

Biología, historia, amenaza, monitoreo y control de la palomilla del nopal

Cactoblastis cactorum

The Biology, History, Threat, Surveillance and Control of the Cactus Moth





Biología, historia, amenaza, monitoreo y control de la palomilla del nopal

Cactoblastis cactorum

The Biology, History, Threat, Surveillance and Control of the Cactus Moth

H. Zimmermann

S. Bloem

H. Klein



Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture

OIEA Viena, OIEA/FAO
IAEA Vienna, IAEA/FAO-BSC/CM
junio/June 2007

IAEA officer responsible for the publication of the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture.
Walther Enkerlin

Coordinación/coordination
Mayra Pérez Sandi Cuen

Diseño y retoque digital de imágenes/Design & Image optimization
Roberto Ramos/robbramos@mac.com

Edición
Ek del Val



Prólogo

Las plagas invasoras exóticas amenazan y dañan de manera creciente la agricultura y el medio ambiente. En un mundo globalizado donde el turismo y el comercio internacional crecen con rapidez ha aumentado drásticamente el potencial para movilizar especies de plagas peligrosas a localidades y regiones geográficas nuevas. El Servicio de Inspección de Salud Animal y Vegetal (APHIS, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), reporta que el creciente flujo de pasajeros y carga es mucho mayor que las capacidades de inspección, a pesar de los aumentos en recursos económicos, personal y uso de tecnología. La amenaza potencial de bioterrorismo también se agrega a las complejidades para excluir a importantes especies de plagas exóticas.

La Convención de la Biodiversidad, la Convención Internacional para la Protección a las Plantas y otros tratados internacionales relacionados con otras especies invasoras exóticas, recomiendan prevenir la entrada de especies invasoras como una medida más factible económica y ambientalmente deseable, con respecto a otras medidas que deben tomarse una vez que esa clase de plagas ha logrado introducirse. Por lo tanto, la mitigación del riesgo en el punto de origen se recomienda como la medida más viable para la prevención y exclusión de plagas. En este sentido, es de gran importancia el identificar las plagas invasoras potenciales que son de alto riesgo, para poder desarrollar estrategias preventivas, de alerta y de respuesta apropiadas. Desafortunadamente, los sistemas de salvaguarda con frecuencia no son respetados, por lo que plagas exóticas invasoras importantes continúan entrando y dispersándose, aún en países como Australia,

Foreword

Alien invasive insect pests are increasingly threatening agriculture and the environment. In the context of the rapidly growing international travel and trade, the potential for moving dangerous pest species to new geographic regions and locations has been drastically increasing. The United States Department of Agriculture (USDA), Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) reports that the expanding flow of passengers and cargo is far outpacing the inspection capabilities despite increases in funding, staffing and use of technology. The potential threat of bioterrorism also adds to the complexities of excluding major foreign pest species.

The Convention of Biodiversity, the International Plant Protection Convention (IPPC) and other treaties that address alien invasive species, recommend prevention of entry as a more cost effective and environmentally desirable measure than other measures taken once introduction of an alien invasive species has occurred. In other words, offshore pest mitigation at the point of origin is recommended as the most viable approach to pest prevention and exclusion. In this approach, identifying potential invasive pests that are high risk so that appropriate preventive and preparedness strategies can be developed is of paramount importance. Unfortunately, safeguarding systems are often breached and invasive pests continue to enter and spread, even in countries such as Australia, Chile, Japan, New Zealand and the US, which are purported to have state-of-the-art quarantine systems in operation.

Once the establishment of an alien invasive species has been detected, the abovementioned

Chile, Japón, Nueva Zelanda y los Estados Unidos, a quienes se les atribuye tener los sistemas cuarentenarios más avanzados.

Una vez que se detecta el establecimiento de una plaga invasora exótica, las convenciones internacionales antes mencionadas urgen a los países para que den prioridad a su erradicación, sobre las medidas para su contención o manejo. Desde luego que la mejor oportunidad para erradicar las introducciones de especies exóticas invasoras es el período inmediato a la invasión, cuando las poblaciones son pequeñas y localizadas. Sin embargo, en muchas ocasiones no se tienen disponibles las estrategias apropiadas de respuesta ni las herramientas para erradicar brotes de plagas invasoras, obligando a los países a utilizar medidas de contención o de control. Además, algunos de los métodos existentes para erradicación son controversiales o están en riesgo de ser eliminados como resultado de leyes como la Ley de Protección a la Calidad de los Alimentos (FQPA, por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos.

La Técnica del Insecto Estéril (TIE), es compatible con el medio ambiente y su efectividad se incrementa de manera exponencial al ir reduciendo la densidad de la plaga y es especialmente apropiada para manejar poblaciones de plagas invasoras exóticas. Por lo tanto, es considerada como la herramienta ideal para complementar las acciones dirigidas a eliminar las primeras poblaciones de insectos invasores. Ejemplos exitosos de la aplicación integrada de la TIE en este contexto, incluyen la erradicación del gusano barrenador del ganado del Nuevo Mundo en Libia Árabe Jamahiriya y de la mosca del Mediterráneo en California y Florida. Australia ha invertido esfuerzos considerables en el desarrollo de la TIE para el gusano barrenador del ganado del Viejo Mundo, y poder así, hacer frente a brotes potenciales de esta plaga, la cual podría ocasionar gran daño económico a su industria ganadera en caso de que llegara a establecerse. California tiene

international conventions urge countries to give priority to eradication over containment or management measures. Of course, the best opportunity for eradicating introductions of invasive species is during the early stages of invasion, when populations are small and localized. However, appropriate response strategies and tools are in many cases not available to eradicate outbreaks, thus forcing countries to employ containment or mitigation measures against the invader. Moreover, some of the existing eradication methods are somewhat controversial or at risk of being phased-out as a result of laws like the Food Quality Protection Act (FQPA) in the US.

The Sterile Insect Technique (SIT), being environment-friendly and acting in an inversely density dependent manner is therefore optimally suited to deal with invasive pests to eliminate beachheads of alien insect invasions. Examples of successful application of SIT in such a context include the eradication of the New World screwworm from Libyan Arab Jamahiriya, and of medfly in California and Florida. Australia has invested considerable effort in developing the SIT for the Old World screwworm to be able to address potential outbreaks of this insect, which would cause major economic damage to the livestock industry in case of establishment. California has stand-by contracts in place for the provision of sterile flies of various species of *Anastrepha* fruit flies, and New Zealand, being fruit fly-free, has considered a similar approach to be able to procure sterile flies in case of outbreaks.

Unfortunately, SIT methodologies have not been developed for many of the major invasive pest species for which it could play an important role in eradicating incipient outbreaks. The Entomological Society of America Exotic Pest Arthropod List prepared for USDA-APHIS, highlights 100 high-risk pests for U. S. agriculture. Close to fifty percent of this list are species belonging to the order Lepidoptera. Many

en vigor varios contratos para la provisión de insectos estériles de varias especies de moscas de la fruta del género *Anastrepha*, y Nueva Zelanda, estando libre de esta plaga, ha considerado un enfoque similar para poder obtener moscas estériles en caso de brotes.

Desafortunadamente las metodologías de la TIE no han sido desarrolladas para erradicar brotes de muchas de las principales especies de plagas invasoras exóticas, en las cuales tendrían un papel muy importante. En la Lista de Plagas Exóticas de Artrópodos de USDA-APHIS para los Estados Unidos, en la que sobresalen 100 plagas de alto riesgo, casi el cincuenta por ciento de esta lista con “lo peor de lo peor” es del orden Lepidoptera. Muchos de estos lepidópteros no sólo son una amenaza para los Estados Unidos, sino también para muchas otras regiones del mundo. Sin embargo, en la mayoría de los casos aún falta investigación para desarrollar la TIE para especies de lepidópteros considerados plagas exóticas de alto riesgo.

Se requieren esfuerzos cooperativos para desarrollar, de manera anticipada a la introducción de estas plagas, estrategias apropiadas de respuesta que podrían incluir tecnologías utilizando insectos estériles para su erradicación. Una de estas plagas es la palomilla del nopal, *Cactoblastis cactorum* (Pyrilidae). Conocida como el mejor ejemplo de control biológico de malezas en Australia y otras partes del mundo, fue detectada en Florida en 1989 y sus poblaciones se han ido expandiendo rápidamente a lo largo de la costa del Atlántico y el Golfo de México. Desgraciadamente en julio 2006 también fue descubierta una población bien establecida de la palomilla del nopal en Isla Mujeres e isla Contoy en la Costa de Cancún, México, y esto es motivo de gran preocupación. *C. cactorum* está considerada ahora como una seria amenaza a la gran diversidad de especies de *Opuntia* (nopales) nativas o cultivadas en todo el mundo. Su introducción intencional en el Caribe y su rápido ritmo de expansión en el sureste de los Estados Unidos, representa una amenaza inmi-

of these are not only a threat to the USA but also to other regions of the world. Nevertheless, research to develop SIT for these high risk pests is generally lacking.

Cooperative efforts are needed to develop appropriate response strategies that could include eradication technologies well in advance of lepidopteran pest introductions. One example is the cactus moth, *Cactoblastis cactorum* (Pyrilidae). Known as the textbook example of successful biological control of weeds in Australia, it was detected in the USA in Florida in 1989 and has rapidly expanded its range along the Atlantic coast and the Gulf of Mexico. The recent discovery of an incipient population of the cactus moth on the islands of Isla Mujeres and Contoy, offshore from Cancun in Mexico, is a matter of great concern. *C. cactorum* is considered a serious threat to the diversity of *Opuntia* species throughout much of the world, both native and cultivated. Its intentional introduction to the Caribbean and its rapidly expanding range in the southeastern USA represents an imminent threat to areas in the south-western USA, Mexico and Central America where *Opuntia* cacti are regarded as extremely important components of the habitat, especially in arid and semi-arid regions. These plants play a major role in subsistence and commercial agriculture, in maintaining ecological balance, and in soil conservation. As a result of worldwide increases in *Opuntia* cultivation and increased reliance on *Opuntia* as a source of food and income from its products, the invasion by *C. cactorum* has the potential to negatively impact subsistence farmers in many areas of the world.

Furthermore, impacts on biodiversity where *Opuntia* are dominant components of the vegetation also loom large. The critical nature of this threat, and the timing and scale of the likely responses needed, requires immediate action. Although the emphasis of an intervention campaign may initially focus on

nente a regiones en el suroeste de Estados Unidos, México, América central, donde las especies de *Opuntia* son consideradas plantas extremadamente importantes. Estas plantas tienen un papel fundamental en la agricultura comercial y de subsistencia, para mantener el equilibrio ecológico en las zonas áridas y semi áridas y en la conservación de suelos. Como resultado de los aumentos en las plantaciones de *Opuntia* en todo el mundo, y la mayor dependencia de los nopales como fuente de alimento y de ingresos por sus productos. La invasión de *C. cactorum* tiene el potencial de impactar a miles de agricultores de subsistencia en Centroamérica y Sudamérica, en el Mediterráneo, en el Norte de África y en otros países.

Además, también cobran importancia los impactos en la biodiversidad y los ecosistemas donde las especies de *Opuntia* son los componentes dominantes de la vegetación. La naturaleza crítica de esta amenaza, así como la coordinación y el tamaño plausible de las respuestas requeridas exigen acción inmediata. Aunque la campaña de intervención puede enfocarse inicialmente en México, Cuba, otras islas del Caribe y los Estados Unidos, esto no significa que la amenaza sea menos importante en otros países. Cualquier programa efectivo del control de la contingencia necesitará ser enfocado a escala regional y quizá a escala interregional.

Para resaltar la importancia de esta plaga y analizar la efectividad potencial de la TIE en el control de esta especie invasora exótica, la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) de la Organización de las Naciones Unidas, patrocinaron una reunión de análisis, planeación y coordinación, que incluyó a representantes de algunas organizaciones ambientalistas clave. Los participantes en la reunión evaluaron el papel que la TIE (incluyendo la esterilidad F_1), pudiera jugar para enfrentar la invasión de la palomilla del nopal, como un

Mexico, Cuba, other Caribbean islands and the USA, this does not mean that the threat is less important in other countries. Any effective contingency/control program will need to be approached on a regional or interregional scale.

To increase awareness of this major environmental threat and of the potential benefits of using SIT to address the management of invasive species, the FAO and IAEA hosted a planning and co-ordination meeting that included scientists and representatives of key environmental organizations. The participants assessed the role that SIT could play in addressing the cactus moth invasion as a model for invasive pests affecting both agriculture and the environment. We foresee an increasing role of SIT in suppression of alien invasive species which will benefit the FAO and IAEA member states in dealing with outbreaks of such pests.

This publication on *Cactoblastis* was funded by the IAEA and summarizes the current knowledge on the history, biology, threats, surveillance and control of this insect. It is part of a wider campaign to draw attention to the threat of *Cactoblastis* to the *Opuntia* of North America with emphasis on Mexico and the USA

The IAEA is grateful to H.G. Zimmermann (Helmuth Zimmermann & Associates, Pretoria, South Africa), S. Bloem (Centre for Biological Control, Florida A&M University, Tallahassee, Florida, US) and H. Klein (ARC-Plant Protection Research Institute, Pretoria, South Africa) for drafting this publication and for the updated in the second edition. This work is unique and represents a major contribution to the cactus moth problem worldwide.

The IAEA also wishes to thank: K.A. Bloem (USDA-APHIS-PPQ-CPHST, Raleigh, NC),

modelo de control para plagas invasoras exóticas que afectan no sólo a la agricultura sino en general al medio ambiente. Se contempla una mayor participación en el uso de la TIE para controlar plagas invasoras exóticas, lo cual ayudará a los Estados miembros de la FAO y del OIEA a enfrentar la amenaza de brotes de estas plagas.

Esta publicación sobre *Cactoblastis* fue patrocinada por el OIEA y resume el conocimiento actual sobre la historia, biología, peligros, monitoreo y control de este insecto. Es parte de una campaña de concienciación más amplia, para llamar la atención sobre la amenaza de *Cactoblastis* a las *Opuntia* de América del Norte, con énfasis en México y los Estados Unidos.

El OIEA agradece a H.G. Zimmermann (Helmuth Zimmermann & Associates, Pretoria, Sudáfrica), S. Bloem (Center for Biological Control, Florida A&M University, Tallahassee, Florida, Estados Unidos) y H. Klein (ARC-Plant Protection Research Institute, Pretoria, Sudáfrica) por la preparación de esta publicación y por la actualización para la segunda edición. Este trabajo es único y representa una contribución importante para el problema de la palomilla del nopal en todo el mundo.

El OIEA también desea agradecer: K. A. Bloem (USDA-APHIS-PPQ-CPHST, Raleigh, NC), S. D. Hight (USDA-ARS, Tallase, FL), J. E. Carpenter (USDA-ARS, Tifton, GA), J. R. Hosking (Departamento de Agricultura, NSW, Australia), M. Pérez Sandi Cuen (ARIDAMERICA, México), a B. Grobbelaar y F. Heystek (ARC-Plant Protection Research Institute, Pretoria, Sudáfrica), J. H. Hoffmann (University of Cape Town, Sudáfrica) y H.G. Robertson (South African Museum, Cape Town). Ignacio March (The Nature Conservancy). Por las fotografías de *Cactoblastis* y sus depredadores, a P. Stiling (Universidad de Florida del Sur), por la fotografía del cactus semáforo, a Diana Wagner

S. D. Hight (USDA-ARS, Tallahassee, FL), J. E. Carpenter (USDA-ARS, Tifton, GA), J. R. Hosking (Dept. Agriculture, NSW, Australia), M. Pérez Sandi Cuen (ARIDAMERICA, Mexico), as well as B. Grobbelaar and F. Heystek (ARC-Plant Protection Research Institute, Pretoria, South Africa) and J.H. Hoffmann (University of Cape Town, South Africa). Ignacio March (The Nature Conservancy). H.G. Robertson (South African Museum, Cape Town) for photographs of *Cactoblastis* and its predators, P. Stiling (University of South Florida, Tampa, Florida, US) for a photograph of the semaphore cactus; Diana Wagner (Chile), for a photograph of egg stick; Raimundo Garcia, for a photograph of the young opuntia leaf pads (nopalitos) in supermarket; Norma Suárez, for cochineal photographs, and M. Pérez Sandi Cuen and Arturo Bello Rivera for Caribbean photographs.

The IAEA officer responsible for this publication was W. Enkerlin of the Joint FAO/IAEA Program of Nuclear Techniques in Food and Agriculture.

Editorial note

The use of particular designations of countries or territories does not imply any judgement by the publisher, the IAEA, as to the legal status of such countries or territories, of their authorities and institutions or of the delimitation of their boundaries.

The mention of names of specific companies or products (whether or not indicated as registered) does not imply any intention to infringe proprietary rights, nor should it be construed as an endorsement or recommendation on the part of the IAEA.

(Chile), por la fotografía del bastón de huevecillos de *C. cactorum* a Raimundo García, por la fotografía de nopales en supermercado a Norma Suárez, por las fotografías de la cochinilla y a M. Pérez Sandi Cuen y Arturo Bello Rivera por las fotografías del Caribe.

El funcionario del OIEA responsable de la publicación fue W. Enkerlin del Programa Conjunto FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en Alimentación y Agricultura (Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture).

Nota editorial

El uso de asignaciones particulares de países y territorios no implica algún juicio por parte del editor, el OIEA, respecto al estatus legal de dichos países y territorios, de sus autoridades o instituciones o de los límites de sus fronteras.

La mención de nombres específicos de compañías o productos (independientemente de si se han indicado como registrados) no implica alguna intención de usurpar derechos de propiedad, ni deberá ser considerado como un endoso o recomendación por parte del OIEA.



Índice | Contents

Introducción Introduction	13
Capítulo 1 Chapter 1	
Situación taxonómica de <i>Cactoblastis cactorum</i> Taxonomic status of <i>Cactoblastis cactorum</i>	17
Capítulo 2 Chapter 2	
Biología de <i>Cactoblastis cactorum</i> The biology of <i>Cactoblastis cactorum</i>	23
Capítulo 3 Chapter 3	
Plantas hospederas de <i>Cactoblastis cactorum</i> Host plants of <i>Cactoblastis cactorum</i>	33
Capítulo 4 Chapter 4	
La historia de <i>Cactoblastis cactorum</i> como agente de biocontrol The history of <i>Cactoblastis cactorum</i> as a biological control agent	43
Capítulo 5 Chapter 5	
<i>Cactoblastis cactorum</i> como amenaza <i>Cactoblastis cactorum</i> as a threat	59
Capítulo 6 Chapter 6	
Monitoreo y control de <i>Cactoblastis cactorum</i> Surveillance and control of <i>Cactoblastis cactorum</i>	69
Conclusiones Conclusions	87
Referencias References	91



Introducción

Cactoblastis cactorum (*Cactoblastis*) adquirió fama por su contribución al control espectacular de varias especies invasoras de *Opuntia*, particularmente en Australia, donde destruyó 25 millones de hectáreas de terrenos invadidos por la especie *Opuntia stricta*. En la actualidad el “Cactoblastis Memorial Hall” (Fig. 1) y el “Cactoblastis Cairn” en Queensland, son monumentos erigidos para celebrar estos notables sucesos. Aunque en menor grado, este éxito fue repetido en Sudáfrica y en las islas de Sotavento del grupo de islas del Caribe. Lo que no se previó en aquel tiempo fue la dispersión natural, accidental y posiblemente deliberada del insecto a todas las islas del Caribe, lo que condujo a su llegada inesperada a Florida alrededor de 1989 a Isla Mujeres, cerca de Cancún, México, 2006 y a isla Contoy, mayo 2007. Dos adultos se encontraron en trampas en enero de 2007 en Cancún, México. Se encontraron seis adultos en trampas de feromonas en enero-febrero de 2007 en Cancún, México.

