITADA

Anonymous: Varroa mites found in the United States. *Am. Bee J.*, 127: 745-746 (1987).

Ball, B.V.: The association of *Varroa jacobsoni* with virus diseases of honey bees. In: *Varroa jacobsoni* Oud. Affecting Honey Bees: Present Status and Needs. Edited by: Cavalloro, R: pp. 19-23 Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1983.

Ball, B.V.: The impact of secondary infestations in honey-bee colonies infested with the parasitic mite *Varroa jacobsoni*. In: Africanized Honey Bees and Bee Mites. Edited by: Needham, G.R., Page Jr. R.E. , Delfinado-Baker, M. and Bowman, C. E. pp 457-461. Ellis Horwood, Chichester, U. K., 1988.

Bär, E. and Rosenkranz, P.: Spezifisches putzverhalten von honigbienen (*Apis mellifera*) unterschiedlicher rassen gegenüber *Varroa*-infizierten brützellen. (Specific grooming behaviour towards brood cells infested with *Varroa jacobsoni* of different honey bee races.). *Ann. Univ. M.Curie-Skl.*, 47: 1-6 (1992).

Boecking, O.: Removal behavior of *Apis mellifera* towards sealed brood cells infested with *Varroa jacobsoni*: Techniques, extent and efficacy. *Apidologie*, 23: 371-373 (1992).

Boecking, O. and Drescher, W.: Response of *Apis mellifera* L. colonies to brood infested with *Varroa jacobsoni* O. *Apidologie*, 22: 237-241 (1991).

Boecking, O., Rath, W. and Drescher, W.: Grooming and removal behavior: strategies of *Apis mellifera* and *Apis cerana* bees against *Varroa jacobsoni*. *Am. Bee J.* 133: 117-119 (1993).

Boot, W.J., Betsma, J. and Calis, J.N.M.: Behavior of *Varroa* mites invading honey bee brood cells. *Exp. Appl. Acarol.*, 18 371-379 (1994).

Büchler, R.: Varroa tolerance in honey bees: occurrence, characters and breeding. *Bee World.*, 75: 54-70 (1994).

Büchler, R.: Test auf *Varroatoleranz* in Rahmen von Leistungsprüfungen ( Test for *Varroa*-tolerance performance ). *Neue Bienen Zeitung*, 3: 162-167 (1992).

Büchler, R.: Attractivity and reproductive suitability for the *Varroa*-mite of bee brood from different origins. Proceedings of the Meeting of the Economic Community Experts Group. Udine, Italy, 1988. 139-145, Udine, Italy (1989).



Cajero, A.S.: Logros y acciones del Programa Nacional Para el Control de la Abeja Africana. Memorias del IX Seminario Americano de Apicultura, Colima Col. 1995 5pp. Secretaria de Agricultura Ganaderia y Desarrollo Rural. México D. F. (1995).

Camazine, S.: Factors affecting the severity of *Varroa jacobsoni* infestations on European and Africanized bees. In: Africanized Honey Bees and Bee Mites. Edited by: Needham, G.R., Page Jr. R.E., Delfinado-Baker, M. and Bowman, C. E. pp 444-451. Ellis Horwood, Chichester, U. K., 1988.

Camazine, S.: Differential reproduction of the mite, *Varroa jacobsoni* (Mesostigmata: Varroidae), on Africanized and European honey bees (hymenoptera: Apidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 79: 801-803 (1986).

Cornuet, J.M.: Heritability and genetic progress for a worker character in *Apis mellifera*. *Apidologie*, 26: 165-169 (1987).

Chihu, A.D., Rojas, L.M. y Rodríguez, S.R.: Primer reporte en México del ácaro *Varroa jacobsoni*, causante de la varroasis de la abeja melífera (*Apis mellifera* L.). Memorias del VI Seminario Americano de Apicultura. Oaxtepec, Mor. México, 1992. 9-11. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D.F. (1992).

Eischen, F.: *Varroa* resistance to fluvalinate. *Am. Bee J.*, 135: 815-816 (1995).

Engels, W., Gonçalves, L.S., Steiner, J., Buriolla, A.H und Cavichio-Issa, M.R.: *Varroa*-Befall von carinica- Volkern in Tropenklima ( *Varroa* infestation growth in carnica bees in tropical climate ). *Apidologie*, 17: 203-216 (1986).

Estrada, E. y Guzmán-Novoa, E.: Selección practica para alta producción de miel en abejas melíferas (*Apis mellifera* ) Memorias del V Seminario Americano de Apicultura. Guadalajara, Jal. México 69-71 Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D. F. (1991).

Faucon, J.P. et Flamiini, C: Residus de fluvalinate dans la cire e dans le miel (Residues of fluvalinate in honey and wax). *Santé Abeille* 118: 182-184 (1990)

Fries, Y., Camazine, S. and Sneyd, J.: Population dynamics of *Varroa jacobsoni*: a model and a review. *Bee World.*, 75: 5-28 (1994).

Gary, N.E. and Page Jr, R.E.: Phenotypic variation in susceptibility of honey bees, *Apis mellifera*, to infestation by tracheal mites, *Acarapis woodi*. *Exp. Appl. Acarol.*, 3: 291-305 (1987).

Garza-Q.C. and Wilson W.T.: Different sampling methods for assessment of *Varroa jacobsoni* infestations. *Am. Bee J.*, 134: 832-833 (1994).

Glinski, Z. and Jarosz, J.: *Varroa jacobsoni* as a carrier of bacterial infections to a recipient bee host. *Apidologie*, 23: 25-31 (1992).

Guzmán De, Y.L., Rinderer T.E. and Lancaster V.A.: A short test evaluating larval attractiveness of honey bees to *Varroa jacobsoni*. *J. Apic. Res.*, 34: 89-92 (1995).

Guzmán-Novoa, E. and Page Jr, R.E. The impact of africanized bees on mexican beekeeping. *Am. Bee J.*, 134: 101-106 (1994).

Guzmán-Novoa, E., Sanchez, A.A Page Jr. R.E. y Garcia, P. T.: Susceptibility of European and Africanized honeybees ( *Apis mellifera* L ) and their hybrids to *Varroa jacobsoni* Oud. *Apidologie*, 27: 93-103 (1996).

Harbo, J.R. and Hoopingarner, R.: Resistance to *Varroa* expressed by honey bees in the USA. Proceedings of the American Bee Research Conference. *Am. Bee J.*, 135: 827 (1995).

Horn, H.: Zum Zusammenhang zwischen *Varroa jacobsoni* und Bakteriosen bei der Honigbiene (On the relation between *Varroa jacobsoni* and bacterioses in the honey bee). *Allgem. Deutsche Imkerzeit.*, 18: 328-329 (1984)

Infantidis, M. D.: Parameters of the population dynamics of the *Varroa* mite on honey bees. *J. Apicult. Res.*, 23: 227-233 (1984).

Jong De, D.: Mites: *Varroa* and other parasites of brood. In : Honey Bee Pests, Predators and Diseases. Edited by: Morse, R.A. and Nowogrodzki, R. 200-218. Cornell University Press. Ithaca, New York, 1990.

Jong De, D. and Jong De, P.H.: Longevity of africanized honey bees (Hymenoptera: Apidae) infested by *Varroa jacobsoni* (Parasitiformes: Varroidae). *J. Econ. Entomol.*, 76: 766-768 (1983).

Jong De, D., Jong De, P.H. and Gonçalves, L.S.: Weight loss and other damage to developing worker honey bees ( *Apis mellifera* ) due to infestation with *Varroa jacobsoni*. *J. Apicult. Res.*, 20: 37-40 (1982a).

Jong De, D., Morse, R.A. and Eickwor, G.C.: Mite pests of honey bees. *Ann. Rev. Entomol.*, 27: 229-252 (1982b).

Jong De, D., Roma, D.A. and Gonçalves, L.S.: A comparative analysis of shaking solutions for the detection of *Varroa jacobsoni* on adult honey bees. *Apidologie*, 13: 297-306 (1982c).

Koeninger, N. and Fuchs, S.: Control of *Varroa Jacobsoni*: current status and developments. In: Africanized Honey Bees and Bee Mites. Edited by: Needham, G.R., Page Jr. R.E., Delfinado-Baker, M. and Bowman, C. E. pp 360-369. Ellis Horwood, Chichester, U. K., 1988.

Koeninger, N., Koeninger, G. und Wijayagunasekar, N.H.P.: Anpassung von *Varroa Jacobsoni* an ihren natürlichen wirt *Apis cerana* in Sri Lanka (Observations about the adaptation of *Varroa Jacobsoni* on its natural host *Apis cerana* in Sri Lanka). *Apidologie*, 12: 37-40 (1981).

Kulinčević, J.M. and Rinderer, T.E.: Differential survival of honey bee colonies infested by *Varroa jacobsoni* and breeding for resistance. Proceedings of the XXX International Apicultural Congress (APIMONDIA) Nagoya, Japan, 1985. 175-177. Apimondia Publishing House, Bucharest, Romania (1986).

Kulinčević, J.M. and Rinderer, T.E.: Breeding honey bees for resistance to *Varroa jacobsoni*: Analysis of population dynamics and structure of mites progeny. In: Africanized Honey Bees and Bee Mites. Edited by: Needham, G.R., Page Jr. R.E., Delfinado-Baker, M. and Bowman, C. E. pp 360-369. Ellis Horwood, Chichester, U. K., 1988.

Kulinčević, J.M., Rinderer, T.E., Mladjan, V.J. and Bucu, M.S. : Five years of bidirectional genetic selection for honey bees resistant and susceptible to *Varroa jacobsoni*. *Apidologie*, 23: 443-452 (1992).

Kulinčević, J.M., Rinderer, T.E. and Urošević, D.J.: Seasonality and colony variation of reproducing and non-reproducing *Varroa jacobsoni* females in western honey bee (*Apis mellifera*) worker brood. *Apidologie*, 19: 173-179 (1988).

Kulinčević, J.M. and Rothenbühler, W.C.: Selection for resistance and susceptibility to hairless-black syndrome in the honeybee. *J. Invertebrate pathol.*, 25: 289-295 (1975).

Martin, S. J.: Ontogenesis of the mite *Varroa jacobsoni* Oud. in worker brood of the honey bee *Apis mellifera* L. under natural conditions. *Exp. Appl. Acarol.*, 18: 87-100 (1994).

Moosbeckhofer, R.: Beobachtungen zum auftreten beschädigter varroamilben im natürlichen totenfall bei völkern von *Apis mellifera carnica*. *Apidologie*, 23: 523-531 (1992).

Moosbeckhofer, R., Fabsicz, M. and Kohlich, A.: Untersuchungen über die abhängigkeit der nachkommensrate von *Varroa jacobsoni* von befallsgrad der bienenvölkern. *Apidologie*, 19: 181-207 (1988).

Moretto, G., Gonçalves, L.S., Jong De, D., and Bishuette, M. Z.: The effects of climate and bee race on *Varroa jacobsoni* Oud. infestations in Brazil. *Apidologie*, 22: 197-203 (1991).

Moretto, G., Gonçalves, L.S., Jong De, D.: Heredability of africanized and european honey bee defensive behavior against the mite *Varroa jacobsoni*. *Braz. J. Gen.*, 16: 71-77 (1993).

Morse, R.A., Miska, D. and Robinson, G.E.: Varroa resistance in U.S. honeybees. *Am. Bee J.*, 131: 433-434 (1991).

Newton, D.C. and Ostasiewski, N.J.: A simplified bioassay for behavioral resistance to american foulbrood in honey bees (*Apis mellifera* L.). *Am. Bee J.*, 126: 278-281 (1986).

Oldroyd, B. and Moran C.: Heritability of worker characters in the honeybee (*Apis mellifera*). *Aust. J. Biol. Sci.*, 36: 323-332 (1983).

Page, R.E. and Gary, N.E.: Genotypic variation in susceptibility of honey bees (*Apis mellifera*) to infestation by tracheal mites (*Acarapis woodi*). *Exp. Appl. Acarol.*, 8: 275-283 (1990).

Park, O.W.: Disease resistance and American foulbrood in honey bees. *Am. Bee J.* 76: 12-15 (1936).

Park, O.W.: Testing for resistance to American foulbrood in honey bees. *J. Econ. Entomol.* 30: 504-512 (1937).

Peng, Y.S., Fang, Y., Xu, S. and Ge, L.: The resistance mechanisms of the Asian honey bee, *Apis cerana* Fabr., to an ectoparasitic mite, *Varroa jacobsoni* Oudemans. *J. n ertebrate at ol.*, 49: 54-60 (1987a).

Peng, Y.S., Fang, Y., Xu, S., Ge, L. and Nasr, M. E.: Response of foster Asian honey bee (*Apis cerana* Fabr.) colonies to the brood of European honey bee (*Apis mellifera* L.) infested with the parasitic mite, *Varroa jacobsoni* Oudemans. *J. n ertebrate at ol.*, 49: 259-264 (1987b).

Rath, W. and Drescher, W.: Response of *Apis cerana* Fabr. colonies towards brood infested with *Varroa jacobsoni* Oud. and infestation rate of colonies in Thailand. *Apidologie*, 21: 311-321 (1990).

Rinderer, W., Guzmán De, L.I., Kulincevic, J.M., Delate, G.T., Beaman, L.D. and Buco, S.M.: The breeding, importing, testing and general characteristics of Yugoslavian honey bees bred for resistance to *Varroa jacobsoni*. *Am. Bee J.*, 133: 197-200 (1993).

Ritter, W.: Varroa disease of the honeybee *Apis mellifera*. *Bee World.*, 62: 141-153 (1981)

Ritter, W, and Jong De, D.: Reproduction of *Varroa jacobsoni* O. in Europe, the Middle East and tropical South America. *Zschr. Angewandte Entomol.*, 98 55-57 (1984).

Ron, M. and Rosenthal, C.: Genetic differences in the resistance to varroasis of bees in Israel. Proceedings of the XXXI International Apicultural Congress ( APIMONDIA). Warsaw, Poland, 1987. 263-265. Apimondia Publishing House, Bucharest, Romania (1989)

Rosenkranz, P. and Engels, W.: Infertility of *Varroa jacobsoni* females after invasion into *Apis mellifera* worker brood as a tolerance factor against varroasis. *Apidologie*, 25: 402-411 (1994).