Las primeras señales de alarma anunciando este acontecimiento vinieron de Habeck y Bennett (1990), Dickle (1991), y de Pemberton (1995). Pero no fue sino hasta las publicaciones de Johnson y Stiling (1996 y 1998) y de Zimmermann y Pérez Sandi Cuen (1999), que las autoridades reconocieron el inminente desastre si la palomilla del nopal llegara a México y amenace la mayor diversidad de *Opuntias* en el mundo (Fig. 2). Las consecuencias de una repetición en México de la experiencia de Australia y del Caribe, serían inimaginables. La rápida dispersión de *C. cactorum* a lo largo de la costa de Flo-

Introduction

Cactoblastis cactorum (*Cactoblastis*) has become famous for its contribution to the spectacular control of various invasive *Opuntia* species, notably in Australia where it has cleared 25 million hectares of land invaded by *Opuntia stricta*. Today, the “Cactoblastis Memorial Hall” (Fig.1) and the “Cactoblastis Cairn” in Queensland are amongst the memorabilia celebrating these remarkable events. This success was replicated, to a lesser extent, in South Africa and more so in the Leeward Island group of the Caribbean Islands. What was not foreseen at that time was the natural, accidental and possibly deliberate spread of the insect throughout the Caribbean Islands, which would lead to its unexpected arrival in Florida around 1989, in Isla Mujeres near Cancun, Mexico, in 2006 and in Isla Contoy in May 2007. Two adults were also found in pheromone traps in January 2007 in Cancun, Mexico. Six adults were also found in pheromone traps in January-February 2007 in Cancun, Mexico

The first alarm signals announcing this event came from Habeck & Bennett (1990) and Dickle (1991), and from Pemberton (1995). But it was not until the publications by Johnson & Stiling (1996; 1998), and of Zimmermann & Pérez Sandi Cuen (1999), that the authorities recognized the imminent disaster in

the event of the cactus moth’s arrival in Mexico where it threatens the largest diversity of *Opuntiae* in the World (Fig. 2). A recurrence of the Australian and Caribbean experience in Mexico was unthinkable. Furthermore, the extremely rapid dispersal of



Fig. 1. Boonarga Memorial Hall en Australia, en honor de *Cactoblastis*
Boonarga Memorial Hall in Australia, in honour of *Cactoblastis*

Fig. 2. *Opuntia mexicana* nativa
Native Mexican *Opuntia*



rida durante los últimos diez años, también ha hecho ver la necesidad de detener el avance de la palomilla (Hight *et al.* 2002).

La primera iniciativa vino del Instituto Nacional de Control Biológico de USDA-APHIS y de la Sociedad Americana de Cactáceas y Suculentas, cuando un grupo de entomólogos interesados patrocinaron el primer taller sobre *Cactoblastis* en Tampa, Florida, en septiembre de 2000. A este evento fueron invitados varios especialistas en *Cactoblastis* y en cactáceas. Sus contribuciones fueron publicadas en el volumen 84 núm. 4 de Florida Entomologist en 2001.

Las siguientes preguntas surgieron en el taller y fueron parcialmente contestadas:

- ¿Qué tan lejos podrá expandir *Cactoblastis* su campo de acción?
- ¿Cómo afectará a las poblaciones naturales de *Opuntia* spp. y demás especies de plantas y animales que dependen de este recurso?
- ¿Cómo impactará los usos agrícolas y hortícolas del nopal?
- ¿Cómo puede ser controlada?
- ¿Cómo transformará esta situación a la ciencia del control biológico clásico y a su aplicación, especialmente en el caso de las malezas?

El primer compromiso internacional adquirido fue cuando el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, por sus siglas en inglés) reconoció el potencial de la Técnica del Insecto Estéril (TIE) incluyendo la esterilidad heredada (o F_1) (Carpenter *et al.* 2001a), para detener la dispersión de *Cactoblastis*. Este organismo financió un encuentro internacional de expertos y diversas actividades orientadas al desarrollo de la TIE/ F_1 para su uso contra *Cactoblastis*. El gobierno mexicano (a través de la SAGARPA y la CONABIO), en colaboración y con el apoyo del OIEA y de la FAO, iniciaron una campaña para

C. cactorum along the Florida coast over the past ten years also brought home the necessity of halting the continued dispersal of the moth (Hight *et al.* 2002).

The first initiative came from concerned entomologists from the USDA-APHIS National Biological Control Institute and the Cactus and Succulent Society of America, who co-funded the first workshop on *Cactoblastis* in Tampa, Florida, in September 2000. Several specialists on *Cactoblastis* and on the Cactaceae were invited, and their contributions were published in volume 84 no. 4 of Florida Entomologist, 2001.

The questions that were raised and which were only partially answered were:

- How far is *Cactoblastis* likely to expand its range?
- How will it affect natural stands of *Opuntia* spp. and other species of plants and animals that depend on this resource?
- How will it affect the agricultural and horticultural uses of prickly pear?
- How can it be controlled?
- How will this situation affect the science and application of classical biological control, particularly of weeds?

The first international involvement in the project came when the International Atomic Energy Agency (IAEA) recognized the potential of inherited (or F_1) sterility, a modification of SIT, (Carpenter *et al.* 2001a) in managing the spread of *Cactoblastis*. They supported research, an international consultants meeting and

alertar a los interesados y funcionarios fitosanitarios en México, y recientemente en países vecinos, sobre los daños de la palomilla del nopal y la importancia de su detección temprana y control oportuno. Estas actividades son encomiables y muy estimulantes; y se espera que pronto habrá más apoyo internacional, para continuar con este proyecto de prevención y control de *Cactoblastis* copatrocinado por USDA-APHIS (Estados Unidos) y SAGARPA (México) bajo un Acuerdo Cooperativo entre ambos gobiernos, facilitado a través de la Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (NAPPO, por sus siglas en inglés). Este importante acuerdo continuará con las investigaciones necesarias (Bloem *et al.* 2006).

Es urgente que se realicen investigaciones para llenar algunas lagunas en nuestro conocimiento sobre *C. cactorum*, incluyendo el perfeccionamiento de la aplicación de la TIE/F₁, predicciones más exactas de su impacto potencial sobre las especies de *Opuntia* nativas y cultivadas en México y los Estados Unidos, y de la tasa de dispersión esperada en América del Norte y en el Caribe. Para este fin, debe recurrirse a todo el conocimiento disponible sobre *Cactoblastis*, incluyendo las investigaciones realizadas en países como Argentina, Australia y Sudáfrica.

Actualmente se dispone de la feromona sexual de *Cactoblastis* sintetizada artificialmente para usarla como herramienta de monitoreo y detección. La técnica de producción artificial y masiva del insecto está siendo perfeccionada en los Estados Unidos. Por último la dosis óptima de radiación para esterilizar a la palomilla del nopal se ha determinado (Carpenter *et al.* 2001b). Actualmente se valida en campo en Estados Unidos la TIE/F₁, lo cual pudiera resultar en la prevención de ulteriores expansiones geográficas de la plaga. El uso de la TIE/F₁ también está siendo evaluada para determinar las eventuales hospederas, el alcance geográfico, y para determinar la dispersión de este insecto invasor (Bloem *et al.* 2005a; Hight *et al.* 2005).

several activities aimed at evaluating the feasibility of F₁ sterility for this purpose. The Mexican Government (through SAGARPA and CONABIO), in collaboration with, and with support from IAEA and FAO, initiated a rigorous campaign to alert all stakeholders and phytosanitary officers in Mexico and recently also of neighbouring countries to the dangers of the cactus moth and to the importance of early detection and control. These activities are most commendable and encouraging and even more so was the recent signing of a Binational Cooperative Agreement on *Cactoblastis* between Mexico (Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentacion (SAGARPA) and the USDA-APHIS through the North American Plant Protection Organization (NAPPO). This important agreement will carry this project forward (Bloem *et al.* 2006).

Urgent research is needed to address our current knowledge gaps on *C. cactorum*, including the refinement of the application of the F₁ sterility, more accurate predictions of its potential impact on cultivated and native *Opuntia* species in Mexico and the USA, and of its expected rate of dispersal in North America and in the Caribbean. To this end, all knowledge concerning *Cactoblastis* that is available elsewhere, e.g. in Australia, Argentina and South Africa, has to be drawn upon.

Currently, a synthetic sex pheromone of *Cactoblastis* is being refined and tested and will soon be available for use as a monitoring tool. In addition, mass rearing methods for *Cactoblastis* on artificial diet are being improved in the United States. Lastly, the radiation biology for the cactus moth has been determined (Carpenter *et al.* 2001b) and SIT/F₁ sterility program is currently field tested that may result in preventing further geographical expansion of this moth. F₁ sterility is also being used as a tool to determine the eventual host and geographical range and to study the rate of spread of this invading insect (Bloem *et al.* 2005a; Hight *et al.* 2005).



Fig. 3. Larva de *Cactoblastis cactorum*
Cactoblastis cactorum larva

Capítulo 1

Situación taxonómica de *Cactoblastis cactorum*

Pyralidae que se alimentan de especies de *Opuntia*

La subfamilia Phycitinae de la familia Pyralidae tiene alrededor de 20 géneros, con no menos de 58 especies, los cuales están asociados exclusivamente con la familia Cactaceae. *Cactoblastis* es uno de estos géneros. Excepto por el género *Ozamia*, que se encuentra en todo el continente americano, todos los géneros están geográficamente aislados ya sea en el norte o en el sur. *Cactoblastis* es un género encontrado solo en Sudamérica y sus equivalentes en el norte son los géneros *Melitara* y *Olycella*, con patrones de alimentación y biología similares, excepto que el color de sus larvas oscila entre el azul-gris y el azul (Fig. 4), en contraste con *Cactoblastis*, cuyas especies tienen larvas color naranja con bandas negras transversales (Fig. 3) (Mann 1970; Zimmermann & Granata 2002).

El género *Cactoblastis*

Hay cinco especies descritas en el género *Cactoblastis*: *C. cactorum*, *C. bucyrus*, *C. mundelli*, *C. doddi* y *C. ronnai*. Todas ellas están confinadas a la parte sur de Sudamérica, del sur de Perú a Bolivia, Paraguay, Uruguay, Argentina y el sur de Brasil. La validez taxonómica de *C. ronnai* es dudosa. Las especies pueden distinguirse por sus genitales, y por los patrones y coloración de sus alas (Heinrich 1939). Con la excepción de *C. cactorum*, que tiene un amplio rango de hospederas entre las Opuntioidea, todas las especies tienen rangos de hospederas muy restringidos y distribuciones limitadas. Las hospederas incluyen

Chapter 1

Taxonomic status of *Cactoblastis cactorum*

The cactus-feeding Pyralidae

The sub-family Phycitinae of the family Pyralidae has about 20 genera with no fewer than 58 species, which are associated exclusively with the Cactaceae. *Cactoblastis* is one of these genera. Except for the genus *Ozamia*, which is found in North and South America, all genera are geographically isolated, either in the north or in the south. *Cactoblastis* is a genus found only in South America and its equivalents in the north are the genera *Melitara* and *Olycella*. These genera have similar feeding patterns and biologies except that the colour of their larvae is mainly gray-blue to blue (Fig. 4) in contrast to *Cactoblastis*, all of whose species have orange coloured larvae with black transverse bands (Fig. 3) (Mann 1970; Zimmermann & Granata 2002).

The genus *Cactoblastis*

There are five described species in the genus *Cactoblastis*: *C. cactorum*, *C. bucyrus*, *C. mundelli*, *C. doddi* and *C. ronnai*. All of these are confined to the southern



Fig. 4. Larvas de *Olycella* sp.
Olycella sp. larvae



Fig. 5. Distribución nativa de *C. cactorum* en Sudamérica
The native distribution of *C. cactorum* in South America

especies en el género *Cylindropuntia* (para *C. mundelli*), *Cereus* (para *C. bucyrus*) y *Harrisia* (*Eriocereus*) (para *C. cactorum* tipo F) (McFadyen 1985), algunas especies de *Opuntia* (para *C. doddi*) y muchas especies de *Opuntia* (para *C. cactorum*).

Cactoblastis cactorum **Diferencias subespecíficas**

Los muestreos de insectos que se alimentan de nopales durante la década de los años 80 del siglo XX, revelaron la posible existencia, dentro de la especie *C. cactorum*, de cinco biotipos, sub-especies o aún especies independientes adaptadas a ciertas hospederas (McFadyen 1985). Estas diferencias se basan en el tipo de hospederas y en los patrones de color de sus larvas maduras. Se necesitan comparaciones de secuencias de ADN y estudios detallados del rango de hospederas para todos los taxa, con el fin de determinar la verdadera identidad taxonómica y la relación de todas las especies propuestas y descritas en el género *Cactoblastis*.

part of South America, from southern Peru to Bolivia, Paraguay, Uruguay, Argentina and southern Brazil. The taxonomic status of *C. ronnai* is doubtful. The species can be distinguished by their genitalia, wing patterns and wing coloration (Heinrich 1939). With the exception of *C. cactorum*, which has a wide host-range within the Opuntioidea, all remaining species have very restricted host ranges and limited distributions. Hosts include species in the genera *Cylindropuntia*, (for *C. mundelli*), *Cereus* (for *C. bucyrus*) and *Harrisia* (*Eriocereus*) (for *C. cactorum* type F) (McFadyen 1985), a few species in *Opuntia* (for *C. doddi*) and many species of *Opuntia* (for *C. cactorum*).

Cactoblastis cactorum **Subspecific differences**

Surveys for cactus-feeding insects conducted in the 80's revealed the possible existence of five host-adapted biotypes, sub-species or even separate, independent species within *C. cactorum* (McFadyen 1985). These differences are based on host range and colour patterns of the mature larvae. DNA sequencing and detailed host range studies of all taxa will be needed to determine the true status and relationship of all the described and proposed entities in the genus *Cactoblastis*.

Origin of exported *Cactoblastis cactorum* stock

Cactoblastis cactorum occurs naturally in the northern parts of Argentina, in Uruguay and Paraguay and in the southern parts of Brazil (Fig. 5) (Mann 1969). The *Cactoblastis cactorum* stock introduced into Australia and South Africa, and from there to the Caribbean Islands (see Chapter 4), was collected from *Opuntia delaetiana* (now known as *O. paraguayensis*) (R. Kiesling pers. comm.) and from an *Opuntia* species of the "monacantha" group (Fig. 6) (McFadyen 1985). This species is restricted to the

Origen de la población exportada de *Cactoblastis cactorum*

Cactoblastis cactorum se encuentra en forma natural en el norte de Argentina, Uruguay, Paraguay y el sur de Brasil (Fig. 5) (Mann 1969). La población de *Cactoblastis* introducida a Australia y a Sudáfrica, y de allí a las islas del Caribe (ver Capítulo 4), fue recolectada sobre la especie de *Opuntia delataetiana* (también conocida como *O. paraguayensis*) (R. Kiesling com. pers.) y sobre una especie de *Opuntia* del grupo "monacantha" (Fig. 6) (McFadyen 1985). *Cactoblastis cactorum* está restringida al género *Opuntia*, pero tiene un amplio rango de hospederas dentro de este género en su área geográfica nativa. También acepta fácilmente a muchas especies de *Opuntia* de América del Norte y fue responsable del control espectacular de varias especies invasoras de *Opuntia* en diversos países (Moran y Zimmermann 1984; Julien y Griffiths 1998). Todas las poblaciones fuera de Argentina se originaron de esta primera introducción a Australia en 1925, que comprendió alrededor de 2,750 huevecillos. Introducciones previas y subsecuentes de *Cactoblastis* spp. de Argentina a Australia y Sudáfrica no lograron establecerse (McFadyen 1985).

Palomilla

Las palomillas adultas (Fig. 7) son apenas visibles debido a su capacidad para camuflarse en la superficie de reposo, sus alas anteriores son de color café grisáceo con dos franjas transversales curvas. Las alas son un poco más claras hacia el margen lateral. Las alas posteriores son color gris pálido con una banda oscura a lo largo del margen. En contraste, las palomillas de *Melitara* muestran considerablemente más blanco en el ala anterior (Heinrich 1939). Las palomillas tienen una expansión alar de 27 a 40 milímetros cuando se han alimentado de hospederas óptimas, pero pueden ser considerablemente más pequeñas cuando se crían en hospederas poco óptimas o en plantas hospederas pequeñas que les proporcionan un alimento limitado. Generalmente las hembras son más grandes que los



Fig. 6. *Cactoblastis* on *Opuntia monacantha*, cerca de Periapolis, Uruguay. Todas las poblaciones de *Cactoblastis* fuera de Argentina son de esta región *Cactoblastis* on *Opuntia monacantha*, near Periapolis, Uruguay. All *Cactoblastis* populations outside Argentina originated from this region

genus *Opuntia* but has a wide host range within this genus in its native geographical range. It also readily accepts many *Opuntia* species from North America and was responsible for the spectacular control of several invading *Opuntia* species in different countries (Moran & Zimmermann 1984; Julien & Griffiths 1998). All populations outside Argentina originated from this one introduction to Australia in 1925, which comprised about 2,750 eggs. Previous and subsequent introductions of *Cactoblastis* spp. from Argentina to Australia and South Africa failed to establish (McFadyen 1985).

The adult moth

The adult moths (Fig. 7) are inconspicuous, their forewings are brownish-gray with two wavy

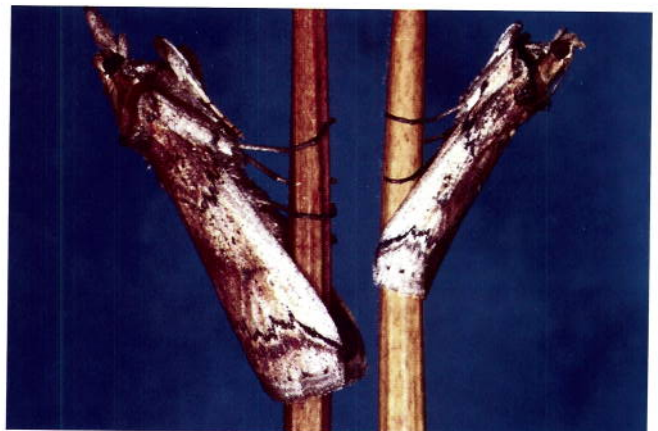


Fig. 7. *C. cactorum* adultos, hembra a la izquierda, macho a la derecha *Adults of C. cactorum*, female (left) and male (right)

machos, sus alas son ligeramente más oscuras y con palpos más prominentes (Fig. 8). La preparación microscópica de la genitalia es necesaria para una identificación positiva (Heinrich 1939).

Huevecillo

El huevecillo es cilíndrico y aplanado, como de 0.9 mm de ancho y 0.4 mm de largo. Inicialmente es de color crema, se oscurece a café y llega a ser casi negro poco antes de que eclosione la larva. La hembra apila sus huevecillos como monedas para formar una cadena o pequeño bastón (Fig. 9), simulando a una espina de nopal. El primer huevecillo en el bastón está pegado a una espina o directamente en el cladodio o penca, con una sustancia color ámbar presumiblemente derivada de las glándulas accesorias. La colocación de los huevecillos uno sobre otro es guiada por setas que rodean al ovipositor. Cada bastón de huevecillos contiene un promedio de 70 a 90 huevecillos, casi nunca más de 120. Un bastón con 70 huevecillos mide cerca de 2.4 cm de longitud. Los bastones cortos son rectos pero los bastones de tamaño normal son ligeramente curvos. Al principio el bastón es moldeable, pero al

Fig. 8. Patrón de las alas del macho (arriba) y de la hembra (abajo) de *C. cactorum*
Wing pattern of *C. cactorum* male (above) and female (below)



transverse bands. The wings are somewhat whiter towards the costal margin.

The hind wings are pale-gray with a dark band along the margin. In contrast, moths of *Melitara* show considerably more white colouration in the

forewing (Heinrich 1939). Moths have a wingspan of 27-40 mm when reared from optimal hosts but can be considerably smaller when reared from sub-optimal hosts or from small host plants constituting a limited food supply. Females are generally larger than males, their wings are slightly darker and their palpi are more prominent than those of males (Fig. 8). Microscope preparation of the genitalia can provide positive identification (Heinrich 1939).

The egg

The individual egg is cylindrical and flattened, about 0.9 mm wide and 0.4 mm long. It is initially cream coloured, and darkens to brown and later almost black before the larva emerges. The female stacks her eggs coin-like to form a chain or small stick (Fig. 9), resembling a cactus spine. The first egg is glued to a spine or a cactus pad (cladode) with an amber-coloured substance presumably derived from the accessory glands. The positioning of eggs on top of one another is guided by setae that surround the ovipositor. The egg stick contains on average 70 to 90 eggs and seldom has more than 120 eggs. An egg stick of 70 eggs has a length of about 2.4 cm. Short egg sticks are straight but the normal egg stick is slightly curved. It is pliable at first but becomes brittle

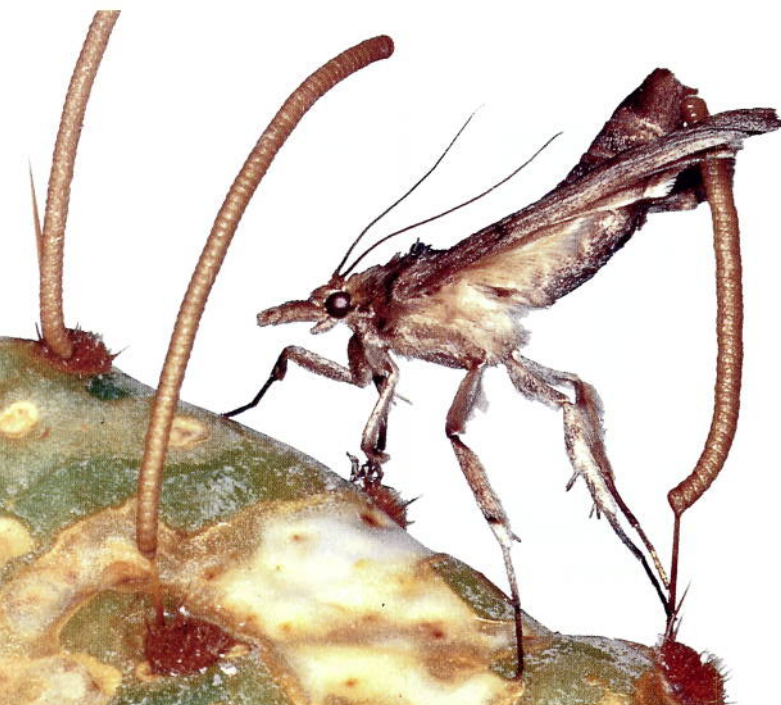


Fig. 9. Un bastón de huevecillos de *C. cactorum* al momento de ser depositados
An egg stick of *C. cactorum* being deposited

secarse se vuelve quebradizo. Varias condiciones ambientales y características de la hospedera afectan el comportamiento durante la ovipostura (Myers *et al.* 1981; Robertson 1987; Hoffmann y Zimmermann 1989; Stange *et al.* 1995). El hábito de ovipositar los huevecillos en forma de columna se observa también en los géneros *Melitara* y *Olycella* que se alimentan de especies de *Opuntia*. Sus bastones con huevecillos se distinguen de los de *Cactoblastis* por ser más cortos. El bastón de *Melitara* contiene entre 30 y 40 huevecillos, en tanto que los de *Olycella* son más cortos, con sólo 10 a 12 huevecillos o menos.

Larva

Las larvas de primer estadio (recién nacidas) de *Cactoblastis cactorum* (Fig. 10) miden 2.5 mm de largo y son de color gris-verdoso. Los últimos estadios tienen un nítido color que va del salmón naranja saturado al rojo, con puntos negros formando bandas transversales (Fig. 11 y 15). Estas bandas transversales del sexto estadio están casi siempre divididas en cuatro bloques separados y nunca se unen en la línea media, distinguiéndose por lo tanto de otros grupos dentro del mismo género (McFadyen 1985). Las larvas completamente desarrolladas miden unos 33 mm de largo antes de pupar, pero pueden ser considerablemente más pequeñas cuando se crían en hospederas pequeñas o poco óptimas.



Fig. 10. Larvas del primer estadio de *Cactoblastis*
First instar *Cactoblastis* larvae

when dry. Several environmental conditions and host plant characteristics also affect oviposition behaviour (Myers *et al.* 1981; Robertson 1987; Hoffmann & Zimmermann 1989; Stange *et al.* 1995). The habit of ovipositing eggs in the form of a stick is also observed in the cactus-feeding genera *Melitara* and *Olycella*. Their egg sticks can be distinguished from those of *Cactoblastis* by their shorter length. The egg stick of *Melitara* contains between 30 and 40 eggs while those of *Olycella* are even shorter, with only 10 to 12 eggs or fewer.

The larva

First instar larvae (neonates) of *C. cactorum* (Fig. 10) are 2.5 mm long and are greenish-grey in colour. Later instars have a rich salmon, orange to red colour with blackish spots forming transverse bands (Fig. 11 and 15). The transverse bands in the final (sixth) instar are nearly always divided into four separate blocks or spots and are never fused in the mid-line, thus distinguishing it from other related taxa in the genus (McFadyen 1985). Full-grown larvae are about 33 mm long before they pupate, but they can be considerably smaller when reared from small or sub-optimal hosts.



Fig. 11. Larvas del último estadio de *Cactoblastis*
Final instar of *Cactoblastis* larvae

Pupa

Las larvas maduras tejen una crisálida blanca en la cual forman la pupa, usualmente bajo materia orgánica, por ejemplo en cladodios secos, basura de hojas, cerca o sobre la planta hospedera. Las crisálidas frecuentemente se cubren con suelo o partículas vegetales, lo cual las hace difíciles de detectar (Fig. 12). Para distinguir los sexos, la parte ventral de las pupas debe observarse (Fig. 13). Localizar los primeros cinco espiráculos visibles a los lados del abdomen. Están seguidos por un espiráculo no funcional más pequeño en el segmento siguiente. En la hembra, el segmento con el espiráculo no funcional tiene una cicatriz genital en forma de hendidura. En el macho la cicatriz genital está localizada en el siguiente segmento entre dos protuberancias elevadas. Las cicatrices genitales no deben confundirse con la cicatriz anal, la cual está cerca del ápice del abdomen.



Fig. 12. Pupas con partículas de suelo adheridas al capullo, con capullo limpio y sin capullo
Pupae with soil particles adhering to cocoon, with clean cocoon and without cocoon

The pupa

Mature larvae spin a silky white cocoon in which pupation occurs, usually under debris, e.g. dry cladodes, leaf litter, near or on the host plant. The cocoons are often covered with soil or plant particles which makes them difficult to detect (Fig. 12). To distinguish between the sexes, the pupae have to be studied from the venter (underside) (Fig. 13). Locate the first five visible spiracles laterally on the abdomen. These are followed by a smaller non-functional spiracle on the next segment. In the female the segment with the non-functional spiracle has a slit-like genital scar. In the male the genital scar is located in the next segment between two raised bullae. The genital scars should not be confused with the anal scar, which is near the tip of the abdomen.



Fig. 13. Punta abdominal de hembra
Abdominal tip of female



Pupa de macho
Male pupae

Capítulo 2

Chapter 2

Biología de *Cactoblastis cactorum*

Ciclo de vida

El ciclo de vida de *C. cactorum* (Fig. 14) fue descrito en detalle por Dodd (1940), Pettey (1948) y Mann (1969). Las palomillas emergen de sus pupas durante el crepúsculo. En una población normal, usualmente hay un mayor número de machos que de hembras y esta diferencia es más pronunciada si la cantidad o calidad del alimento disponible es inadecuado para las larvas. Los machos y hembras se aparean temprano por la mañana del primer o segundo día después de su emergencia. Las hembras empiezan la oviposición durante la siguiente noche. Las palomillas adultas viven unos 9 días y no se alimentan. Descansan durante el día en las partes bajas de las plantas y evitan volar aunque se les moleste. En la noche las palomillas se vuelven activas y ocasionalmente las hembras son atraídas por la luz (Hight et al. 2003).

La mayoría de los huevecillos son depositados durante las primeras horas de la noche. Las palomillas hembras no adhieren sus huevecillos a espinas demasiado largas e inalcanzables por el ovipositor. La oviposición principalmente ocurre en los cladodios suculentos de las partes

The biology of *Cactoblastis cactorum*

Life cycle

The life cycle of *C. cactorum* (Fig. 14) was described in detail by Dodd (1940), Pettey (1948) and Mann (1969). The moths emerge from their pupae in the early evening. There are usually slightly more males than females in a normal population, and the difference is more pronounced if the amount or quality of available food is unsuitable for the larvae. They mate early in the morning of the first or second day after emergence, and during the following night the females start laying eggs. The adult moths live about 9 days and do not feed. They rest during the day on the lower parts of plants and are reluctant to fly, even when disturbed. At night, the moths become active and the females are occasionally attracted to light (Hight et al. 2003).

Most eggs are deposited during the early evening. Female moths do not attach any eggs to spines that are too long for their ovipositors to reach. They lay eggs mainly on the succulent segments, normally the terminal ones, on the lower parts of suitable host

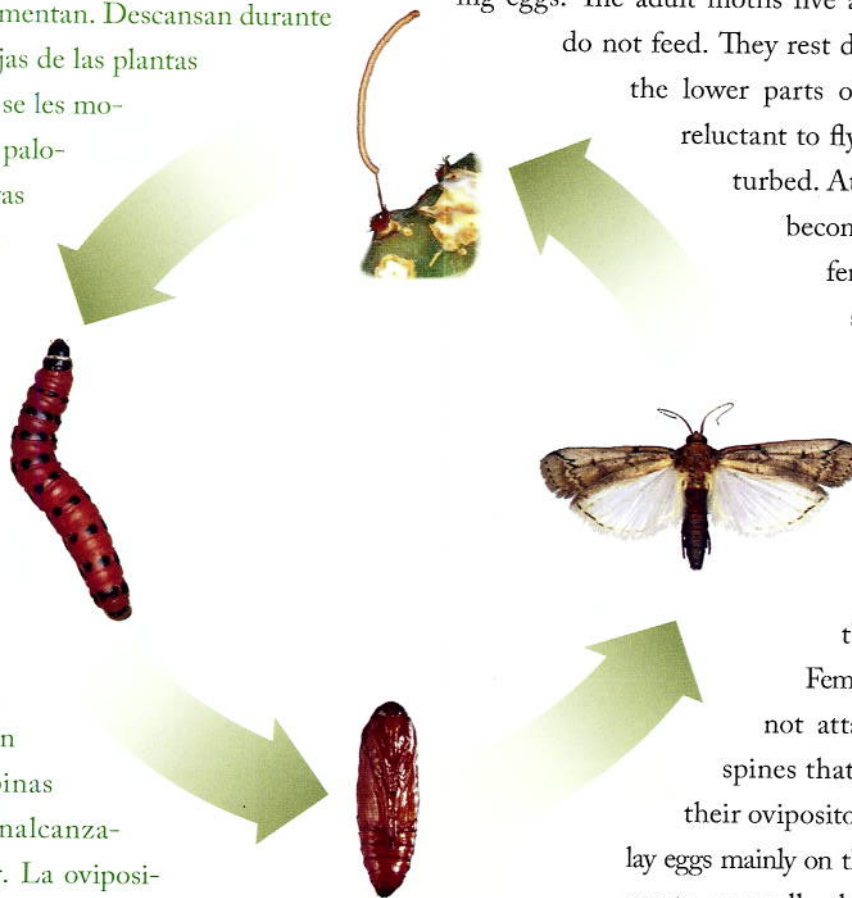


Fig. 14. Ciclo de vida de *Cactoblastis cactorum*
Life cycle of *Cactoblastis cactorum*



Fig. 15. Larvas alimentándose en el interior del cladodio
Cactoblastis cactorum larvae feeding internally in cladodes

bajas de las plantas hospederas (normalmente en los cladodios terminales), pero cuando no hay hospederas apropiadas disponibles, ocasionalmente ovipositan en plantas no hospederas o aún en objetos cercanos a nopales infestados. No depositan huevecillos en presencia de luz artificial.

Usualmente los huevecillos eclosionan durante el día, pero pueden eclosionar en la noche si hace suficiente calor. Las larvas del mismo bastón son gregarias y después de eclosionar, conjuntamente abren una entrada en el cladodio del nopal donde fue ovipositado el bastón de huevecillos (Fig. 10, Capítulo 1). Este comportamiento permite a las larvas recién nacidas perforar la dura epidermis del nopal y, posiblemente, también superar la savia mucilaginosa ocasionalmente exudada por la penca. Frecuentemente las larvas son repelidas por este exudado pegajoso y son obligadas a intentar la entrada en otro lugar (Fig. 24).

Las larvas se alimentan en colonia (Fig. 15) mientras perforan la penca del nopal (cladodio/segmento), consumiendo el tejido interior, evitando los tejidos vasculares fibrosos (Fig. 16). Las heces se evacúan al exterior del cladodio a través del agujero original de entrada, y frecuentemente se advierte un líquido verde viscoso en los cladodios afectados, así como en el suelo (ver Fig. 51). Ocasionalmente en días fríos, las larvas se agrupan en el exterior de un cladodio para calentarse al sol, o para guarecerse a la sombra en los días calurosos. Habiendo consumido el contenido de un cladodio, las larvas excavan un túnel en otro cladodio adyacente, o bien la colonia entera abandona la penca y se traslada en grupo para infestar otra planta. Cuando maduran, las larvas abandonan los cladodios individualmente, caen al piso y tejen capullos de seda blanca en o bajo las pencas podridas en el suelo, en las grietas de los tallos del nopal, en los residuos de las hojas o en la tierra suelta. Empupan dentro de las crisálidas y eventualmente emergen como palomillas adultas.

plants, but when suitable hosts are not available they will occasionally deposit egg sticks on unsuitable host plants or even on objects inside houses near prickly pear infestations. No eggs are deposited in the presence of artificial light.

The eggs usually hatch during the day, but will even hatch at night if temperatures are warm. Larvae from the same egg stick are gregarious after hatching, sitting in a circle at the base of the spine to which their egg stick was attached while chewing a communal entrance hole into the cactus leaf pad (segment or cladode) (Fig. 10, Chapter 1). This communal behaviour enables the neonates to penetrate the tough epidermis of the cactus, and overcome the mucilaginous sap sometimes exuded by the cladode. Larvae are often repelled by the sticky exudates and are forced to make another entrance elsewhere (Fig. 24).

The larvae feed as a colony (Fig. 15) while tunneling through a cactus segment, consuming the interior ex-



Fig. 16. Cladodio barrenado por larvas
Cladode hollowed-out by larvae

Generaciones de *Cactoblastis cactorum* en Sudáfrica
(Petthey 1984)

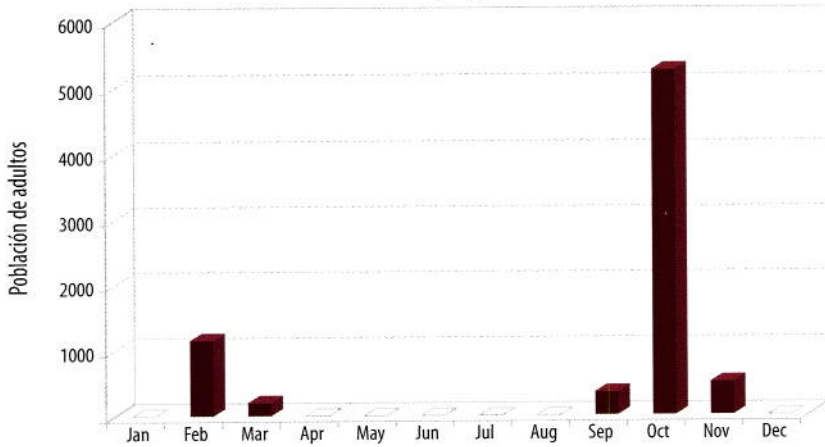


Fig. 17. Fenología de *Cactoblastis* en Sudáfrica
Cactoblastis phenology in South Africa

Duración de los estadios

Dodd (1940) describió la duración de los estadios en Australia, Petthey (1948) en Sudáfrica, y Mann (1969) en todo el mundo. *Cactoblastis cactorum* tiene dos generaciones por año en las regiones templadas, como son las zonas de su distribución natural (Argentina), así como en la mayoría de las partes donde las palomillas se han establecido como Sudáfrica y Australia. En las regiones más cálidas de Sudáfrica (por ejemplo en el Parque Nacional Kruger (KNP, por sus siglas en inglés) (L. Foxcroft, com. pers.), Australia, Florida y el noroeste de Argentina se presenta una tercera generación parcial o total en otoño, (J.E. Carpenter y S.D. Hight, datos no publicados). Se espera que en sitios todavía más calientes (por ejemplo en algunas regiones de México) las generaciones podrían traslaparse y no tendrían puntos máximos claros. En las partes más frías de Nueva Gales del Sur (Australia), el ciclo de vida ocasionalmente toma todo un año.

En Australia y Sudáfrica la generación de verano (Fig. 17), dura de cuatro a cinco meses, los adultos vuelan y ovipositan de septiembre a noviembre, las larvas eclosionan unos 40 días después, se desarrollan durante 50 y 60 días antes de pupar y las palomillas emergen poco después de 28 días, entre enero y marzo. La generación de invierno dura alrededor

cept for the fibrous vascular tissues (Fig. 16). Feces are discharged through the original entrance hole, and slimy green ooze is often noticeable on affected segments as well as on the ground (see fig. 51). The larvae occasionally cluster on the outside of a segment to bask in the sun on cold days, or to shelter in the shade on hot days. Having consumed the contents of one cladode, the larvae either tunnel into an adjacent cladode, or the entire colony leaves the

cladode, crawling over the plant surface before entering another pad. When mature, the larvae vacate the cladode individually, drop to the ground and spin cocoons under or in dry or rotting cactus pads on the ground, in crevices in the cactus stems, in the leaf litter or in loose soil. They pupate inside these cocoons, and eventually emerge as adult moths.

Duration of life stages

Dodd (1940) described the duration of life stages in Australia, Petthey (1948) in South Africa, and Mann (1969) worldwide. In temperate regions, such as the moth's natural distribution in Argentina as well as most parts of South Africa and Australia where they have become established, *Cactoblastis* has two distinct generations per year. In the warmer regions of South Africa, (e.g. Kruger National Park) (L. Foxcroft, pers. comm), Australia, Florida and north-western Argentina, a full or partial third generation occurs in autumn (J.E. Carpenter & S.D. Hight, unpublished data), and it is expected that in even warmer regions (e.g. parts of Mexico) the generations might overlap and have no clear peaks. In the coolest parts of New South Wales, the life cycle occasionally occupies a full year.