Rothenbuhler, W.C.: Behavior genetics of nest cleaning in honey bees. I. Responses of four inbred lines to disease-killed brood. *Am. Behav.*, 12: 578-583 (1964a).

Rothenbuhler, W.C.: Behavior genetics of nest cleaning in honey bees. IV. Responses of four inbred lines to disease-killed brood. *Am. Zool.*, 4: 111-123 (1964b).

Ruijter, De A. and Van den Eijnde, J.: Field experiment to determine the efficacy of apistan on varroa mites in bee colonies and the effect on spring development of treated colonies. In Present status of Varroatosis in Europe and Progress in the Varroa Mite Control, 331-333 edited by R, Cavalloro, Office for Official Publications of the European Communities, Brussels-Luxembourg 1989.

Ruttner, F. and Hanel, H.: Active defense against *Varroa* mites in a carniolan strain of honey bee (*Apis mellifera carnica* Pollmann). *Apidologie*, 23: 173-187 (1992).

Slabezki, Y., Gal, H. and Lensky, Y.: The effect of fluvalinate application in bee colonies on population levels of *Varroa jacobsoni* and honey bees (*Apis mellifera* L.) and on residues in honey and wax. *Bee Science*, 1: 189-195 (1991).

Snedecor, G. and Cochran, W.: Statistical methods. 8a. de. pp 286-296 Iowa State University , USA, 1991.

Spivak, M.: Honey bee hygienic behavior and defense against *Varroa jacobsoni*. *Apidologie*, 27: 245-260 (1996).

Trouiller, J., Arnold, G., Chapee, B., Conte le, Y., Billion, A. and Masson, C.: The kairomonal esters attractive to the *Varroa jacobsoni* mite in the queen brood. *Apidologie*, 25: 314-321 (1994).

Wallner, A.: Beobachtungen natürlicher Varroa-abwehrreaktionen in meinen bienñenvolkern (Observations of honey bee natural Varroa-defensive reactions). *Imerfreund*, 9: 4-5 (1990).

Wallner, K.: The use of varroacides and their influence on the quality of bee products. *Am. Bee J.* 135: 817-821 (1995).

## CUADROS Y FIGURAS

**Cuadro No. 1.** Componentes de la varianza entre colonias para la característica resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. calculados por el método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML).

<b>COMPONENTE DE VARIANZA</b>	<b>ESTIMADOR</b>
LINEAS	0.0129
COLONIAS DENTRO DE LINEA	0.0578
ERROR	0.1228
TOTAL	0.1935



**Cuadro No. 2.** Componentes de la varianza fenotípica entre colonias para la característica resistencia de las colonias de abejas al crecimiento poblacional de *Varroa jacobsoni* Oud. calculados por el método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML).

<b>VARIANZA</b>	<b>ESTIMADOR</b>
GENETICA	0.0707
AMBIENTAL	0.1228
FENOTIPICA	0.1935

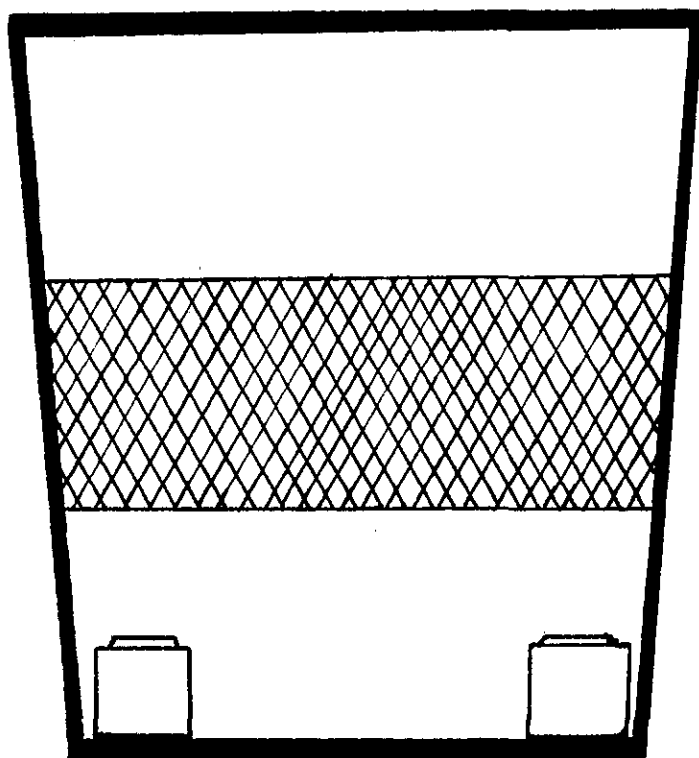
**Cuadro No. 3.** Impacto relativo de los mecanismos de resistencia, medidos a través de pruebas t-Student entre las medias de los grupos de colonias seleccionados de alta y baja infestación

<b>MECANISMO DE RESISTENCIA</b>	<b>t-STUDENT t</b>	<b>SIGNIFICANCIA P</b>
ACICALAMIENTO (Colmena)	2.41	0.03
<i>Varroas</i> LESIONADAS (Colmena)	2.61	0.02
ACICALAMIENTO (Incubadora)	2.20	0.04
<i>Varroas</i> LESIONADAS (Incubadora)	0.92	0.79
COMPORTAMIENTO HIGIENICO	-0.64	0.53
ATRACCION DE LA CRIA	-0.11	0.91
REPRODUCCION DE <i>Varroa</i>	0.49	0.62