In Australia and South Africa, the summer generation (Fig. 17) takes 4-5 months, with adults flying and laying eggs during September-November, larvae hatching after about 40 days, developing for 50-60

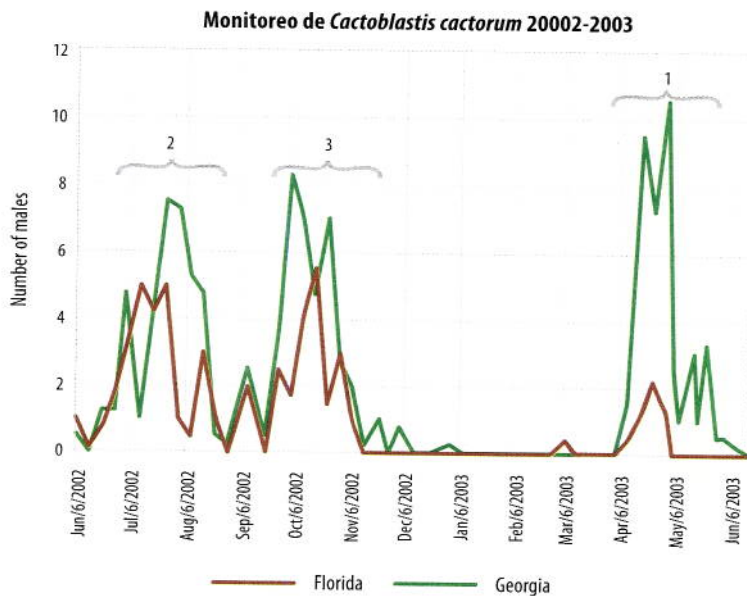


Fig. 18. Fenología de cactoblastis en Florida y Georgia
Cactoblastis phenology in Florida and Georgia

de 8 meses, las palomillas ovipositan entre enero y marzo, las larvas eclosionan después de unos 50 días, se desarrollan durante 130 a 180 días antes de pupar, y las palomillas emergen después de unos 40 a 70 días, entre los meses de septiembre y noviembre. La duración promedio del ciclo de vida de *Cactoblastis* en Sudáfrica es de 113 a 132 días para la generación de verano, y de 234 a 256 días para la generación de invierno. En Australia es de 100 a 120 días en verano y de 235 a 265 días en invierno.

Se estudiaron dos poblaciones de *Cactoblastis* en localidades costeras en el Sur de Georgia y el Norte de Florida, durante 2002-2003, completaron tres generaciones que no se traslapan durante el año (Fig. 18). En las cuales el vuelo del adulto de primavera dura unos dos meses desde principios de abril a fines de mayo (#1, Fig. 18), el vuelo de verano se presenta entre julio y mediados de agosto (#2, Fig. 18) y el vuelo de otoño se presenta de mediados de septiembre a mediados de noviembre (#3, Fig. 18) (J.E. Carpenter y S.D. Hight, datos no publicados). Observaciones en colonias bajo condiciones de laboratorio, iniciadas a partir de poblaciones silvestres en Florida y Georgia muestran que el ciclo de vida es aproximadamente de 90 días de huevecillo a adulto (J.E. Carpenter, datos no publicados).

days before pupating, and moths emerging after about 28 days during January-March. The winter generation takes about 8 months, with moths laying eggs during January-March, larvae hatching after about 50 days, developing for 130-180 days before pupating, and moths emerging after about 40-70 days during September-November. The average length of the *Cactoblastis* life cycle in South Africa is 113-132 days in the summer generation, and 234-256 days in the winter generation. In Australia, it is 100-120 days in summer and 235-265 days in winter.

Two populations of *Cactoblastis* that were studied at coastal locations in south Georgia and north Florida, US, during 2002-2003, completed three non-overlapping generations per year (Fig. 18), with the spring adult flight lasting for about two months from early April to the end of May (#1, Fig. 18), the summer flight occurring between early July and mid-August (#2, fig. 18) and the fall flight occurring from mid-September to mid-November. (#3, fig. 18) (J.E. Carpenter & S.D. Hight, unpublished data). Observations of laboratory colonies initiated from field collections in Georgia and Florida show the life cycle to be approximately 90 days from egg to adult in the laboratory (J.E. Carpenter, unpublished data).

Fecundity

The average number of eggs laid per female is around 88-97 (South Africa) or 99-125 (Australia) for the September-November moths (winter generation), and around 161-188 (South Africa) or 75-120 (Australia) for the January-March moths (summer generation) (Robertson 1989). Each normal-sized egg stick contains on average 70 to 90 and sometimes up to 120 eggs, and a female can produce three or four egg sticks during her lifetime, usually about two egg sticks per night (Petty 1948; Mann 1969). The number of eggs produced per female varies considerably between seasons and geographical locality (Petty 1948).

Fecundidad

El número promedio de huevecillos depositados por hembra es de alrededor de 88 a 97 (Sudáfrica) o de 99 a 125 (Australia), para las palomillas de septiembre a noviembre (generación de invierno); y alrededor de 161 a 188 (Sudáfrica) o de 75 a 120 (Australia), para las palomillas de enero a marzo (generación de verano) (Robertson 1989). Cada bastón contiene un promedio de 70 a 90 y algunas veces hasta 120 huevecillos. Una hembra puede producir de tres a cuatro bastones de huevecillos durante toda su vida, ovipositando usualmente uno o dos bastones por noche (Petthey 1948; Mann 1969). El número de huevos producidos por hembra varía considerablemente entre estaciones y localidades geográficas (Petthey 1948).

Daño a plantas hospederas

Las larvas causan un daño físico al perforar y destruir los cladodios jóvenes que aún no se han vuelto leñosos. El daño de la larva permite la entrada de

Damage to host plants

The feeding larvae cause physical damage by hollowing out and destroying the cladodes that have not become woody. The larval damage enables microbial pathogens to enter the plant, leading to secondary infections, which can cause the death of the entire plant (Starmer *et al.* 1987). Small cactus species or small individuals of larger species may die in cases of severe attack (Fig. 19), but the cactus moth seldom destroys the older, woody parts of the larger, tree-like cactus species such as *Opuntia ficus-indica* (Fig. 20). In Australia, where the major weed species were low-growing, shrub-like cacti such as *O. stricta*, the original stands were killed to ground level or, in the case of resistant types, all growth except for the tough basal stems was destroyed within a short time, causing a sharp decline in the numbers of *Cactoblastis*. Although the stumps did survive, *Cactoblastis* also soon recovered and caused the complete control of the major pest plants in Australia (Dodd 1940).



Fig. 19. *Cactoblastis* puede matar plantas pequeñas de la especie *Opuntia*
Cactoblastis is able to kill small cactus plants



Fig. 20. Rara vez son muertos los tallos leñosos de las plantas más grandes
The woody trunks of larger plants are seldom killed

patógenos microbianos a la planta, que provocan infecciones secundarias, las cuales pueden ocasionar la muerte de todo el nopal (Starmer *et al.* 1987). Las especies pequeñas de nopales, o los individuos pequeños de las especies más grandes, pueden morir en caso de ataque severo (Fig. 19), pero la palomilla del nopal rara vez destruye las partes más viejas y leñosas de las especies más grandes y arbóreas, como la *O. ficus-indica* (Fig. 20). En Australia, donde las principales especies invasoras eran pequeñas, como la *Opuntia stricta*, las poblaciones originales fueron destruidas hasta quedar al ras del suelo. En el caso de los tipos resistentes, todo el crecimiento nuevo fue destruido en poco tiempo, a excepción de los tallos basales duros. Aunque algunos troncos rebrotaron, *Cactoblastis* pronto se recuperó y prácticamente logró controlar los principales nopales plaga (Dodd 1940).

El daño de *Cactoblastis* sobre las especies arborescentes es mínimo (p. ej. *O. cochinillifera*). Esta especie es utilizada y la más abundante en el Caribe. En Sudáfrica, donde el nopal tunero *O. ficus-indica* es la especie invasora más importante, los tallos o troncos leñosos sobrevivientes, invariablemente vuelven a brotar después de que los segmentos jóvenes son destruidos (Fig. 21). Por lo tanto, la palomilla del nopal juega un papel de menor importancia en el control biológico de especies de *Opuntia* invasoras en Sudáfrica, y su valor está limitado a controlar nopales pequeños y aislados (Zimmermann y Malan 1981). Aún las plantas más pequeñas de *O. stricta*, con tallos leñosos, raramente son aniquiladas por *Cactoblastis* en Sudáfrica, aunque constantemente pierdan sus cladodios terminales (Petty 1948; Hoffmann *et al.* 1998a).

Comportamiento de oviposición

La palomilla del nopal tiene una gran habilidad para localizar plantas hospederas pequeñas y aisladas. Cuando la densidad de plantas hospederas es alta, las palomillas se dispersan muy poco, pero al escasear su alimento vuelan más lejos para poner sus huevecillos.



Fig. 21. Un espécimen grande de *Opuntia ficus-indica* rebrota después de un ataque de *Cactoblastis*, en Sudáfrica

A large specimen of *Opuntia ficus-indica* in South Africa regrowing after attack by *Cactoblastis*

Damage by *Cactoblastis* to all the tree-like species, e.g. *O. (Nopalea) cochenillifera*, is minimal. This is a useful and the most widespread species in the Caribbean (Fig. 21). In South Africa, where the cactus tree, *O. ficus-indica*, is the most important pest species, the surviving woody stems or trunks invariably regrow after younger segments have been destroyed. Therefore, the cactus moth plays a lesser role in the biological control of invasive cacti in South Africa, and its value lies in finding and killing small, isolated cactus plants (Zimmermann & Malan 1981). Even the smaller *O. stricta* plants with woody stems are rarely killed by *Cactoblastis* in South Africa, although they constantly lose their terminal segments (Petty 1948; Hoffmann *et al.* 1998a).

Oviposition behaviour

Cactoblastis moths have the remarkable ability to locate small, isolated host plants. When the host plant density is high, moths disperse very little, but as

En Australia, *Cactoblastis* tiende a ovipositar cerca del sitio de emergencia, preferiblemente sobre los cladodios terminales jóvenes y succulentos, con espinas bien desarrolladas. Aunque no haya escasez de plantas adecuadas en la zona, con frecuencia el número de huevecillos depositados en un nopal excede al número de larvas que pueden alimentarse de él. Esto hace que muchas larvas mueran de hambre y confirma que las palomillas no se dispersan con facilidad, mientras la población de plantas hospederas sea densa (Dodd 1940).

Habilidad dispersiva

El que las hembras no tengan las partes bucales desarrolladas y como consecuencia no se alimentan, probablemente explica por qué ovipositan en un corto período de tiempo y no vuelan tan lejos. Las palomillas vuelan cerca del suelo, con un patrón de vuelo errático, lo cual es atípico en los voladores de larga distancia. La distancia más larga de dispersión en una hembra es de 24 kilómetros en Australia (Dodd, 1940).

En Australia, la población se dispersó, en dos años y medio solamente entre 16 y 24 kilómetros (Dodd 1940), y en Sudáfrica la población se desplazó entre 3 y 6 kilómetros en el mismo período de tiempo (Petthey 1948). Durante 15 años de monitoreo cuidadoso en Sudáfrica se pudo observar que *Cactoblastis* no logró alcanzar las grandes poblaciones de hospederas situadas a tan solo 40 y 60 kilómetros de distancia. En los setenta años transcurridos desde que fue liberada, la palomilla no pudo llegar hasta la gran infestación de *O. stricta* (19,000 hectáreas) del Parque Nacional Kruger, aún cuando había plantas hospederas adecuadas, en infestaciones esporádicas, al este del Cabo, casi al borde del parque, donde la palomilla fue liberada. Algunas plantaciones comerciales en Sudáfrica permanecen libres de *Cactoblastis*.

En sus zonas de origen, *Cactoblastis* no se ha dispersado a los grandes cultivos de Pernambuco,

their food plants become sparse, they fly further to lay eggs. In Australia, *Cactoblastis* tends to lay most of its eggs near the emergence site, preferably on the young, succulent, terminal cladodes with well developed spines. Often the number of eggs deposited on one plant exceeds the number of larvae that can feed on the plant, even though there is no shortage of suitable host plants in the area. This causes many larvae to starve, and confirms that moths do not disperse readily while the host plant population is dense (Dodd 1940).

Dispersal ability and spread

The fact that the females have undeveloped mouthparts and therefore cannot take in any food, probably explains why they deposit their eggs over a short period of time and do not fly far. The moths fly close to the ground, with a jerky, erratic flight pattern, which is not typical of long flyers. The furthest that a female has been known to disperse in Australia is 24 km (Dodd 1940).

In Australia, the population dispersed only 16-24 km within 2½ years (Dodd 1940), and in South Africa it dispersed 3-6 km in 2½ years (Petthey 1948). In South Africa, *Cactoblastis* failed during 15 years of careful monitoring to disperse to large host populations as little as 40-60 km away. It did not reach a large (19,000 ha) infestation of *O. stricta* in Kruger National Park in the 70 years since release, even though suitable host plants occurred in scattered infestations from the Eastern Cape, where it was released, almost to the border of the Park. Some large commercial plantations in South Africa are still free of *Cactoblastis*.

In its native range *Cactoblastis* has failed to reach large cultivations in Pernambuco, Brazil and in the Pre-Andean valleys in Argentina, despite the presence of available hosts and of suitable climates en route. Neither has it crossed the Andean mountain chain to Chile (Zimmermann *et al.* 2000a) (Fig. 5, Chapter 1).

Brasil, ni a los valles pre-andinos de Argentina, a pesar de que en la ruta hay hospederas disponibles y climas adecuados. Tampoco ha atravesado la cadena montañosa andina hacia Chile (Zimmermann *et al.* 2000a) (Fig. 5, Capítulo 1). Reexaminaciones recientes de las tasas de dispersión de *Cactoblastis* en Florida, Estados Unidos, sugieren que la palomilla se está desplazando a 120 kilómetros por año (ver Stiling 2002 basado en un dato reportado en Johnson y Stiling 1998, Hight *et al.* 2002 y Bloem *et al.* 2005a). Claramente los eventos climáticos locales pudieron ayudar a su dispersión a larga distancia en la región del Golfo de México. En Zurich se están llevando a cabo investigaciones sobre la dispersión de *Cactoblastis*, las cuales ayudarán a predecir en el futuro, la diseminación de la palomilla hacia las regiones ricas en *Opuntias* del suroeste de Estados Unidos y México.

Recent re-examination of *Cactoblastis* dispersal rates in Florida, US suggest that the moth is dispersing over a distance of about 120 km per year (see Stiling 2002 based on data reported in Johnson & Stiling 1998; Hight *et al.* 2002 and Bloem *et al.* 2005a). Clearly the effect of local climatic events could aid the long distance dispersal within the Gulf of Mexico region. Research on the dispersal of *Cactoblastis* is now being undertaken in Zurich which will assist in predicting the future spread of the moth to the *Opuntia*-rich regions of the south-western USA and Mexico.





Capítulo 3

Plantas hospederas de *C. cactorum*

Aunque existe alguna información sobre las hospederas naturales y adoptadas por *C. cactorum* entre los nopales del género *Opuntia* y géneros relacionados, ésta no es suficiente para hacer predicciones sobre los factores que determinan la selección y aceptación de hospederas, y sobre el rango potencial de éstas en América del Norte. Este capítulo intenta, primero, resumir el conocimiento actual sobre las hospederas de la palomilla del nopal conocidas y, segundo, predecir el rango potencial de hospederas fuera de su distribución natural de la palomilla. Es necesario realizar más investigaciones con el objeto de mejorar las hipótesis existentes en relación con la selección y aceptación de hospederas.

La taxonomía de *Opuntiae* sigue siendo altamente confusa. Aquí hemos utilizado las clasificaciones de Benson (1982) y Anderson (2001). Algunos taxónomos consideran a *Platyopuntia* (pencas aplanadas o “nopales”) y *Cylindropuntia* (pencas redondeadas o “chollas”) como subgéneros de *Opuntia*, mientras que otros los consideran géneros independientes. Aquí se sigue la clasificación de *Nopalea* como subgénero de *Opuntia* y *Cylindropuntia* y *Consolea* como géneros independientes, debido a que *Cactoblastis* muestra preferencias marcadas entre estos grupos. Los nombres de las especies en Argentina han sido proporcionados por R. Kiesling (com per.).

Una especie clave en la dispersión de *Cactoblastis cactorum* en el Caribe y Quintana Roo, México es *O. dillenii*, conocida también como *O. stricta* var. *dillenii*. En esta publicación preferimos referirnos a esta especie como *O. dillenii*.

Chapter 3

Host plants of *C. cactorum*

Although some information exists on the natural and adopted hosts of *Cactoblastis* within the cactus genus *Opuntia* and related genera, it is not sufficient to allow reliable predictions to be made on its potential host range in North America and on the factors that determine its host selection and acceptance. This chapter intends, firstly, to summarize the available knowledge on known host plants of the cactus moth and, secondly, to predict its potential host range outside its natural distribution. In order to improve the assumptions made regarding host selection and acceptance, further research is needed.

The taxonomy of the *Opuntiae* remains highly confusing, and the classifications of Benson (1982) and Anderson (2001) have been used here. Certain taxonomists regard *Platyopuntia* (flattish leafpad), and *Cylindropuntia* (round leafpads or “chollas”) as sub-genera of *Opuntia*, while others regard them as independent genera. Here, the classification of *Nopalea* as a sub-genus of *Opuntia* and *Cylindropuntia* and *Consolea* as independent genera is followed because *Cactoblastis* shows distinct preferences between these groupings. Species names for Argentinian species have been provided by R. Kiesling (pers. comm.).

A key species in the spread is *Cactoblastis cactorum* in the Caribbean and Quintana Roo in Mexico is *O. dillenii*, also classified as *O. stricta* var. *dillenii*. We prefer to retain the species status of *O. dillenii* in this publication.

Hospederas naturales en Sudamérica

De las cinco especies descritas en el género *Cactoblastis*, *Cactoblastis cactorum* tiene el mayor rango de hospederas entre las *Platyopuntia*, esto explica en parte por qué esta especie es tan exitosa como agente de control biológico de las especies de *Opun-*

tia invasoras (Moran y Zimmermann 1984, 1985). Con algunas excepciones, se ha recolectado de todas las especies de *Opuntia* (*Platyopuntia*) dentro de su amplio ámbito geográfico en Argentina, Uruguay, Paraguay y sur de Brasil (Mann 1969; Zimmermann *et al.* 1979). La palomilla no se ha colectado en los grandes nopales arborescentes de *O. quimilo* (excepto en plantas pequeñas de esta especie), ni en *O. longispina* (lo cuál podría ser resultado de un muestreo poco representativo). Otras especies de *Opuntia* ampliamente distribuidas en Argentina y Bolivia, por ejemplo *O. sulphurea* y *O. pampeana*, no son atacadas porque crecen en los Andes secos del noroeste, fuera de la distribución natural de *C. cactorum*. Sin embargo, *C. cactorum* fácilmente se alimentará de estas hospederas en condiciones restringidas. Estas especies de *Opuntia* son las hospederas principales de la especie *C. doddi*. Por lo tanto, *C. cactorum* es claramente oligófaga (que acepta a muchas especies como hospederas).

Rango ampliado de hospederas fuera de su distribución natural

La introducción de *C. cactorum* a muchos países (ver capítulo 4) ha provisto de oportunidades para estudiar rangos geográficos de los géneros *Opuntia* y *Consolea*. En el Caribe *Cactoblastis* ataca principalmente a las



Fig. 22. Aunque algunas *Opuntia* resisten el ataque de *Cactoblastis*, sus pencas y brotes son severamente afectados
Although large plants of *Opuntia* are seldom attacked by *Cactoblastis* their seedlings and young growth are, however, severely affected

(Moran & Zimmermann 1984, 1985). With only a few exceptions, it has been collected from all *Opuntia* (*Platyopuntia*) spp. within its wider geographical range in Argentina, Uruguay, Paraguay and southern Brazil (Mann 1969; Zimmermann *et al.* 1979). It has not been collected from the large tree cactus, *O. quimilo*, (except on small plants of this species) nor on *O. longispina* (which could be the result of undersampling). Other widely distributed *Opuntia* species in Argentina and Bolivia, e.g. *O. sulphurea*, are not attacked because they grow in the dry north-western Andes, outside the natural distribution of *Cactoblastis cactorum*. However, *C. cactorum* will readily feed on this host under cage conditions. This *Opuntia* species is the primary host of the sibling species, *C. doddi*. *C. cactorum* is therefore clearly oligophagous (accepting a number of host species).

Extended host ranges outside its natural distribution.

The introduction of *C. cactorum* into many countries (see Chapter 4) has provided opportunities to study the extended host ranges of this insect within the full geographical ranges of the genera *Opuntia* and *Consolea*. In the Caribbean *Cactoblastis* attacks mainly the small seedlings and regrowth of some of the unique tree-like *Consolea* species (Fig. 22). In Australia and South Africa,

Natural hosts in South America

Of the five described species within the genus *Cactoblastis*, *Cactoblastis cactorum* has the widest host range within the *Platyopuntia* and this explains in part why this particular species has been so successful as a biological control agent of several *Opuntia* invasive weeds

pequeñas plántulas así como a los rebrotes de las especies arbóreas de *Consolea*. En Australia y Sudáfrica *Cactoblastis* dañó o controló exitosamente a varias especies exóticas de *Opuntia* originarias de América del Norte, como *O. stricta*, *O. streptacantha*, *O. ficus-indica* y *O. humifusa*, entre otras. También ha controlado varias especies nativas en el Caribe (p. ej. *O. triacantha* (fig. 23). Las cuales son hospederas de “nueva asociación” (plantas a las que el insecto no ha estado expuesto en su lugar nativo) (Hosking *et al.* 1988, Morán y Zimmermann 1984). Ver la Tabla I para una lista completa de sus hospederas naturales y de nueva asociación.

La introducción de *Cactoblastis* a las islas del Caribe y su reciente llegada a Florida, Isla Mujeres e isla Contoy (ver capítulo 4), también constituye una forma de alimentarse por nueva asociación, pero difiere de las de Australia y Sudáfrica en que el ataque es a especies de *Opuntia* nativas, las cuales también sirven de alimento a varias especies de insectos locales coevolucionados. Algunas especies nativas de *Opuntia* se han vuelto problemáticas debido al sobre pastoreo y a otras acciones inducidas por el hombre, esta fue la razón principal por la cual *Cactoblastis* fue introducido al Caribe. El grado en que *Cactoblastis* ataca a estas especies nativas en las islas del Caribe (Simmonds y Bennett 1966), puede proporcionarnos mucha información sobre su impacto potencial en México y los Estados Unidos; pero esto no se ha estudiado adecuadamente, a excepción de un reporte por Zimmermann y Pérez-Sandi Cuen (2006) a partir de un muestreo reciente en las islas del Caribe (ver la historia de *Cactoblastis* como agente de biocontrol).

En Florida, Estados Unidos, hay 6 especies nativas de *Opuntia* spp. (Benson 1982). Tres especies tienen amplia distribución: *O. stricta* var. *stricta*, *O. dillenii*, *O. humifusa* (var. *humifusa* – el nopal Oriental) y *O. pusilla*. Tres especies adicionales se consideran raras en los Cayos de Florida: *O. corallicola*



Fig. 23. *O. triacantha* es una de las especies pequeñas encontradas en el Caribe que ha sido severamente afectada por *Cactoblastis*
O. triacantha is one of the small species found in the Caribbean that has been severely affected by *Cactoblastis*

Cactoblastis successfully controlled or damaged several alien *Opuntia* species of North American origin, e.g. *O. stricta*, *O. streptacantha*, *O. ficus-indica*, *O. humifusa* and others. It also controlled several native invasive species in the Caribbean, e.g. *O. triacantha* (Fig. 23). These are all “new-association” hosts (hosts to which the insect has not been exposed to in its native range) (Hosking *et al.* 1988; Moran & Zimmermann 1984). For a full account of its natural and new-association hosts, see Table I.

The introduction of *Cactoblastis* into the Caribbean Islands and its recent arrival in Florida, Isla Mujeres and Contoy island (see Chapter 4) also constitutes new-association feeding, but differs from Australia and South Africa in so far as the attack is on native *Opuntia* species, which are also subject to feeding by locally co-evolved insect species. Some native *Opuntia* spp. became problematic because of overgrazing and other human-induced activities, which was the main reason why *Cactoblastis* was introduced into the Caribbean in the first place. The extent to which *Cactoblastis* attacks these native species in the Caribbean Leeward Islands (Simmonds & Bennett 1966) may reveal much

Tabla I. El impacto de *Cactoblastis cactorum* sobre especies *Opuntia* y *Consolea* fuera de su distribución natural en América del Sur. Las especies *Opuntia* marcadas con un asterisco son hospederas naturales de *C. cactorum* en Sudamérica.

<i>Opuntia</i> spp. como hospedera o maleza, y país de observación	País de origen de las especies del nopal	Impacto de <i>Cactoblastis cactorum</i> sobre las especies	Referencia
Especies grandes arborescentes			
<i>O. (Nopalea) auberi</i> Cuba	Cuba	Daño frecuente registrado	Blanco y Vázquez 2001
<i>O. ficus-indica</i> (todas las variedades) Australia, Sudáfrica, Hawái, Cuba, República Dominicana (= <i>O. megacantha</i>)	México	Sustancial impacto y control, altamente efectiva sobre plantas pequeñas. Plaga general en huertos cultivados.	Annecke, D. P. y V. C. Moran 1978; Fullaway, D. T. 1954; Hosking <i>et al.</i> 1988; Julien, M. H. y M. W. Griffiths 1998; Pettey, F. W. 1948; Blanco y Vázquez 2001; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. (Nopalea) cochenillifera</i> Sudáfrica, Estados Unidos, Islas del Caribe	México	Atacada en Florida y en todo el Caribe donde se encuentra <i>Cactoblastis</i>	S. D. Hight, com. pers.; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. tomentosa</i> Australia, Sudáfrica	México	Impacto insignificante.	Julien, M. H. y M. W. Griffiths 1998; Mann, J. 1970.
<i>O. streptacantha</i> Australia	México	Sustancial impacto y altamente efectiva en el control de plantas pequeñas.	Dodd, A. P. 1940; Mann, J. 1970.
<i>O. robusta</i> (todas las variedades Burbank) Sudáfrica	México Estados Unidos	Impacto significativo y altamente dañino para plantas pequeñas. Plaga sobre variedades cultivadas sin espinas.	Annecke, D. P. y V. C. Moran 1978.
<i>Consolea moniliformis</i> Cuba, Isla Desecho y Puerto Rico	Cuba, Haití, Isla Desecho	Daño frecuente en Cuba. Impacto desconocido en Isla Desecho y Haití.	Blanco y Vázquez 2001
<i>Consolea spinosissima</i> Jamaica	Jamaica	Daño severo en plantas pequeñas	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>Consolea rubescens</i> Puerto Rico	Puerto Rico Islas Vírgenes	Daño considerable, particularmente en plantas jóvenes	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
Especies arbustivas			
<i>O. dillenii</i> Islas del Caribe, Isla Mujeres (México)	Islas del Caribe, Isla Mujeres (México)	Impacto significativo sobre especies en Cuba, Isla Mujeres y en otras partes	Cock, M. J. W. 1985; Hernández, L. R. y T. C. Emmel 1993; Julien, M. H. y M. W. Griffiths 1998; Simmonds, F. J. y F. D. Bennett 1966; Zimmermann <i>et al.</i> 2005; Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2006b; Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2007.
<i>O. leucotricha</i> Estados Unidos, República Dominicana	México	Atacada en Florida y en un vivero de República Dominicana	S. D. Hight, com. pers.; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
* <i>O. monacantha</i> Australia, Sudáfrica, Florida	América del Sur	Impacto de moderado a significativo.	Barbera <i>et al.</i> 1995; Julien, M. H. y M. W. Griffiths 1998; Moran, V. C. y H. G. Zimmermann 1991; S. D. Hight, com. pers.
<i>O. triacantha</i> Islas del Caribe, Isla Mauricio y Cayos de Florida	Islas del Caribe, Cayos de Florida	Impacto significativo	Bennett, F. D. y D. H. Habeck 1995; García-Tuduri, <i>et al.</i> 1971; Greathead, D. J. 1971; Julien, M. H. y M. W. Griffiths 1998; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. tuna</i> Isla Mauricio, Jamaica, Guadalupe	Jamaica, Guadalupe	Impacto significativo en Jamaica, Guadalupe e Isla Mauricio	Greathead, D. J. 1971; Julien, M. H. y M. W. Griffiths 1998; Zimmermann, Pérez Sandi Cuen y Bello Rivera 2005b
<i>O. jamaicensis</i> Jamaica	Jamaica	Daño considerable	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. stricta</i> var. <i>stricta</i> and var. <i>dillenii</i> Australia, Sudáfrica, Sureste de los Estados Unidos, Islas del Caribe	Sureste de los Estados Unidos, sureste de México, Islas del Caribe	Impacto espectacular en Australia y menor en Sudáfrica. Impacto significativo en Florida y en las Islas del Caribe	Dodd, A. P. 1940; Hoffmann <i>et al.</i> 1999; Mann, J. 1970; Simmonds, F. J. y F. D. Bennett 1966.
<i>O. lindheimeri</i> (?) (= <i>O. engelmannii</i> ?) Antigua, Nevis	Islas del Caribe	Desconocido	Simmonds, F. J. y F. D. Bennett 1966.
<i>O. antillana</i> Islas del Caribe	Islas del Caribe	Impacto severo en Jamaica	García-Tuduri, J. <i>et al.</i> 1971; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. rubescens</i> Puerto Rico	Desecho, Haití República Dominicana	Hospedera de <i>Cactoblastis</i> con impacto desconocido	García-Tuduri, J. <i>et al.</i> 1971.
<i>O. engelmannii</i> (= <i>O. lindheimeri</i> ?) Sudáfrica	Estados Unidos	Impacto moderado	García-Tuduri, J. <i>et al.</i> 1971.
<i>O. tardospina</i> (= <i>O. engelmannii</i> ?) Sudáfrica	Estados Unidos	Impacto moderado	Brutsch, M. O. y H. G. Zimmermann 1995; Bennett, F. D. 1971; Moran, V. C. y H. G. Zimmermann 1984.
<i>O. humifusa</i> Florida, Sudáfrica	Florida	Impacto significativo	Moran, V. C. y H. G. Zimmermann 1991; Pettey, F. W. 1948.
<i>O. pusilla</i> Florida	Florida	Impacto limitado	Johnson, D. M. y P. D. Stiling 1996; Johnson, D. M. y P. D. Stiling 1998; S. D. Hight, com. pers.
<i>O. corallicola</i> Cayos de la Florida	Cayos de la Florida	Impacto significativo, poniendo en peligro a la especie.	S. D. Hight, com. pers.
<i>O. cubensis</i> Cayos de la Florida	Cayos de la Florida	Impacto significativo	Johnson, D. M. y P. D. Stiling 1996; Johnson, D. M. y P. D. Stiling 1998; Stiling, P. y D. Simberloff 1999.
<i>Opuntia</i> sp. Asunción	Desconocido	Impacto considerable. Pocos datos disponibles.	Johnson, D. M. y P. D. Stiling 1996; Johnson, D. M. y P. D. Stiling 1998.
<i>Opuntia</i> sp. Santa Helena	Desconocido	Impacto substancial. Pocos datos disponibles.	Julien, M. H. y M. W. Griffiths 1998.
Especies pequeñas rastreras			
* <i>O. aurantiaca</i> Sudáfrica, Australia	Argentina Uruguay	Impacto moderado a significativo, sobretodo en plantas grandes	Mann, J. 1970; Moran, V. C. y D. P. Annecke 1979; Moran, V. C. y H. G. Zimmermann 1991.
<i>Opuntia (Cylindropuntia) caribaea</i> República Dominicana	República Dominicana	Poco daño. No es una especie preferida.	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. pilifera</i> República Dominicana	México	Plantas severamente dañadas en un vivero de República Dominicana	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
* <i>O. salmiana</i> Sudáfrica	Argentina	Impacto moderado, sobretodo en plantas grandes.	H. G. Zimmermann, com. pers.
<i>O. repens</i> Puerto Rico	Puerto Rico	Impacto significativo.	García-Tuduri, J. <i>et al.</i> 1971.
<i>O. curassavica</i> (?) Antigua, Nevis	Antigua, Nevis	Impacto significativo. Datos confusos.	Bennett, F. D. y D. H. Habeck 1995; Simmonds, F. J. y F. D. Bennett 1966.
<i>O. taylori</i> Haití, República Dominicana	Haití, República Dominicana	Ampliamente distribuido y con impacto severo.	M. Pérez Sandi Cuen, com. pers.

Table I. The impact of *Cactoblastis cactorum* on *Opuntia* and *Consolea* species outside its natural distribution in South America. *Opuntia* species marked with an asterisk are natural hosts of *C. cactorum* in South America.

Opuntia host or weed, and country of observation	Country of origin of cactus species	Impact of <i>Cactoblastis cactorum</i> on species	Reference
Large tree-like species			
<i>O. (Nopalea) auberi</i> Cuba	Cuba	Frequent damage recorded	Blanco & Vázquez 2001
<i>O. ficus-indica</i> (all varieties) South Africa, Hawaii, Cuba, Dominican Republic (= <i>O. megacantha</i>)	Mexico	Substantial impact and control, and highly effective on small plants. General pest on cultivated orchards.	Annecke, D. P. & V. C. Moran 1978; Fullaway, D. T. 1954; Hosking <i>et al.</i> 1988; Julien, M. H. & M. W. Griffiths 1998; Pettey, F. W. 1948; Blanco & Vázquez 2001; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. (Nopalea) cochenillifera</i> Caribbean	Mexico	Attacked in Florida and throughout the Caribbean where <i>Cactoblastis</i> is found.	S. D. Hight, pers. comm.; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. tomentosa</i> Australia, South Africa	Mexico	Insignificant impact.	Julien, M. H. & M. W. Griffiths 1998; Mann, J. 1970.
<i>O. streptacantha</i> Australia	Mexico	Substantial impact and highly effective in the control of small plants.	Dodd, A. P. 1940; Mann, J. 1970.
<i>O. robusta</i> (all Burbank varieties) South Africa	Mexico USA	Significant impact and highly damaging to small plants. A pest on cultivated spineless varieties.	Annecke, D. P. & V. C. Moran 1978.
<i>Consolea moniliformis</i> Cuba, Desecheo Island and Puerto Rico	Cuba, Haiti, Desecheo Puerto Rico	Frequent damage to plants in Cuba. Impact unknown on Desecheo and Haiti.	Blanco & Vázquez 2001
<i>Consolea spinosissima</i> Jamaica	Jamaica	Severe damage to young plants	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>Consolea rubescens</i> Puerto Rico	Puerto Rico Virgin Islands	Considerable damage and more so on young plants	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
Shrub-like species			
<i>O. dillenii</i> Caribbean Islands, Isla Mujeres (Mexico)	Caribbean Islands Isla Mujeres (Yucatan peninsula)	Significant impact on species in Cuba, Isla Mujeres and elsewhere.	Cock, M. J. W. 1985; Hernández, L. R. & T. C. Emmel 1993; Julien, M. H. & M. W. Griffiths 1998; Simmonds, F. J. & F. D. Bennett 1966; Zimmermann <i>et al.</i> 2005; Zimmermann & Pérez Sandi Cuen 2006b. Zimmermann & Pérez Sandi Cuen 2007.
<i>O. leucotracha</i> Florida Dominican Republic	Mexico	Attacked in Florida. and in a nursery in the Dominican Republic	S. D. Hight, pers. comm.; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
* <i>O. monacantha</i> Australia, South Africa, Florida	South America	Moderate to significant impact.	Barbera <i>et al.</i> 1995; Julien, M. H. & M. W. Griffiths 1998, Morán, V. C. y H. G. Zimmermann 1991, S. D. Hight, pers. comm.
<i>O. triacantha</i> Caribbean Islands, Mauritius, Florida Keys	Caribbean Islands, Florida Keys	Significant impact.	Bennett, F. D. & D. H. Habeck 1995; García-Tuduri, <i>et al.</i> 1971; Greathead, D. J. 1971; Julien, M. H. y M. W. Griffiths 1998; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. tuna</i> Mauritius, Jamaica, Guadalupe	Jamaica, Guadalupe	Significant impact in Jamaica, Guadalupe and Mauritius	Greathead, D. J. 1971; Julien, M. H. & M. W. Griffiths 1998; Zimmermann, Pérez Sandi Cuen & Bella Rivera 2005b
<i>O. jamaicensis</i> Jamaica	Jamaica	Considerable damage on host	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. stricta</i> var. <i>stricta</i> and var. <i>dillenii</i> Australia, South Africa, South east USA, Caribbean Islands	South-east USA, South-east Mexico, Caribbean Islands	Spectacular impact in Australia and less so in South Africa. Significant impact in Florida and Caribbean Islands.	Dodd, A. P. 1940; Hoffmann <i>et al.</i> 1999; Mann, J. 1970; Simmonds, F. J. & F. D. Bennett 1966.
<i>O. lindheimeri</i> (?) (= <i>O. engelmannii</i>) Antigua, Nevis	Caribbean Islands	Unknown.	Simmonds, F. J. & F. D. Bennett 1966.
<i>O. antillana</i> Caribbean Islands	Caribbean Islands	Recorded as host of <i>Cactoblastis</i> . Impact severe in Jamaica.	García-Tuduri, J. <i>et al.</i> 1971; Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. rubescens</i> Puerto Rico	Puerto Rico	Host of <i>Cactoblastis</i> . Impact unknown.	García-Tuduri, J. <i>et al.</i> 1971.
<i>O. engelmannii</i> (= <i>O. lindheimeri</i> ?) South Africa	USA	Moderate impact.	García-Tuduri, J. <i>et al.</i> 1971.
<i>O. tardospina</i> (= <i>O. engelmannii</i>) South Africa	USA	Limited impact.	Brutsch, M. O. & H. G. Zimmermann 1995; Bennett, F. D. 1971; Moran, V. C. & H. G. Zimmermann 1984.
<i>O. humifusa</i> Florida, South Africa	Florida	Significant impact.	Moran, V. C. & H. G. Zimmermann 1991; Pettey, F. W. 1948.
<i>O. pusilla</i> Florida	Florida	Limited (?) impact.	Johnson, D. M. y P. D. Stiling 1996; Johnson, D. M. y P. D. Stiling 1998; S. D. Hight, pers. comm.
<i>O. corallikola</i> Florida Keys	Florida Keys	Significant impact and endangering the species.	S. D. Hight, pers. comm.
<i>O. cubensis</i> Florida Keys	Florida Keys	Significant impact.	Johnson, D. M. & P. D. Stiling 1996; Johnson, D. M. & P. D. Stiling 1998; Stiling, P. & D. Simberloff 1999.
<i>Opuntia</i> sp. Asuncion	Unknown	Reasonable impact. Limited data available.	Johnson, D. M. & P. D. Stiling 1996; Johnson, D. M. & P. D. Stiling 1998.
<i>Opuntia</i> sp. St. Helena	Unknown	Substantial impact. Limited data available.	Julien, M. H. y M. W. Griffiths 1998.
Small low-growing species			
* <i>O. aurantiaca</i> South Africa, Australia	Argentina Uruguay	Moderate to significant impact, more so on large plants.	Mann, J. 1970; Morán, V. C. & D. P. Annecke 1979; Morán, V. C. & H. G. Zimmermann 1991.
<i>Opuntia (Cylindropuntia) caribaea</i> Dominican Republic	Dominican Republic	Some slight damage. Not a preferred host.	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
<i>O. pilifera</i> Dominican Republic	Mexico	Plants severely damaged in a nursery in the Dominican Republic.	Zimmermann <i>et al.</i> 2005.
* <i>O. salmiana</i> South Africa	Argentina	Moderate impact, more so on larger plants.	H. G. Zimmermann, pers. comm.
<i>O. repens</i> Puerto Rico	Puerto Rico	Significant impact.	García-Tuduri, J. <i>et al.</i> 1971.
<i>O. curassavica</i> (?) Antigua, Nevis	Antigua, Nevis	Significant impact. Confusing data.	Bennett, F. D. & D. H. Habeck 1995; Simmonds, F. J. & F. D. Bennett 1966.
<i>O. taylori</i> Haiti, Dominican Republic	Haiti, Dominican Republic	Wide spread and impact severe.	M. Pérez Sandi Cuen, pers. comm.