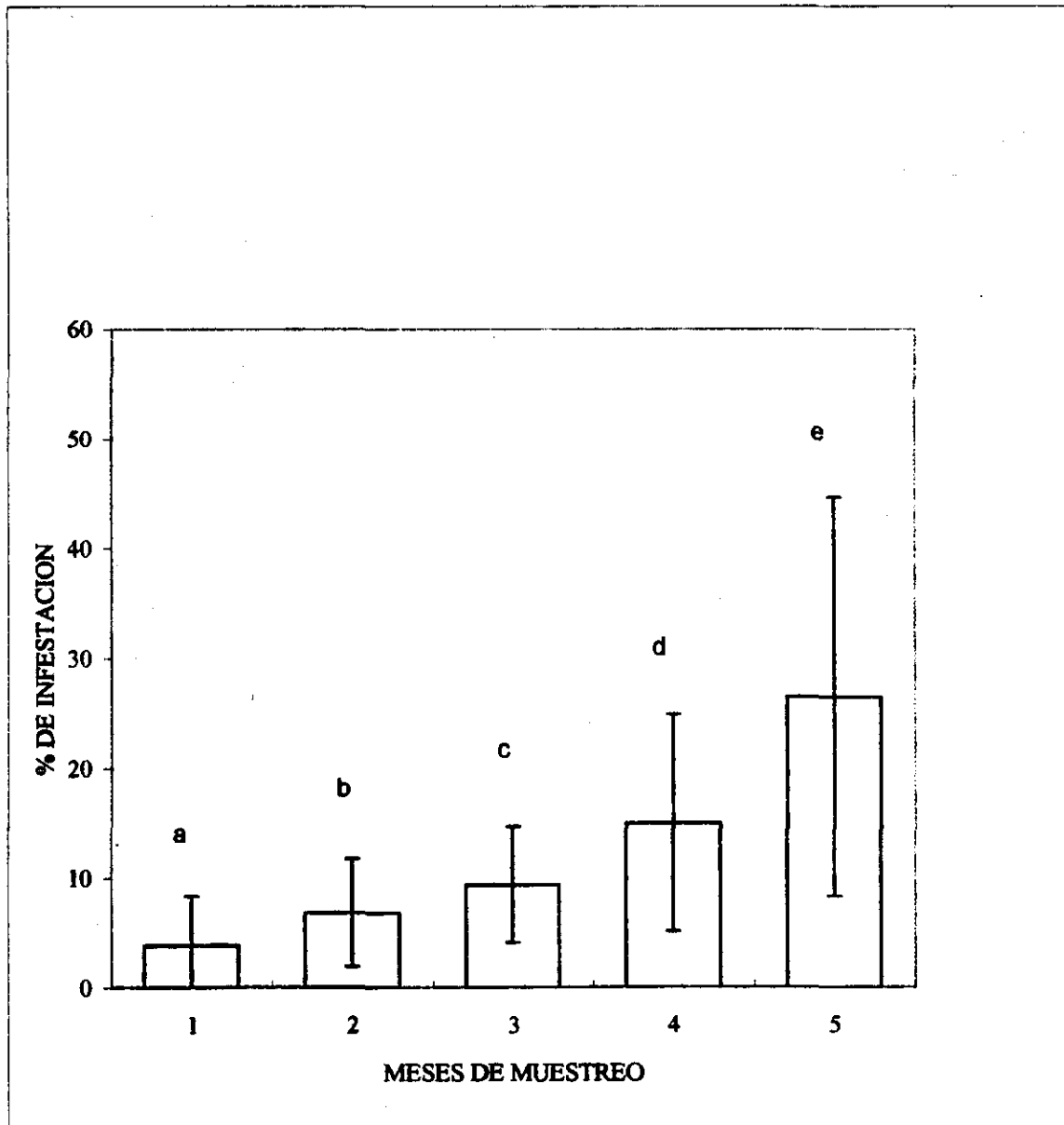
**Cuadro No. 4.** Coeficientes de correlación y de determinación entre el nivel de infestación final de las colonias seleccionadas y el total de *Varroas* recuperadas y lesionadas en las pruebas de acicalamiento en las colmenas y en la incubadora.

CARACTERISTICA	n	COEFICIENTE CORRELACION r	COEFICIENTE DETERMINACION r <sup>2</sup>	SIGNIFICANCIA P
<i>Varroas</i> RECUPERADAS (Colmena)	16	-0.65	0.38	0.008
<i>Varroas</i> LESIONADAS (Colmena)	16	-0.76	0.54	< 0.0001
<i>Varroas</i> RECUPERADAS (Incubadora)	16	-0.52	0.22	0.04
<i>Varroas</i> LESIONADAS (Incubadora)	16	-0.23	0.06	0.45

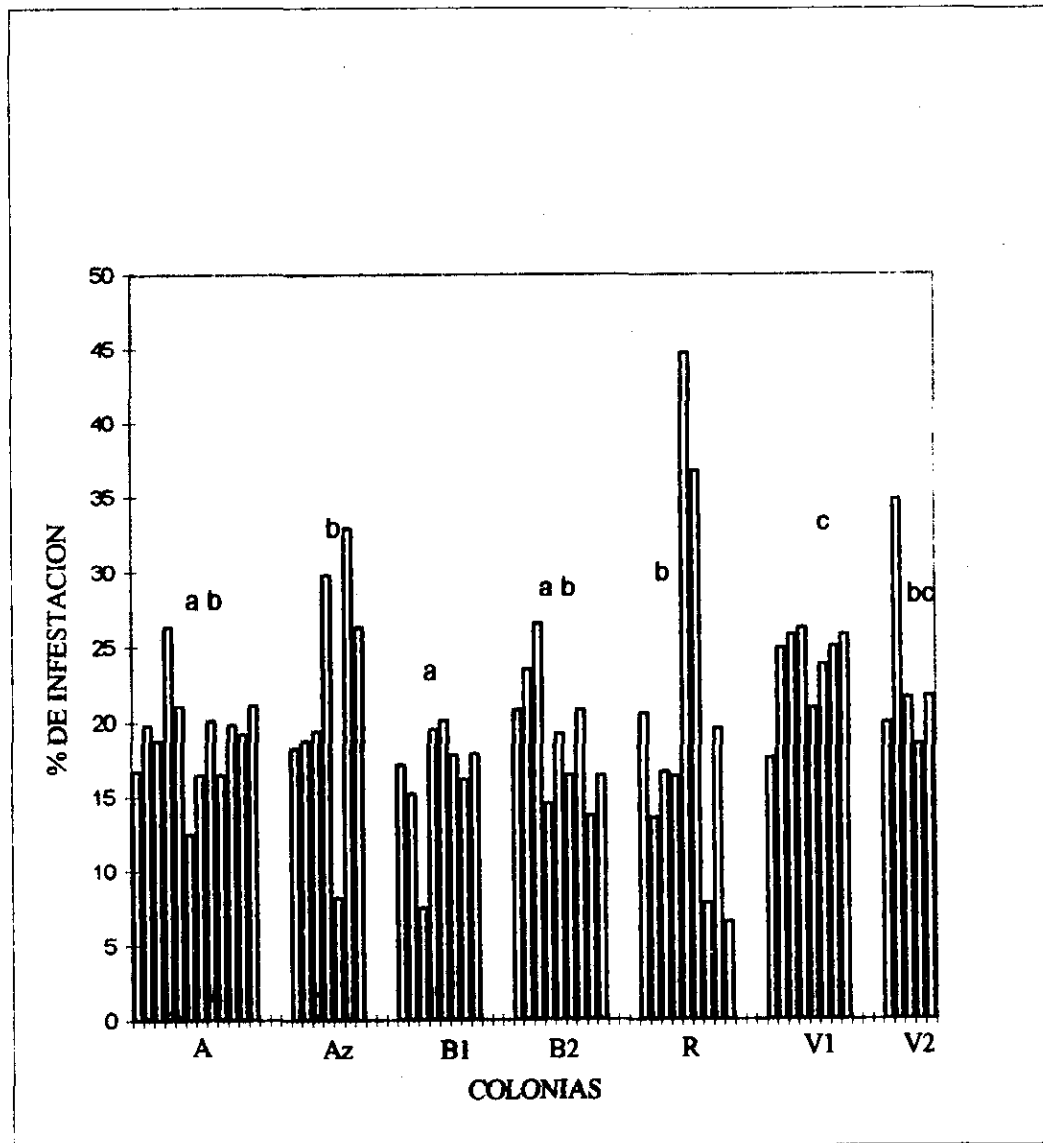
**Figura 1.** Esquema del recipiente de plástico de 20 L, en el cual se colocaron dos frascos de 40 ml con éter etílico y un excluidor de tela de alambre de 4 mm, utilizado para recolectar *Varroas*.