Fig. 24. El mucilago exudado impide la entrada de larvas de los primeros instares de *Cactoblastis*
Mucilage exudates can prevent entrance of the first instars of *Cactoblastis* larvae

information on its potential impact in Mexico and the USA but this has not been adequately studied, except for the report by Zimmermann & Perez-Sandi Cuen (2006) after a more recent survey on a selection of Caribbean islands (see history of *Cactorum* as a biocontrol agent).

In Florida, there are six native *Opuntia* spp. (Benson 1982). Three species are widespread: *O. stricta* var. *stricta*, *O. dillenii*, *O. humifusa* var. *humifusa* (the eastern prickly pear) and *O. pusilla*. Three additional species are considered rare in the Florida Keys: *O. corallicola* (sometimes placed in the genus *Consolea* and now considered a synonym of *O. spinosissima* –the semaphore cactus), *O. cubensis* and *O. triacantha*. In addition, four naturalized species are also common in Florida: *O. ficus-indica*, *O. monacantha* (= *O. vulgaris*), *O. leucotricha* and *O. (Nopalea) cochenillifera* (formerly in *Nopalea*). It has now been confirmed that all *Opuntia* spp. present in Florida are attacked by *Cactoblastis* (S.D. Hight pers. comm.), although Johnson & Stiling (1998, 1996) did not observe any damage on *O. pusilla*.

Basis for host preference of *Cactoblastis*

In South Africa, Hawaii and Australia, *C. cactorum* causes considerable damage to the smaller *Opuntia* species. The damage is much less in tree-cacti, *O. ficus-indica*, *O. streptacantha*, *O. megacantha* and *O. rubusta* (spineless cultivars), and only after repeated attacks over several seasons can large plants be killed (Annecke *et al.* 1976; Annecke & Moran 1978) (Fig. 19, 20 & 21, Chapter 2). Large, unprotected cactus orchards have been destroyed by *Cactoblastis*, but mostly only in combination with attacks by cochineal (*Dactylopius opuntiae*) (Fullaway 1954; Mann 1969; Annecke & Moran 1978). The thick, woody stems of all tree-like cacti are more resistant to larval attack and larvae will only feed on a woody stem if no other succulent cladodes are available. Several authors

(algunas veces situada en el género *Consolea* y ahora considerada como sinónimo de *O. spinosissima* –nopal semáforo), *O. cubensis* y *O. triacantha*. Además, también son comunes en Florida cuatro especies naturalizadas: *O. ficus-indica*, *O. monacantha* (= *O. vulgaris*), *O. leucotricha* y *O. (Nopalea) cochenillifera*. Ahora se ha confirmado que todas las especies de *Opuntia* presentes en Florida son atacadas por *Cactoblastis* (S.D. Hight com. pers.), aunque Johnson y Stiling (1998, 1996) no han observado ningún daño en *O. pusilla*.

Bases para la preferencia de hospederas de *Cactoblastis*

Cactoblastis causa un daño considerable a las especies más pequeñas de *Opuntia* en Sudáfrica, Hawai y Australia. El daño es mucho menor en nopales arborescentes, *O. ficus-indica*, *O. streptacantha*, *O. megacantha* y *O. robusta* (cultivares sin espinas). Solamente los ataques repetidos durante varias temporadas pueden matar a las plantas grandes (Annecke *et al.* 1976; Annecke y Moran 1978) (Figs. 19, 20

y 21, Capítulo 2). *Cactoblastis* ha destruido grandes y desprotegidos huertos de nopal, pero en la mayoría de los casos esto ha ocurrido solamente en combinación con ataques de cochinilla (*Dactylopius opuntiae*) (Fullaway 1954; Mann 1969; Annecke y Moran 1978). Los tallos gruesos y leñosos de todas las plantas de nopal arborescentes son más resistentes al ataque de las larvas, las cuales sólo se alimentan de un tallo leñoso si no hay cladodios suculentos disponibles. Varios autores han comentado sobre las altas mortalidades de larvas del primer estadio, causadas por la excesiva goma (mucílago) exudada cuando las pencas son penetradas, esto parece ser particularmente común en las especies grandes de *Opuntia* (Fig. 24) (Moran 1980; Robertson y Hoffmann 1998; Zimmermann y Granata 2002).

La mayoría de las especies hospederas arbustivas de *Opuntia*, son extensivamente dañadas por *Cactoblastis*, incluyendo *O. stricta*, *O. monacantha*, *O. engelmannii* (*O. lindheimeri*), *O. triacantha*, *O. tuna*, *O. humifusa*, *O. dillenii* y *O. cubensis*, (ver Tabla 1). La historia de control biológico de algunas de estas especies es bien conocida (Cooch 1984; Julien y Griffiths 1999). Sin embargo, en esta categoría de especies, también hemos encontrado algunas que son menos susceptibles a la palomilla del nopal en el campo, entre ellas *O. engelmannii* y *O. spinulifera* en Sudáfrica, así como *O. microdasys* y *O. leucotricha*.

En Sudáfrica, cuando hembras de la palomilla fueron expuestas a cinco especies como sustratos de oviposición, específicamente *O. stricta*, *O. engelmannii*, *C. fulgida*, *C. imbricata* y *O. ficus-indica*, los bastones de huevecillos fueron preferentemente depositados en *O. ficus-indica*. Al mismo tiempo el desarrollo larvario fue mejor en esta especie (Mafokoane *et al.* 2007, en imprenta) (Fig. 25). Esto coincide con el hecho de que en Sudáfrica nunca se ha visto a *Cactoblastis* alimentándose en poblaciones naturalizadas de *C. fulgida* ni de *C. imbricata*. Sin embargo, cuando los huevecillos fueron ovipositados en cladodios de



Fig. 25. Huevecillos de *Cactoblastis* puestos en *Opuntia stricta* (centro) pero no en *O. microdasys* (izquierda) ni en una *Opuntia* no identificada (derecha) *Cactoblastis* eggs were laid on *Opuntia stricta* (centre), but not on *O. microdasys* (left) or unidentified *Opuntia* sp. (right)

have commented on the high mortalities of first instar larvae, caused by excessive gum (mucilage) exudated when cladodes are penetrated, and this appears to be particularly common in large *Opuntia* species (Fig. 24) (Moran 1980; Robertson & Hoffmann 1998; Zimmermann & Granata 2002).

Amongst the shrub-type *Opuntia* host species, including *O. stricta*, *O. monacantha*, *O. engelmannii* (*O. lindheimeri*), *O. triacantha*, *O. tuna*, *O. humifusa*, *O. dillenii* and *O. cubensis* (see Table I), most are extensively damaged by *Cactoblastis*, and the history of the biological control of some of these species is well known (Cooch 1984; Julien & Griffiths 1999). However, in this category of species we also find some that are less susceptible to the cactus moth in the field, including *O. engelmannii* and *O. spinulifera* in South Africa, as well as *O. microdasys* and *O. leucotricha*.

When adult females and larvae in South Africa were provided with a choice of 5 species, namely *O. stricta*, *O. engelmannii*, *C. fulgida*, *C. imbricata* and *O. ficus-indica*, egg sticks were predominantly deposited on *O. ficus-indica*. Also, larval development was best on this host. (Mafokoane *et al.* 2007, in press) (Fig. 25). This agrees with the fact that *Cactoblastis* is seldom observed feeding on naturalized *C. fulgida* and *C. imbricata* in South Africa. However, when egg sticks were placed on leaf pads of the non-

Fig. 26. *O. pilifera* severamente infestada con *Cactoblastis* en el vivero Costa, en República Dominicana. Este vivero ha sido una vía para diseminar *Cactoblastis* en el Caribe y más allá

O. pilifera is severely infested with *Cactoblastis* in the Costa nursery in the Dominican Republic. This nursery has been implicated as a major pathways for the inadvertent spread of *Cactoblastis* in the Caribbean region and beyond

especies no preferenciales, las larvas se desarrollaron normalmente e hicieron daño a las plantas (Fig. 28).

Johnson y Stiling (1996) realizaron experimentos de selección de hospederas con cuatro especies de *Opuntia* nativas de Florida, para determinar si alguna de ellas era preferida por *Cactoblastis*. Encontraron que las hembras no mostraron preferencia de hospederas durante la oviposición, mientras que las larvas prefirieron *O. corallicola* sobre las demás especies de *Opuntia*. En estos casos, el comportamiento de oviposición de las hembras de *Cactoblastis* parece ser la base para la aparente especificidad de hospederas. En condiciones de laboratorio, *C. cactorum* puede alimentarse y desarrollarse en otras especies de nopal normalmente inadecuadas y, hasta cierto punto, las larvas maduras pueden ser obligadas a comer y madurar en duraznos, melones y tomates, aunque esto nunca ha sido observado bajo condiciones naturales (Dodd 1940).

Larvas de *Cactoblastis* recolectadas y criadas sobre *O. taylori* en República Dominicana, resultaron en insectos pequeños, y los adultos fueron difíciles de identificar como miembros de esta especie. Esto puede deberse a que la planta hospedera fue sub-óptima, proporcionando considerablemente menos recursos para que las larvas se alimenten adecuadamente. Sin embargo, cuando los huevecillos obtenidos de esta población se transfirieron a *O. ficus-indica*, las larvas y adultos resultantes recuperaron su tamaño normal. *Cactoblastis* se desarrolla normalmente en otras especies pequeñas de *Opuntia*, como en *O. taiylori* (Fig. 27), *O. discolor*, *O. salmiana*, y otras. El tamaño de la planta parece no ser un factor limitante para la aceptación de la hospedera.



preferred species, the larvae developed normally and caused damage to the plants (Fig. 28).

Johnson & Stiling (1996) conducted host choice experiments using 4 native *Opuntia* species in Florida to determine if any one species was preferred by *Cactorum*. They found that ovipositing females showed no host preference while larvae preferred *O. corallicola* over the other *Opuntia* species tested. The ovipositional behaviour of females appears to form the basis for the apparent host specificity in these cases. Under caged conditions, *C. cactorum* will feed and develop on other, normally unsuitable cactus hosts, and mature larvae can even be forced to feed and mature to some extent on peaches, melons and tomatoes, although this has never been observed under natural conditions (Dodd 1940).

Cactoblastis larvae collected and reared from *O. taylori* in Dominican Republic were consistently small and the adults that emerged were difficult to reconcile with this species. This may be because of the sub-optimally small host plant, which offers considerably less resources for the larvae to feed on. However, when eggs obtained from this population were transferred



Fig. 27. *Cactoblastis* puede alimentarse y sobrevivir en pequeñas plantas hospederas como *O. taylori* en República Dominicana
Cactoblastis can feed and survive on very small host plants like on *O. taylori* in the Dominican Republic

En Sudáfrica, se observa ocasionalmente daño de *Cactoblastis* en la especie *C. imbricata* (Fig. 28), *C. exaltata* y *C. fulgida*, conocidas comúnmente en México como chollas, pero solamente cuando se encuentran cercanas a especies de *Opuntia* infestadas con *Cactoblastis*. Esto parece ser una especie de efecto de contagio, pues es mínimo el daño a las chollas; aparentemente las poblaciones de *Cactoblastis* no se pueden sostener en estas hospederas bajo condiciones naturales, pero se requiere investigación adicional para determinar completamente el impacto potencial sobre especies de *Cylindropuntia* en América del Norte.

Se desconoce la razón, y debe investigarse, por qué *O. quimilo* no es aceptada como planta hospedera en Argentina. A pesar de que se ha observado el ataque de *Cactoblastis* a todas las especies *Opuntia* nativas en Florida, no todas las especies de *Opuntia* en México y los Estados Unidos serán hospederas adecuadas. Más inspecciones e investigación sobre las preferencias y los mecanismos de selección de hospederas, permitirán una predicción mejor fundamentada sobre la amenaza real a la flora de las especies de *Opuntia* nativa.

Fig. 28. Daño de *Cactoblastis* en *O. (Cylindropuntia) imbricata*
Cactoblastis damage on *O. (Cylindropuntia) imbricata*

to *O. ficus-indica*, the larvae and adults reared were of normal size again. *Cactoblastis* develops normally on many other small *Opuntia* species, e.g. *O. taylori* (Fig. 27), *O. discolor*, *O. salmiana*, and others. The size of the host plant does not seem to be a limiting factor for host acceptance.

In South Africa, larval damage by *Cactoblastis* is occasionally observed on *C. imbricata* (Fig. 28), *C. exaltata* and *C. fulgida*, commonly known in Mexico as “chollas”, but only when these are growing in association with *Opuntia* species infested with *Cactoblastis*. This appears to be a spillover effect, as the damage to “chollas” is minimal; apparently, *Cactoblastis* populations cannot sustain themselves on these hosts under natural conditions. However, this needs further investigation to fully ascertain the potential impact on species of *Cylindropuntia* in North America.

The reason why *O. quimilo* in Argentina is not accepted as a host is unknown and needs investigation. Despite the observed attack on all native *Opuntia* species in Florida, not all *Opuntia* species in Mexico and the USA will be suitable hosts for *Cactorum*. Further research and surveys on host-preference and the mechanisms of host-selection will enable a more accurate prediction of the real threat to the native *Opuntia* flora.





Larvas alimentándose del interior de una tuna (fruto)
Cactoblastis larvae feeding on a cactus pear fruit

Capítulo 4

Historia de *C. cactorum* como agente de control biológico

Distribución deliberada de *C. cactorum* como agente de control biológico

Cactoblastis cactorum como agente de control biológico

(Fig. 29) (Julien y Griffiths 1998)

- 1926: Introducido de Argentina a Australia
- 1933: De Australia a Sudáfrica
- 1933: De Australia a Nueva Caledonia
- 1950: De Australia a Hawaii
- 1950: De Sudáfrica a Mauricio
- 1957: De Sudáfrica a Nevis
- 1960: De Nevis a Antigua
- 1960: De Nevis a Montserrat
- 1966: De Antigua a Kenya, establecimiento no confirmado
- 1970: De Nevis y Antigua a islas Caimán
- 1971: De Nevis y Antigua a Santa Elena
- 1973: De Santa Elena a isla Ascensión
- 1994: De Australia a Pakistán, establecimiento no confirmado
- ?: De Sudáfrica a Israel, no establecida

Chapter 4

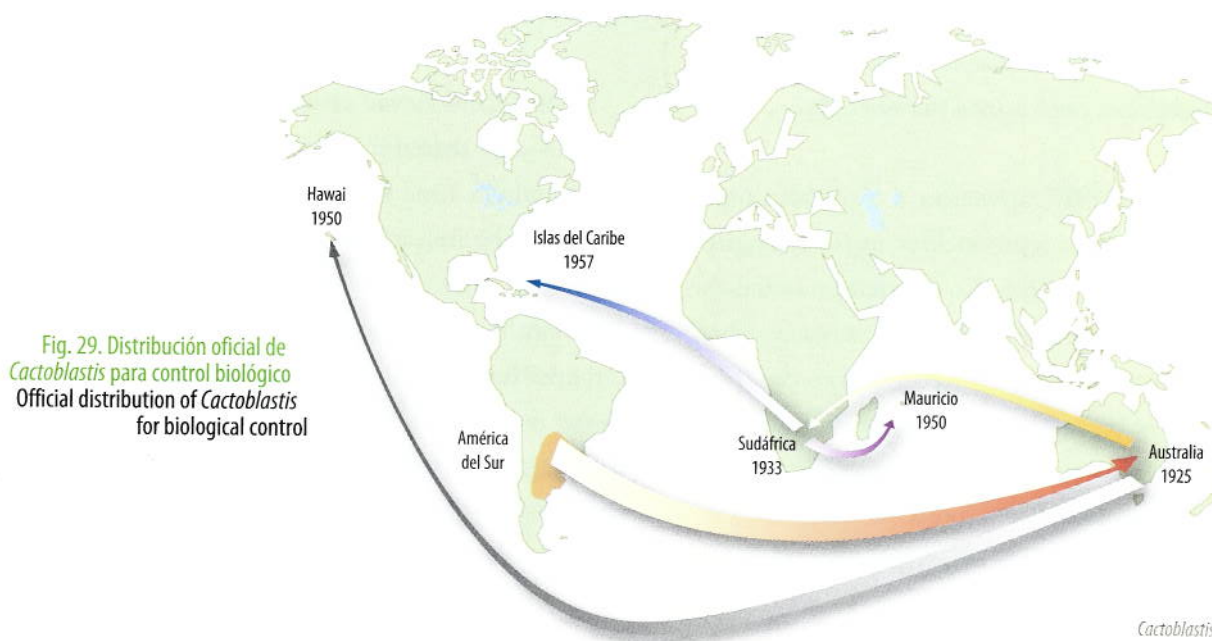
The history of *C. cactorum* as a biological control agent

Deliberate distribution of *C. cactorum* as a biological control agent

Cactoblastis cactorum as a biocontrol agent

(Fig. 29) (Julien & Griffiths 1998)

- 1926: Introduced from Argentina to Australia
- 1933: From Australia to South Africa
- 1933: From Australia to New Caledonia
- 1950: From Australia to Hawaii
- 1950: From South Africa to Mauritius
- 1957: From South Africa to Nevis
- 1960: From Nevis to Antigua
- 1960: From Nevis to Montserrat
- 1966: From Antigua to Kenya, establishment unconfirmed
- 1970: From Nevis & Antigua to Cayman Islands
- 1971: From Nevis & Antigua to St Helena
- 1973: From St Helena to Ascension Island
- 1994: From Australia to Pakistan, establishment unconfirmed
- ?: South Africa to Israel, not established



Australia

Antes de que se iniciara la campaña de control biológico en Australia (ver Dodd 1940; McFadyen 1985), alrededor de 25 millones de hectáreas en Queensland y Nueva Gales del Sur estaban infestadas con nopal (*O. stricta*). La mitad del área estaba tan densamente cubier-

ta de nopal que, desde el punto de vista productivo, la tierra era inútil (Fig. 30). En 1920 se creó una Oficina del Nopal de la Commonwealth, la cual envió entomólogos a América para que estudiaran los enemigos naturales de los nopales y construir instalaciones para reproducirlos en Australia. Después de dos intentos fallidos de introducción de *C. cactorum*, la población de control biológico exitosa se recolectó de larvas alimentándose sobre *O. delaeitiana* y de otras especies relacionadas con *O. monacantha*, las cuales ahora se agrupan en la especie de *O. paraguayensis* en Concordia, Entre Ríos, Argentina. Su progenie, entre 30 y 50 bastones con 3,000 huevecillos, fueron enviados por barco desde Buenos Aires, en marzo de 1925. Camino a Australia, en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, se separó una pequeña colonia como respaldo, que se retuvo en Sudáfrica, pero nunca fue liberada.

En mayo de 1925 arribaron a Australia unas 2,750 larvas que fueron reproducidas en jaulas durante dos generaciones (un año). En ese tiempo se multiplicaron hasta llegar a 2,540,000. Las primeras liberaciones se realizaron entre febrero y marzo de 1926. Las palomillas se reprodujeron en jaulas en forma masiva, durante 18 meses solamente. Se produjeron unos 10 millones de huevecillos y posteriormente se pudieron recolectar en el campo bastones de huevecillos



Fig. 30. Infestación densa de nopal (*Opuntia stricta*) en Queensland antes de la campaña de control biológico
Dense infestation of prickly pear (*Opuntia stricta*) in Queensland before the biological control campaign

Australia

Before the biological control campaign was initiated in Australia (see Dodd 1940; McFadyen 1985), about 25 million ha of land in Queensland and New South Wales were infested with prickly pear (*O. stricta*). Half of this infestation was so dense that the land was useless

from a productive viewpoint (Fig. 30). A Commonwealth Prickly Pear Board was appointed in 1920, which sent entomologists to America to study the natural enemies of prickly pears and to create facilities to breed them in Australia. The third introduction of *C. cactorum*, in 1925, was the only one that became established, after two previous attempts had failed. At Concordia in the province of Entre Rios, Argentina, fully-grown larvae were collected from *O. delaeitiana* and another *O. monacantha*-related species, which are now lumped into *O. paraguayensis*. Their offspring, 30-50 egg sticks with 3,000 eggs, were dispatched by ship from Buenos Aires in March 1925. In Cape Town, en route to Australia, a small backup colony of larvae was removed and retained in South Africa, but these were never released.

About 2,750 larvae arrived in Australia in May 1925, and were reared in cages for two generations (1 year), by which time the number had multiplied to 2,540,000. The first releases were made in February-March 1926. The moths were mass reared in cages for 18 months only, producing about 10 million eggs, and thereafter egg sticks for mass distribution could be collected in the field. Until 1930, a total of 30 to 40 million egg sticks (2,750 million eggs) were released throughout the prickly pear territory. About 25 million larvae were necessary to kill off 1 ha heavily in-

para su distribución. Hasta 1930 se habían liberado por todas las nopaleras un total de 30 a 40 millones de bastones (2,750 millones de huevecillos). Para limpiar una hectárea fuertemente infestada con la especie de *O. stricta* fueron necesarias aproximadamente 25 millones de larvas. Hacia 1930 se habían exterminado todas las poblaciones originales de nopal. En el caso de tipos resistentes, se había destruido todo el crecimiento, exceptuando los tallos duros (Figs. 31 y 32). Subsecuentemente la población de *Cactoblastis* declinó drásticamente.

Durante 1932 y 1933, los nopales produjeron rebrotes abundantes, seguidos por una rápida recuperación de la población de *Cactoblastis* durante 1933-35. Entre 1935-1940 *Cactoblastis* había logrado el control completo de las principales infestaciones del nopal plaga. Hasta la fecha no ha habido necesidad de hacer nuevas liberaciones del insecto.

Dodd (1940) reporta que "...la opinión científica más optimista no hubiera podido predecir tan total y completa destrucción. El espectáculo de milla tras milla de fuerte crecimiento de nopal colapsándose en masa y desapareciendo en el corto periodo de unos cuantos años, parecía ser posible". En 1980, cincuenta años



Fig. 31. Nopal arrasado en Queensland debido al ataque de larvas de *Cactoblastis*
Prickly pear in Queensland collapsing due to feeding by *Cactoblastis* larvae

During 1932 and 1933, the cactus plants produced abundant regrowth, followed by a rapid recovery of the *Cactoblastis* population during 1933-35. By 1935-40, *Cactoblastis* had virtually brought the infestation under complete control, and there has never been any need for redistribution of the insect.

Dodd (1940) reports that "the most optimistic scientific opinion could not have foreseen the extent and completeness of the destruction. The spectacle of mile after mile of heavy prickly pear growth collapsing en masse and disappearing in the short space of a few years did not appear to fall within the bounds of possibility". Fifty years later, in 1980, the situation was still unchanged, with *Cactoblastis* exerting control over prickly pear except for the coastal areas and some



Fig. 32. La misma zona de la Fig. 30, limpia de nopal
The same area as in Fig. 30, cleared of prickly pear

festated with *O. stricta*. By 1930, all the original prickly pear stands had been killed to ground level or, in the case of resistant types, all growth except the tough trunks had been destroyed (Figs. 31 & 32). The *Cactoblastis* population subsequently declined drastically.

areas in the southwest of Queensland (White 1980). Several factors affected the success of the cactus moth in Australia. Cactus plants growing under conditions of water or nutrient stress, particularly *O. inermis* (= *O. stricta* var. *dillenii*), are reported to have thick

después, la situación aún no había cambiado y *Cactoblastis* permanecía controlando al nopal, a excepción de las zonas costeras y algunas áreas en el suroeste de Queensland (White 1980). Varios factores contribuyeron al éxito de la palomilla del nopal en Australia. Se reporta que algunas plantas que crecen bajo

condiciones de estrés hídrico o de nutrientes, particularmente en la especie *O. inermis* (= *O. stricta* var. *dillenii*), tienen cladodios mucilaginosos gruesos que impiden el desarrollo de la población de *Cactoblastis* en ciertas áreas, por ejemplo en las zonas costeras de Queensland. Las larvas eclosionadas en cladodios leñosos de nopal, también tienen dificultad para penetrar al tejido. Se considera que las altas temperaturas son de gran importancia para reducir la fecundidad de la generación de verano de *Cactoblastis* (White 1980; Hosking *et al.* 1994).

Sudáfrica

Se desconoce la extensión exacta del nopal plaga (*O. ficus-indica*) en Sudáfrica antes de la campaña de control biológico, pero para 1942 unas 900,000 hectáreas estaban invadidas por esta maleza (Figs. 33 y 34) (Petty 1948), solamente en la provincia del Cabo. Petty (1948) relata que a principios de 1930 trajeron a Sudáfrica 112,600 bastones de huevecillos provenientes de Australia. Después de pruebas adicionales de especificidad y reproducción masiva en tres estaciones reproductoras en el Karoo y en la entonces Provincia Oriental del Cabo, se realizó una primera liberación a pequeña escala en noviembre de 1933 sobre la especie *O. ficus-indica*. La reproducción masiva continuó durante siete años y, una vez que se



Fig. 33. Densas infestaciones de la especie *Opuntia ficus-indica* en Cabo oriental, Sudáfrica, en 1939, antes de la campaña de control biológico
Dense infestations of the tree-pear, *Opuntia ficus-indica*, in the Eastern Cape, South Africa, in 1939, before the biological control campaign

mucilaginosous segments, which suppress the development of the *Cactoblastis* population in certain areas, e.g. the coastal areas of Queensland. Larvae hatching on woody cactus segments also have difficulty penetrating the plant tissue. High temperatures are regarded as being of major importance in

reducing the fecundity of the summer generation of *Cactoblastis* (White 1980; Hosking *et al.* 1994).

South Africa

The exact extent of the pest prickly pear (*O. ficus-indica*) in South Africa before the biological control campaign is unknown, but by 1932, some 900,000 ha were affected (Figs. 33 & 34) (Petty 1948) in the (then) Cape Province alone. Petty (1948) relates how, in the early 1930s, a consignment of 112,600 *Cactoblastis* egg sticks was brought to South Africa from Australia. Following additional specificity testing and mass rearing at 3 breeding stations in the Karoo and the (then) eastern Cape Province, the first small release was made in November 1933 on *O. ficus-indica*. Mass-rearing continued for 7 years, and once the insects had become established, egg sticks were also collected in the field. Until April 1941, a total of almost 580 million *Cactoblastis* egg sticks, either lab reared or collected from the field, were distributed in the eastern Cape Province.

The insects attained peak populations, accompanied with considerable damage to the target weed, followed by slumps in the insect population and the subsequent re-growth of prickly pear. The damage caused by *Cactoblastis* in South Africa was not as great

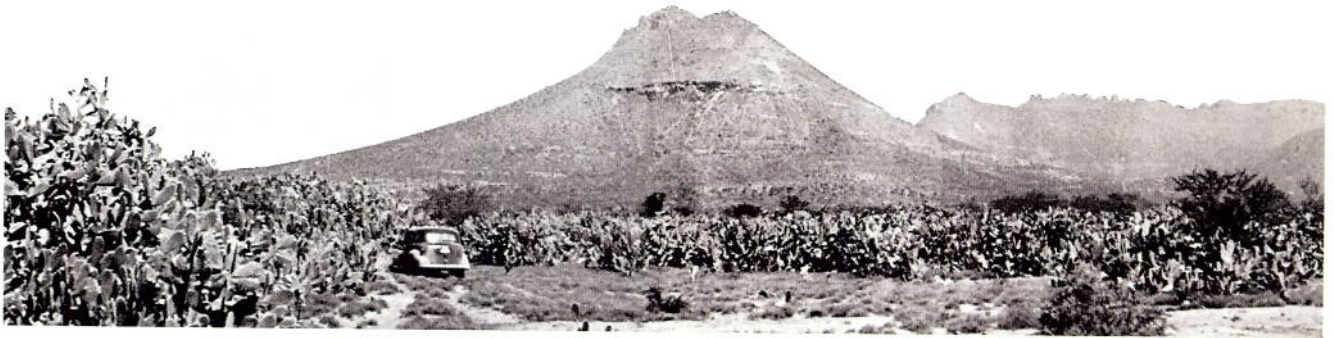


Fig. 34. Densas infestaciones de la especie *Opuntia ficus-indica* en el Cabo Oriental, Sudáfrica, en 1939, antes de la campaña de control biológico
Dense infestations of the tree-pear, *Opuntia ficus-indica*, in the Eastern Cape, South Africa, in 1939, before the biological control campaign



Fig. 35. La misma zona de la Fig. 34, limpia de *Opuntia ficus-indica* por *Cactoblastis* y cochinilla en 1957
The same area as in Fig. 34, cleared of *Opuntia ficus-indica* by *Cactoblastis* and cochineal, in 1957

establecieron los insectos, también se recolectaron bastones de huevecillos en campo. Hasta abril de 1941, un total de casi 580 millones de bastones de huevecillos de *Cactoblastis*, reproducidos en laboratorio o colectados en campo, fueron distribuidos en la Provincia Oriental del Cabo.

Los insectos alcanzaron picos poblacionales acompañados de considerables daños a la especie invasora, seguida por bajas en la población del insecto y subsecuente rebrote del nopal. El daño causado por *Cactoblastis* en Sudáfrica no fue tan grande o tan extenso como en Australia y el insecto nunca ha “limpiado completamente ni media hectárea de maleza”. Sin embargo, destruye en forma extensiva la mayoría de las plantas jóvenes de hasta 30 cm de altura (Fig. 19) y hace que las plantas más grandes pierdan

or as extensive as that in Australia, and the insect has never completely “cleared even half a hectare of the weed”. However, it extensively destroys most young plants up to 30 cm high (Fig.19) and causes most of the larger plants to lose the two or three terminal segments of all branches up to about 2 m high. This results in extensive thinning out of dense cactus stands, and significantly retards the spread of the weed by reducing its fruiting capacity and killing the seedlings (Fig. 19).

From about 10 years after the first releases, the *Cactoblastis* populations in the *Opuntia* infested areas have always been low. Although this is usually sufficient to prevent the spread of the cactus by attacking isolated small plants or the succulent terminal segments of the lower branches of scattered large plants, they do

Fig. 36. *Opuntia stricta* antes de su control en el Parque Nacional Kruger, Sudáfrica
Opuntia stricta in the Kruger National Park, South Africa, before control

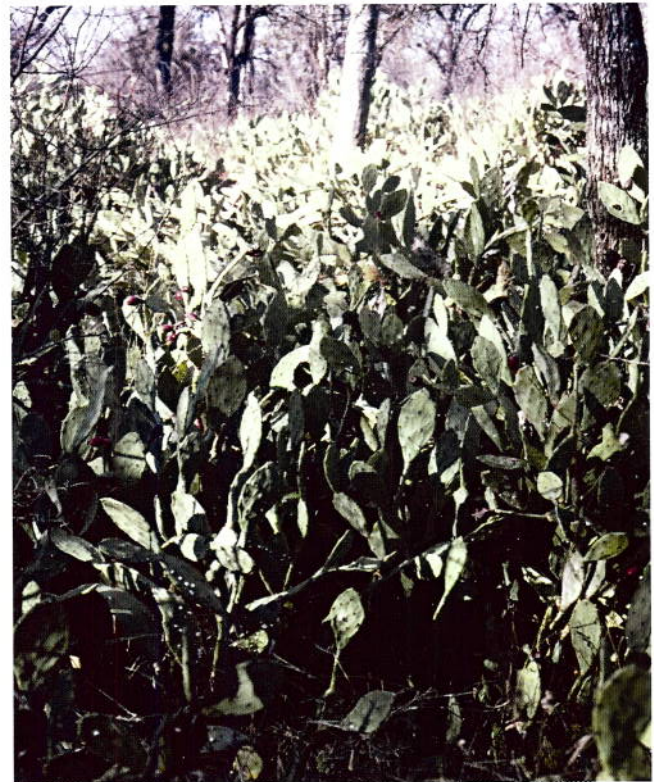
de dos a tres cladodios terminales de todas las ramas que superan los dos metros de altura. Esto produce un aclareo extensivo de densas poblaciones de nopal y retarda significativamente la dispersión de la maleza, al reducir su capacidad de fructificación y al morir las plántulas (Fig. 19).

Después de unos diez años de la primera liberación, las poblaciones de *Cactoblastis* se han mantenido siempre bajas en las áreas invadidas con nopal. Aunque esto suele ser suficiente para prevenir la dispersión de la maleza al atacar a pequeñas plantas aisladas o a los suculentos cladodios terminales de las ramas inferiores de las plantas grandes dispersas, *Cactoblastis* no causa daño apreciable a los nopales arborescentes. En todas las regiones del interior, *Cactoblastis* ha sido reemplazado por la cochinilla *Dactylopius opuntiae*, como el agente primario de control biológico (Petthey 1948; Robertson 1985).

Control de la especie *Opuntia stricta* por *Cactoblastis cactorum* en Sudáfrica

Como se mencionó anteriormente, en los primeros 70 años desde su liberación, *Cactoblastis cactorum* alcanzó una infestación de 19,000 hectáreas de la especie *O. stricta* de bajo crecimiento en el Parque Nacional Kruger (Fig. 36), aunque su hospedera habitual (*O. ficus-indica*) se encontraba contigua en infestaciones dispersas desde el Cabo Oriental hasta casi con la frontera del KNP.

Cactoblastis fue liberado en el KNP en 1987 y se estableció bien. Tanto en las infestaciones densas de nopal como en las dispersas, el daño causado por las larvas produce la fragmentación de las plantas grandes (Fig. 37), pero los fragmentos echan raíces y producen nuevas plantas. Las pocas plantas grandes han sido ahora reemplazadas por muchas plantas pequeñas que



not cause appreciable damage to large plants. In all inland areas, *Cactoblastis* has now been largely replaced as the primary biological control agent by the cochineal, *Dactylopius opuntiae* (Petthey 1948; Robertson 1985).

Control of *Opuntia stricta* by *Cactoblastis cactorum* in South Africa

As already mentioned, in the first 70 years since its release, *Cactoblastis cactorum* failed to reach a 19,000 ha infestation of the low-growing *O. stricta* in Kruger National Park (KNP) (Fig. 36), even though its normal host plant (*O. ficus-indica*) was contiguous in scattered infestations from the Eastern Cape almost to the border of the KNP.

Eventually *Cactoblastis* was released in KNP in 1987 and became well established. In both dense and sparse cactus infestations, larval feeding has resulted in the fragmentation of large plants (Fig. 37), but the fragments take root and produce new plants. The few large plants have now been replaced by many smaller plants, which first have to reach a certain size (about 28 cladodes) before they will produce any fruit. This

primero tienen que alcanzar un cierto tamaño (aproximadamente 28 cladodios) antes de que produzcan fruto. Esto ha ocasionado una reducción en los niveles de producción de fruta, pero no se ha repetido en Sudáfrica el espectacular control biológico de *O. stricta* logrado en Australia por *Cactoblastis* (Hoffmann *et al.* 1998a). El efecto de *Cactoblastis* sobre *O. stricta* en Florida es muy similar al del KNP (ver capítulo 5).

Factores que afectan la efectividad de *Cactoblastis* en Sudáfrica

La diferencia en el comportamiento de *C. cactorum* entre Australia y Sudáfrica, puede explicarse parcialmente por la adaptación imperfecta de la palomilla al nopal leñoso, *O. ficus-indica*. Las larvas no causan la muerte de las hospederas que tienen más de 14 cladodios (Zimmermann y Malan, 1981). Por otra parte, la mortalidad total de *Cactoblastis* causada por enemigos naturales en todos los estadios ha demostrado ser mayor que la mortalidad general debida a la incompatibilidad con la planta hospedera (Robertson 1985, 1988).

Cactoblastis se desarrolló mejor en las zonas no montañosas o en los valles con suelo fértil profundo, en donde los nopales son suculentos y crecen entremezclados con el matorral. El crecimiento de la población de *Cactoblastis* fue menor en las partes más altas y frías del Karoo, y en las laderas altas de montañas con menor exposición al sol de invierno. Como en Australia, los nopales que crecen en suelos superficiales y pobres en nutrientes tienen cutículas más



Fig. 37. *Opuntia stricta* en el Parque Nacional Kruger destruida por *Cactoblastis*.
Opuntia stricta in the Kruger National Park killed by *Cactoblastis*

has resulted in an overall reduction in the levels of fruit production, but the spectacular biocontrol of *O. stricta* by *Cactoblastis* that was reached in Australia has not been repeated in South Africa. (Hoffmann *et al.* 1998a). The effect of *Cactoblastis* on *O. stricta* in Florida is very similar to that in the KNP (see Chapter 5).

Factors affecting effectiveness of *Cactoblastis* in South Africa

The difference in performance of *C. cactorum* between Australia and South Africa can be partially explained by imperfect adaptation of the cactus moth to the woody cactus tree, *O. ficus-indica*. The larvae do not readily kill hosts that comprise more than about 14 cladodes (Zimmermann & Malan 1981). On the other hand, overall mortality of *Cactoblastis* caused by natural enemies in all the life stages was shown to be greater than mortality from host plant incompatibility (Robertson 1985, 1988).