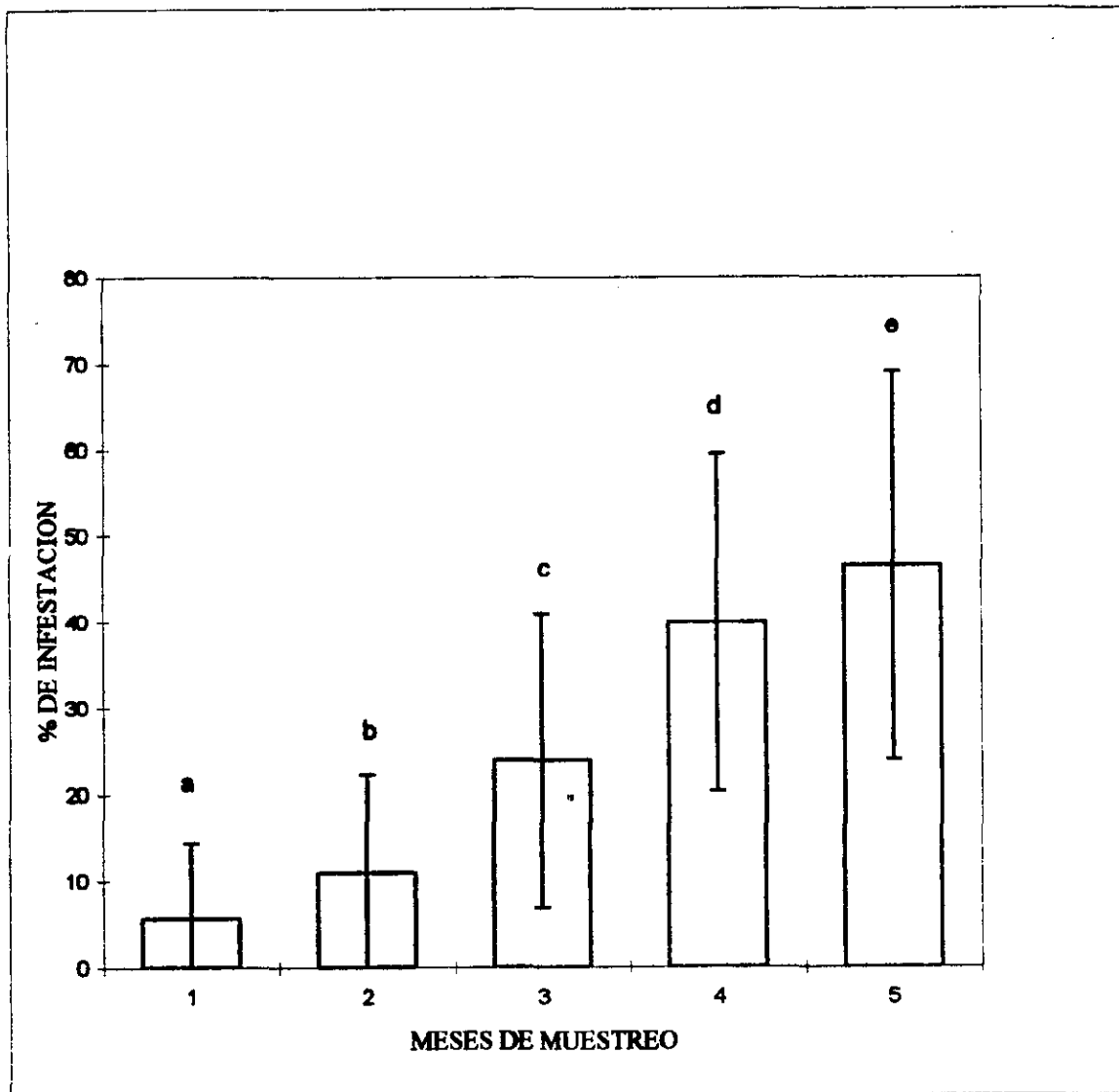
**Figura 2.** Porcentaje promedio ( $\pm$  D.E) de infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. en abejas adultas durante cinco meses de muestreo. La población de ácaros creció significativamente mes a mes, con una alta variación entre colonias ( $F= 91.26$ ;  $gl= 4, 201$ ;  $P< 0.01$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas de las medias mensuales, basadas en un análisis de varianza y en pruebas de diferencias mínimo cuadradas. Las pruebas estadísticas se realizaron con datos transformados, utilizando la función de Box y Cox. Las medias y desviaciones estandar de la figura representan los valores no transformados.



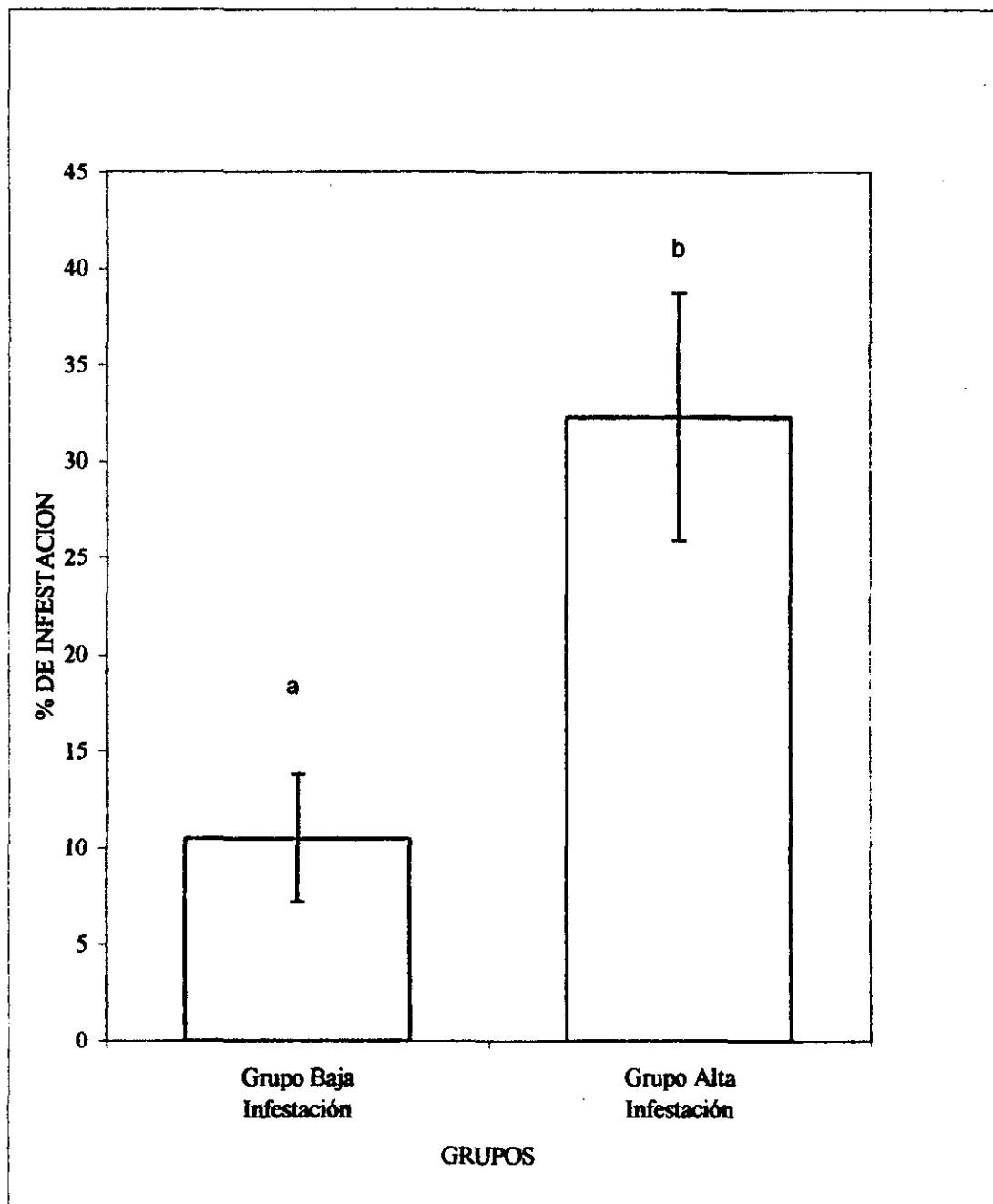
**Figura 3.** Porcentaje promedio de infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. en abejas adultas de colonias pertenecientes a siete diferentes orígenes genéticos (A, Az, B1, B2, R, V1, V2) al cabo de seis meses de infestación. Hubieron diferencias significativas entre colonias ( $F = 3.06$ ;  $gl = 52, 201$ ;  $P < 0.01$ ) y entre líneas ( $F = 5.32$ ;  $gl = 6, 201$ ;  $P < 0.01$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de las líneas, basadas en un análisis de varianza y pruebas de diferencias de medias mínimo cuadrados. Las pruebas estadísticas se realizaron con datos transformados, utilizando la función de Box y Cox. Los valores de la figura representa los datos no transformados ( $n=58$ ).