Cactoblastis developed best in non-mountainous areas or in valleys with deep fertile soil, where the cactus plants were more succulent and were growing intermingled with bush. The population growth was slowest in the highest or coldest parts of the Karoo, and on the highest slopes of mountains with least exposure to the winter sun. As in Australia, cactus plants growing in shallow, nutrient-poor soil have thicker cuticles and secrete more mucilage, which causes high larval mortality. The newly-hatched *Cactoblastis* larvae survive better in terminal segments, which secrete less mucilage and whose cuticles are thinner

gruesas y secretan más mucílago, lo que causa alta mortalidad de las larvas. Las larvas de *Cactoblastis* recién eclosionadas sobreviven mejor en los cladodios terminales, los cuales secretan menos mucílago y sus cutículas son más delgadas que las de los cladodios más viejos (Petthey 1948).

Aunque no se ha registrado que bajas temperaturas (-8°C por poco tiempo) hayan causado mortalidad de larvas o huevecillos de *Cactoblastis* en Sudáfrica, las palomillas no ovipositan en noches con temperaturas menores a 12°C . Las bajas temperaturas nocturnas durante la generación de invierno son consideradas como el factor más importante que limita la fecundidad de la especie en este país. Los periodos de desarrollo más largos durante la generación de invierno aumentan la vulnerabilidad de las larvas y pupas a depredadores y parásitos. Además la exposición de las larvas a la arena o a la grava a altas temperaturas (de 40°C o más) es una causa común de mortalidad en Sudáfrica (Petthey 1948).

Islas en el Caribe y otros países

En 1950 *Cactoblastis* fue traído de Australia a Hawai (Fullaway 1954) para controlar *O. ficus-indica* y de Sudáfrica a isla Mauricio (Greathead 1971) para controlar *O. tuna* y *O. monacantha*. En ambos casos fue efectivo el control biológico (Julien y Griffiths 1998).

En 1957, entomólogos británicos enviaron *Cactoblastis* de Sudáfrica y la liberaron en la isla de Nevis, en el grupo de islas de Sotavento de las islas del Caribe (Simmonds y Bennett 1966). El fin era controlar



Fig. 38. La isla Gran Caimán en el Caribe estaba severamente invadida por *O. dillenii*. Sin embargo, sólo algunas plantas sobrevivieron después de la introducción de *Cactoblastis* en 1962 (foto F. D. Bennett 1960)
Grand Cayman in the Caribbean was severely invaded by *O. dillenii*. Only a few plants remained after the introduction of *Cactoblastis* in 1962 (photo F. D. Bennett 1960)

than those of the older segments (Petthey 1948).

Whereas low temperatures of up to -8°C under dry conditions for a short duration have never been recorded to kill *Cactoblastis* larvae or eggs in South Africa, moths do not lay eggs during nights when the temperatures are below 12°C , and low night temperatures during the winter generation are

regarded as the most important factor limiting fecundity in this country. The longer developmental times during the winter generation increase the vulnerability of larval and pupal stages to predation and parasitism. On the other hand, exposure of larvae to sand or gravel at high temperatures (of 40°C or more) is a common cause for deaths in South Africa (Petthey 1948).

Islands in the Caribbean and other countries

In 1950, *Cactorum* was brought from Australia to Hawaii (Fullaway 1954) to control *O. ficus-indica*, and from South Africa to Mauritius (Greathead 1971) to control *O. tuna* and *O. monacantha*. In both cases, biocontrol was effective (Julien & Griffiths 1998).

In 1957, *Cactoblastis* was shipped from South Africa by British entomologists and released on the island of Nevis, in the Leeward Islands group of the Caribbean (Simmonds & Bennett 1966). The aim was to control two species of *Opuntia*, namely *O. triacantha* and *O. dillenii* which became widespread and abundant because of their use as living hedges and barrier plants, and to protect habitations and

un complejo de nopales nativos, dominados por *O. triacantha* y *O. dillenii*, los cuales se habían vuelto muy abundantes debido a su uso como cercos vivos y para proteger casas y fortalezas (Howard y Touw 1981; 1982). La abundancia de estas especies se vio aún más potenciada por la deforestación de la isla seguida por el sobrepastoreo (Fig. 38). Para 1950 el libre pastoreo se vio severamente limitado y el ganado sufría heridas muy fuertes causadas por los cladodios espinosos. El control biológico se consideró como una solución obvia de corto plazo, tomando en cuenta el éxito obtenido en otras regiones.

Cactoblastis controló de manera efectiva a los nopales nativos (Simmonds y Bennett 1966). Esta introducción parece imprudente al mirarla en retrospectiva. Los protocolos que regulan el control biológico de malezas, y que ahora son aceptados internacionalmente, no hubieran aprobado la liberación de *C. cactorum* en una isla con *Opuntias* nativas y en la vecindad del centro de origen de tantas otras especies de *Opuntia*. Sin embargo, en aquel momento la biodiversidad no era tan apreciada como lo es ahora y nadie se opuso a la liberación (Zimmermann *et al.* 2000).

Después del exitoso control de *Opuntia* en Nevis, se introdujo *Cactoblastis* a las islas vecinas de Montserrat, Saint Kitts y Antigua en 1962 y a Gran Caimán en 1970. Por la misma época *Cactoblastis* fue ilegalmente introducido a las islas Vírgenes (E.U.) y muy probablemente también a otras islas vecinas que presentaban el mismo tipo de problemas con especies invasivas de *Opuntia* (Fig. 39). En estas islas también controló a especies nativas de *Opuntia* (Simmonds y Bennett 1966). En 1971 se envió *Cactoblastis* de Nevis a la isla Santa Elena y de allí a la isla Ascensión en 1973. Los intentos para establecer *Cactoblastis* en Kenya, Pakistán e Israel han fallado (Julien y Griffiths 1998).

fortresses (Howard & Touw 1981, 1982). The abundance of these species was further compounded by large scale deforestation, followed by overgrazing (Fig. 38). By 1950 grazing was severely impeded and livestock suffered serious physical injury caused by the spiny cladodes. Biological control was seen as the obvious and only short-term solution in view of the successes recorded elsewhere.

Cactoblastis gave very effective control of the indigenous cacti (Simmonds & Bennett 1966). In hindsight, this introduction was unwise. The internationally accepted protocols currently regulating biological control of weeds would not have approved the release of *C. cactorum* on an island with indigenous *Opuntia*e and in the vicinity of the centre of origin of so many additional *Opuntia* species. However, at that time biodiversity was not held in as much esteem as it is today, and nobody contested this release (Zimmermann *et al.* 2000).

Following the successful control of *Opuntia* on Nevis, *Cactoblastis* was sent from there to the surrounding islands of Montserrat, St. Kitts and Antigua in 1962, and to Grand Cayman in 1970. It was illegally introduced to the USA Virgin Islands at about the same time, and most likely to other neighboring islands who all experienced problems with invasive *Opuntia* spp. (Fig. 39). On these islands, it also controlled native *Opuntia* species (Simmonds & Bennett 1966). *Cactoblastis* was shipped from Nevis to St. Helena Island in 1971, and from there to Ascension Island in 1973. Attempts to establish *Cactoblastis* in Kenya, Pakistan and Israel have failed (Julien & Griffiths 1998).

Dispersión inadvertida de *Cactoblastis cactorum* a otras islas del Caribe y a América del Norte

Islas del Caribe

Cactoblastis se reportó primero en la isla de Desecheo (Puerto Rico) y en otras islas pertenecientes a las Grandes Antillas en 1963 (García-Tuduri 1971) y resulta difícil creer que el insecto se haya dispersado de manera natural a una distancia tan larga, en el transcurso de un año, hacia las Pequeñas Antillas. El hecho de que la vecina isla Mona, que se encuentra deshabitada, se encuentre libre de *Cactoblastis* concuerda con esta hipótesis. Durante los años de la década de los 70, Cuba estaba considerando seriamente la liberación intencionada de *Cactoblastis* para controlar las invasiones rampantes de *O. dillenii*, sin embargo no lo hicieron. A pesar de ello, en 1980 *Cactoblastis* fue detectado en Guantánamo (Blanco y Vázquez 2001). Se desconoce como fue que la palomilla se estableció en la Española y las demás Antillas. El primer registro oficial de *Cactoblastis* en Jamaica y Guadalupe fue en 2005 (Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2006), a pesar de que evidentemente el insecto se encontraba en estas islas por lo menos hacía 20 años. Varias de las Pequeñas Antillas parecen estar libres de *Cactoblastis*. Las autoridades holandesas se han negado a introducir

The inadvertent dispersal of *C. cactorum* to additional Caribbean Islands and North America

The Caribbean Islands

Cactoblastis was first recorded on Desecheo Island (Puerto Rico) and other islands in the Greater Antilles in 1963 (García-Tuduri 1971) and it is difficult to believe that the insect would have dispersed naturally over such a long distance to some islands in the Lesser Antilles within a year. The fact that the uninhabited nearby Mona Island is free of *Cactoblastis*, supports this assumption. Cuba was seriously considering the deliberate release of *Cactoblastis* to control rampant invasions of *O. dillenii* during the late seventies but then decided against it. The insect was, however, recorded in Guantanamo, Cuba, about a year later in 1980 (Blanco & Vázquez 2001). It is not known how the moth reached Hispaniola and other islands in the Greater and Lesser Antilles. The first official record of *Cactoblastis* on Jamaica and Guadeloupe was in 2005 (Zimmermann & Pérez-Sandi Cuen 2006) although it is evident that the insect must have been there for at least twenty years. There are several smaller islands, mainly in the Lesser Antilles, that appear to be free of *Cactoblastis*. The Dutch authorities have deliberately refused the introduction of *Cactoblastis* to the Dutch Antilles despite pressure from ranchers to do so. Heavy infestations of *Cactoblastis* in nursery stock of *O. pilifera*, *O. leucotricha* and *O. (Nopalea) cochenillifera* in a large nursery in the Dominican Republic (Zimmermann & Pérez-Sandi Cuen 2006),

the Dutch Antilles despite pressure from ranchers to do so. Heavy infestations of *Cactoblastis* in nursery stock of *O. pilifera*, *O. leucotricha* and *O. (Nopalea) cochenillifera* in a large nursery in the Dominican Republic (Zimmermann & Pérez-Sandi Cuen 2006),

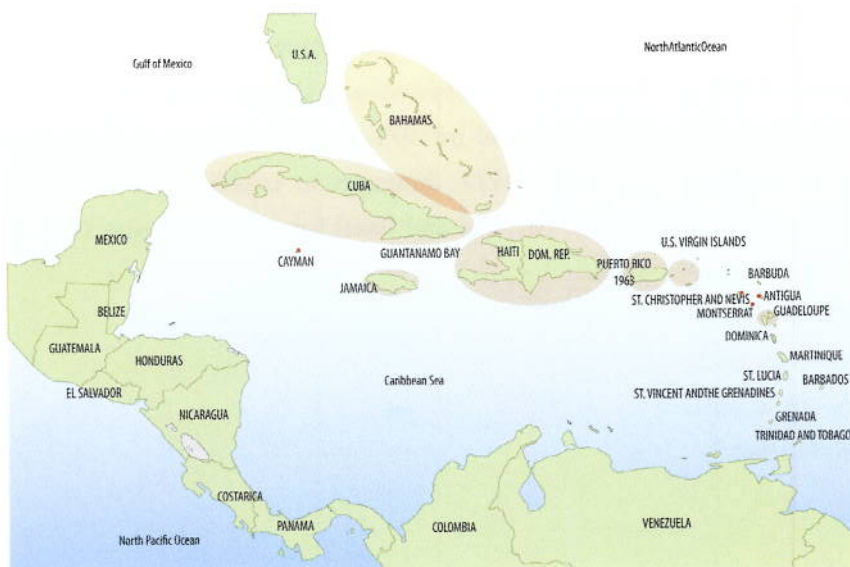


Fig. 39. Distribución actual de *Cactoblastis* en el área del Caribe. Los puntos rojos señalan proyectos oficiales de control biológico y los círculos rojos indican su dispersión inadvertida

The present distribution of *Cactoblastis* in the Caribbean area. Red dots denote official biocontrol projects, and red circles indicate inadvertent dispersal

el insecto a las Antillas Holandesas a pesar de las presiones de los rancheros. Se encontraron altas infestaciones de *Cactoblastis* en un vivero con *O. pilifera*, *O. leucotricha* y *O. (Nopalea) cochenillifera* en República Dominicana (Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2006) que se dedican a la exportación de plantas a muchos países, sobre todo a E.U., por lo que se considera que los viveros han jugado un papel fundamental para la diseminación del insecto en la región (Heppner 2000; Pemberton 1995). La especie exótica *O. (Nopalea) cochenillifera* (Fig. 21) se ha distribuido por todo el Caribe (de manera ilegal) como planta de ornato o como fuente de alimento. Esta especie es hospedera no preferida por *Cactoblastis* (Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2006).

La palomilla del nopal ha reducido tan drásticamente las poblaciones de las malezas blanco, que las plantas se han vuelto muy escasas, por ejemplo *O. dillenii* en Gran Caimán y *O. triacantha* en Saint Kitts (Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2006) (Fig. 42). El impacto de la palomilla es mayor sobre especies pequeñas como *O. taylori*, *O. repens* y *O. triacantha*. Afecta drásticamente las plántulas y el crecimiento de especies raras de *Consolea*, lo cual podría tener consecuencias negativas a largo plazo, afectando la sobrevivencia y recuperación de estas especies.

A pesar de que el movimiento ilegal de *Cactoblastis* a través de material vegetal infestado en la región caribeña puede ser controlado por medio de un mejoramiento en la vigilancia fitosanitaria, aduanas y a través de la difusión de la problemática, la palomilla podría diseminarse por medios naturales potenciados por eventos climáticos durante la temporada de huracanes. Por lo tanto, debe asumirse que *Cactoblastis* se dispersará a todas las islas del Caribe en algún lapso de tiempo.

Florida, Estados Unidos

En octubre de 1989, Habeck y Bennett (1990) fueron los primeros en reportar el descubrimiento de

exporting to many countries, but mainly to the US, must have played a major role in the spread of the insect throughout the region (Heppner 2000; Pemberton 1995). The alien species, *O. (Nopalea) cochenillifera* (Fig. 21) has also been widely distributed throughout the Caribbean (mainly illegally) as an ornamental and as a food source. The species is a common but less preferred host of *Cactoblastis* (Zimmermann & Perez-Sandi Cuen 2006).

The cactus moth has drastically reduced populations of the target weeds to the point where they have become scarce, e.g. *O. dillenii* on Grand Cayman and *O. triacantha* on St. Kitts (Zimmermann & Perez-Sandi Cuen 2006) (Fig. 42). The impact of the cactus moth is most severe on the smaller species, e.g. *O. taylori*, *O. repens* and *O. triacantha*. It severely affects the seedlings and regrowth of some of the rare *Consolea* species which may have consequences for the long-term recruitment and survival of these species.

Although the illegal movement of *Cactoblastis* by means of infested plant material throughout the region may be curtailed through improved vigilance, border controls and awareness, the moth can still spread by natural means, compounded by weather events during the hurricane season. It must be assumed that *Cactoblastis* will spread to all the islands within the Caribbean in time.

Florida, US

Habeck & Bennett (1990) were the first to report the presence of *Cactoblastis* in the Florida Keys - one adult female collected in a mercury vapor lamp - in October 1989 (#1, fig. 40). In addition, larvae were collected from infested *O. stricta* in 1989 (#2, fig. 40) and again in May 1990 (#3, fig. 40) (Dickle 1991). Between May 1990 and October 1991 collections of *Cactoblastis* were made at several locations along both Florida coasts that went as far north as Brevard County (#4, fig. 40) to the east and Manatee County

Cactoblastis en los Cayos de Florida –una hembra adulta recogida en una lámpara de vapor de mercurio– (#1, Fig. 40). En 1989 también se recogieron larvas de *Cactoblastis* en *O. stricta* infestadas (#2, Fig. 40) y de nuevo en mayo de 1990 (#3, Fig. 40) (Dickle 1991). Entre mayo de 1990 y octubre de 1991 se realizaron recolecciones de *Cactoblastis* en varias localidades a lo largo de ambas costas de Florida, las cuales llegaron tan al norte como hasta el condado Brevard (#4, Fig. 40) por el este hasta el condado Manatee (#5, Fig. 40) por el oeste, a 330 y 370 kilómetros al norte respectivamente del sitio de detección inicial en los Cayos de Florida. Para 1999 se había reportado *Cactoblastis* de la isla Cumberland (#6, Fig. 40) en la costa sur de Georgia.

Más recientemente Hight *et al.* (2002) encontraron *Cactoblastis* tan al norte como la isla Folly (#7, Fig. 40) cerca de Charleston, Carolina del Sur y tan al oeste como la isla St. George (#8, Fig. 40), en el condado Franklin, Florida. Además, varias infestaciones tierra adentro que estaban sin reportar en los condados Orange y Pensacola (#9, Fig. 40) a medio camino “arriba” de la península de Florida, fueron reportadas por Hight *et al.* (2002). El límite occidental de *Cactoblastis* en 2006 está en la isla Dauphin y en Fort Morgan, Alabama (al oeste de Pensacola, Florida) (Solis *et al.* 2004; S.D. Hight, com. pers.).

Aunque se desconoce la forma como llegó *Cactoblastis* a Florida, varios autores han sugerido como una hipótesis plausible su dispersión natural desde el Caribe “brincando de isla en isla” (Habeck y Bennett 1990; Johnson y Stiling 1996). Los eventos climatológicos en el Caribe, especialmente durante la temporada veraniega

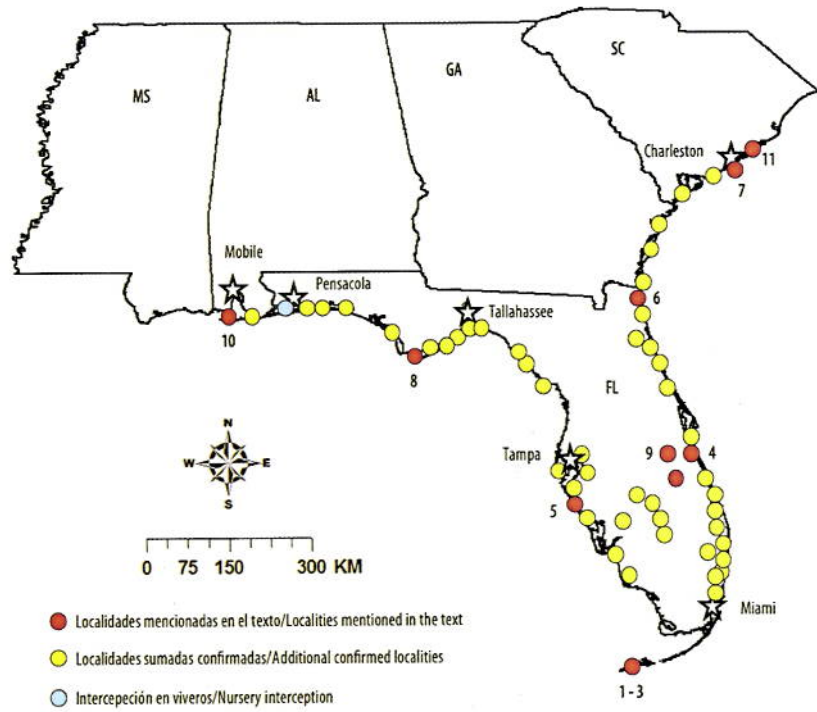


Fig. 40. Mapa del sudeste de los Estados Unidos