**Figura 4.** Porcentaje promedio ( $\pm$  D.E) de infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. en la cría durante cinco meses de muestreo. La población de ácaros creció significativamente mes a mes, con una alta variación entre colonias ( $F= 98.49$ ;  $gl= 4, 173$ ;  $P< 0.01$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas de las medias mensuales, basadas en un análisis de varianza y en pruebas de diferencias mínimo cuadradas. Las pruebas estadísticas se realizaron con datos transformados, utilizando la función de Box y Cox. Las medias y desviaciones estandar de la figura representan los valores no transformados.



**Figura 5.** Porcentaje promedio ( $\pm$  D.E.) de infestación de *Varroa jacobsoni* Oud. en abejas adultas de colonias seleccionadas como de baja ( $n=8$ ) y alta ( $n=8$ ) infestación. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los grupos basados en un prueba t-Student ( $t=8.48$ ;  $gl=14$ ;  $P<0.01$ ).





**Figura 6.** Número promedio ( $\pm$  D.E.) de ácaros *Varroa Jacobsoni* Oud. recolectados en charolas por semana y por colonia, para los grupos de alta (n=8) y baja (n=8) infestación en las pruebas de acicalamiento en las colonias. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos basados en una prueba t-Student ( $t= 2.41$ ;  $gl= 14$ ;  $P=0.03$ ).

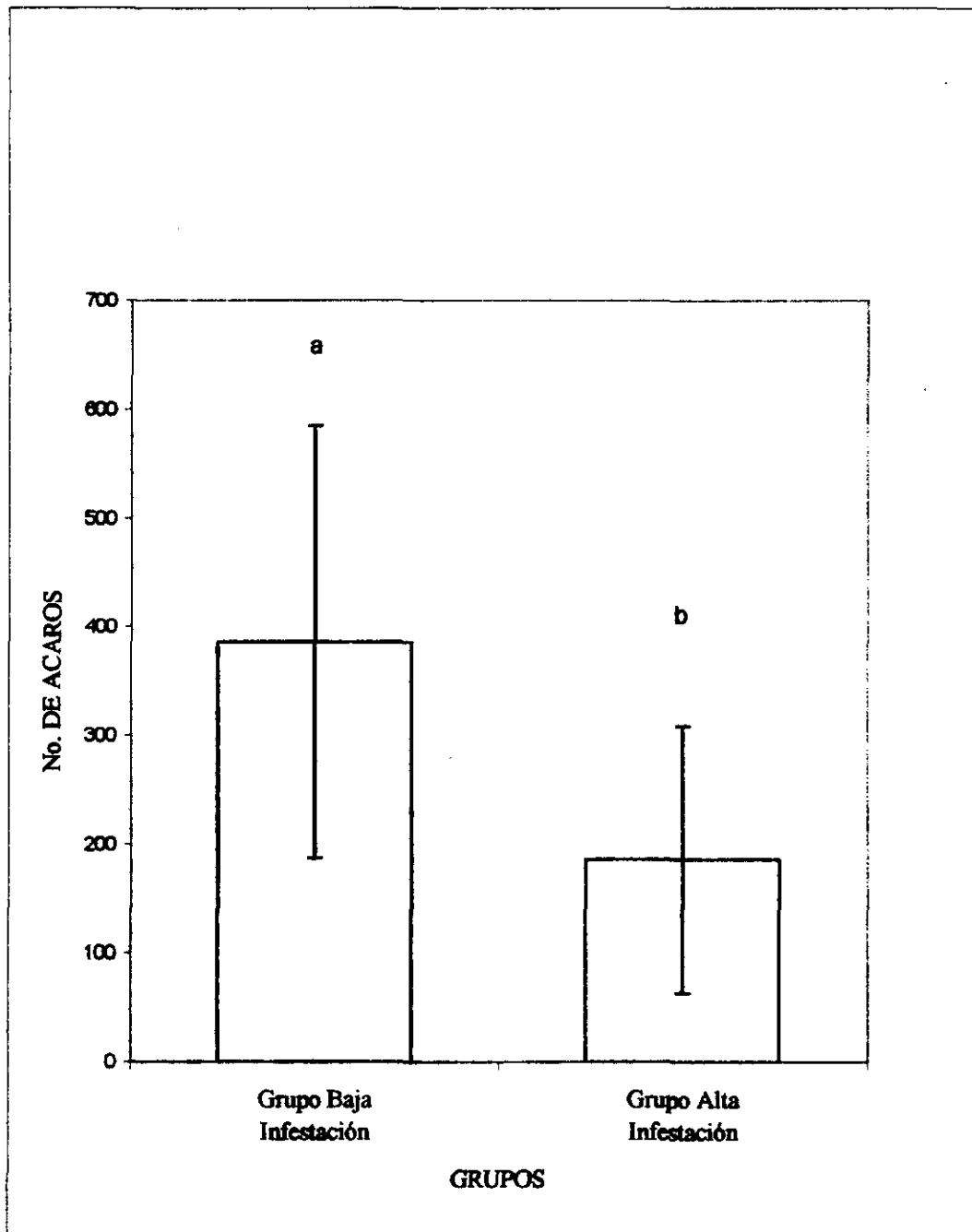
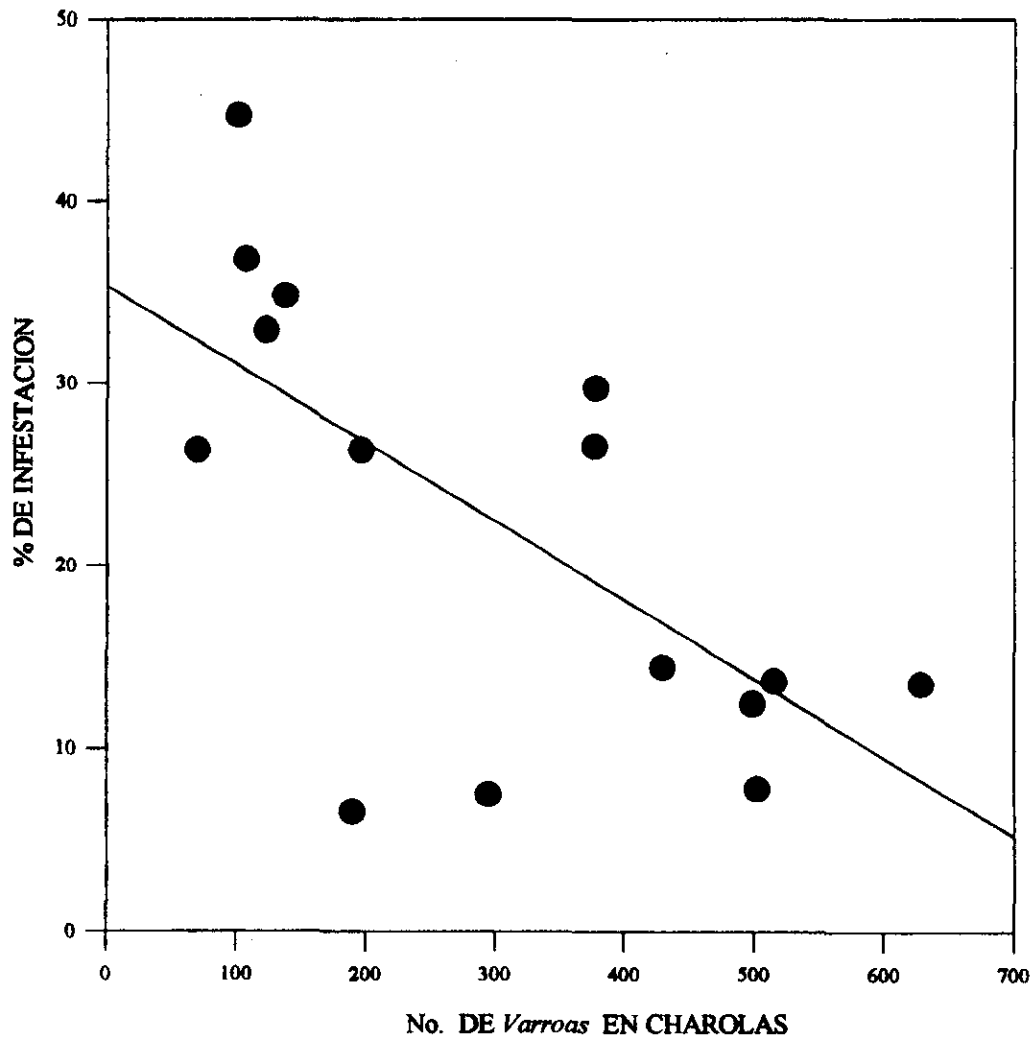


Fig. 7. Regresión entre el número de *Varroas* recuperadas en las pruebas de acicalamiento en las colmenas y el nivel de infestación final de las colonias seleccionadas ( $r^2 = 0.38$ ;  $P = 0.008$ ;  $n = 16$ ).



**Fig. 8.** Regresión entre el número de *Varroas* lesionadas en una muestra de 120 ácaros en las pruebas de acicalamiento en las colmenas y el nivel de infestación final de las colonias seleccionadas ( $r^2 = 0.54$ ;  $P < 0.0001$ ;  $n=16$ ).

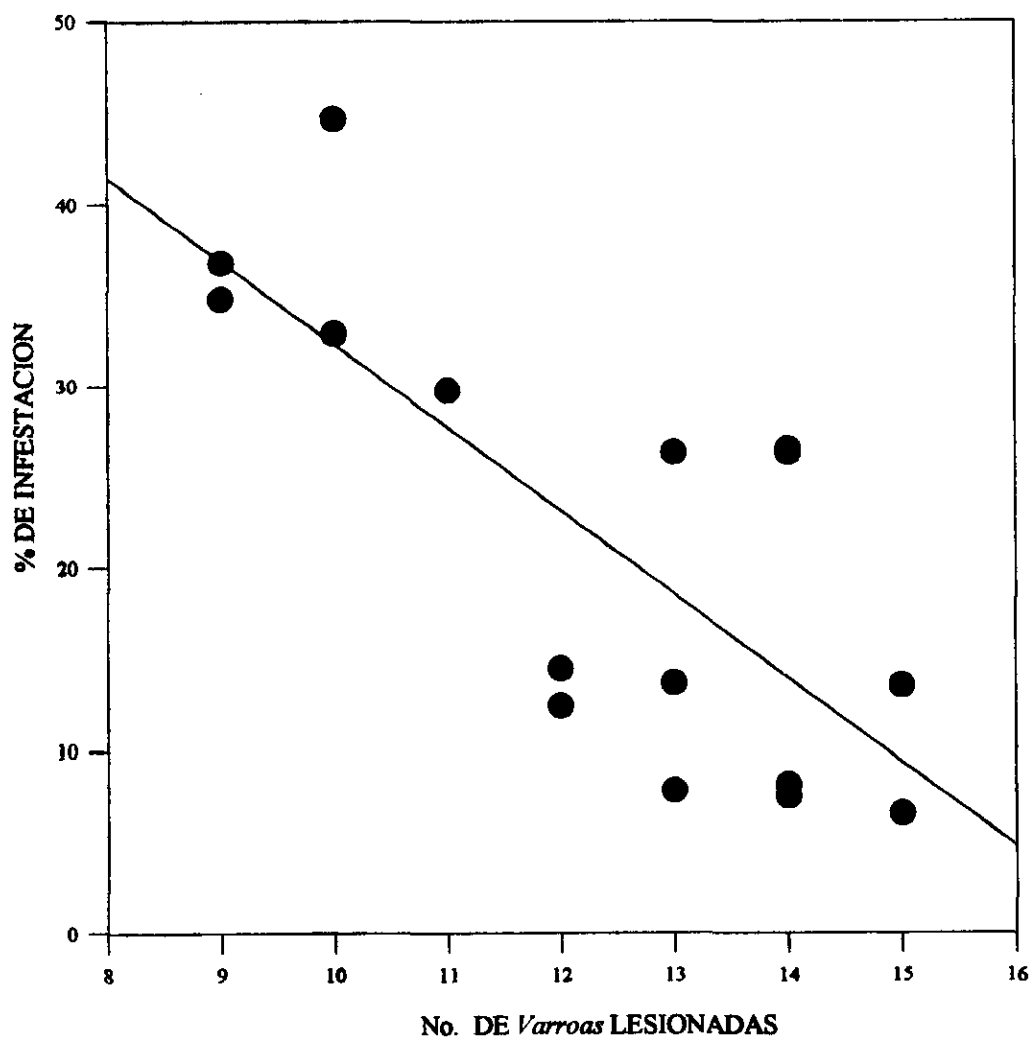
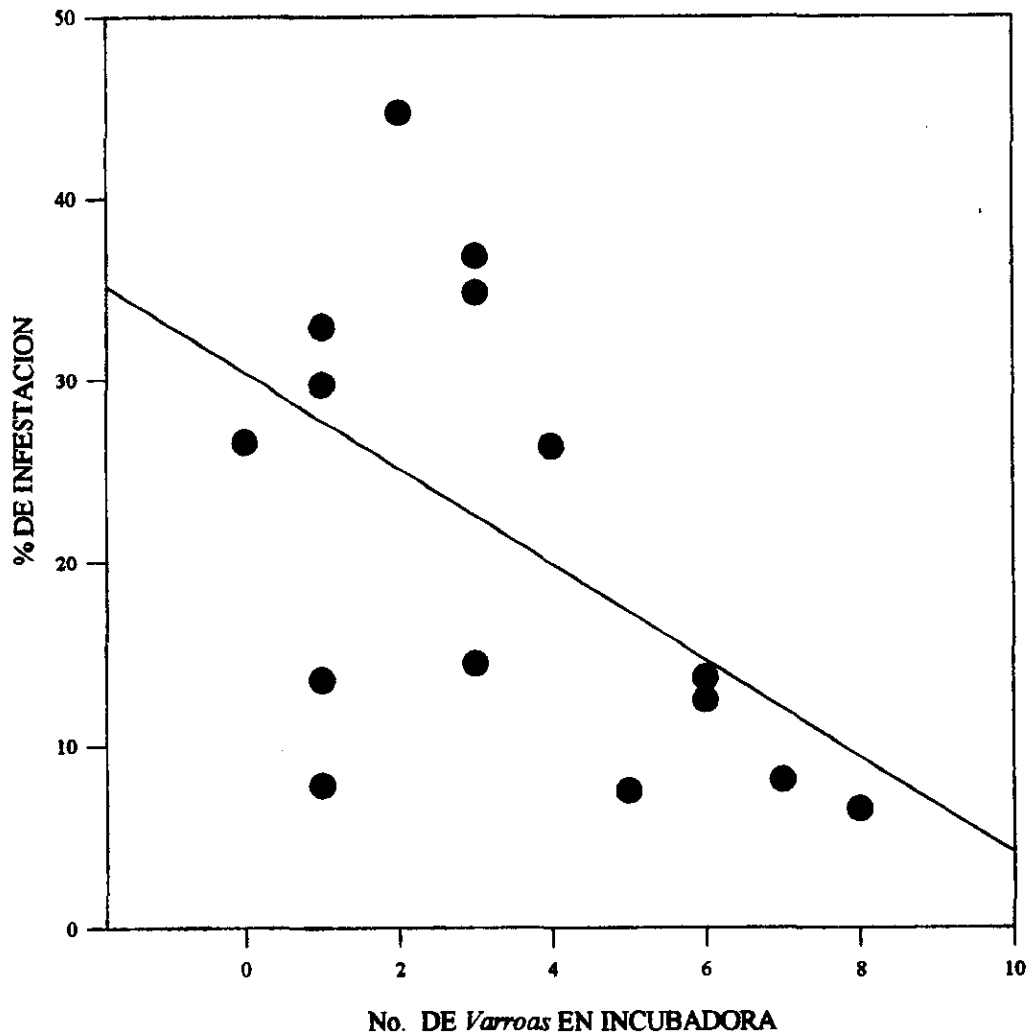
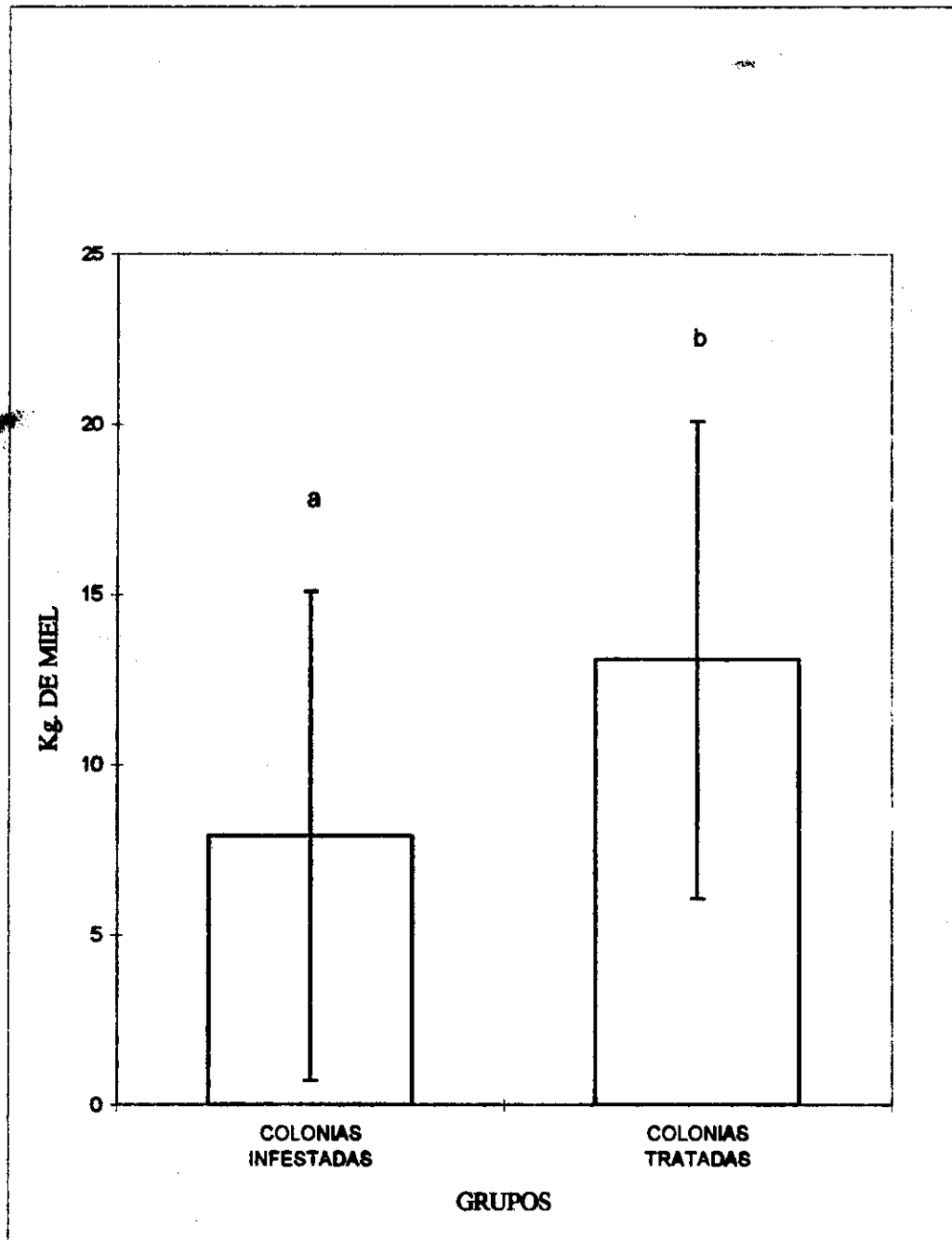


Fig. 9. Regresión entre el número de *Varroas* recuperadas en las pruebas de acicalamiento en la incubadora y el nivel de infestación final de las colonias seleccionadas ( $r^2= 0.22$ ;  $P= 0.04$ ;  $n=16$ ).



**Figura 10.** Producción promedio ( $Kg \pm D.E$ ) de miel producidos por las colonias infestadas ( $n=58$ ) y por las colonias tratadas ( $n=33$ ). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los dos grupos, basados en una prueba t-Student ( $t= 3.32$ ;  $gl= 89$ ;  $P< 0.01$ )



ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA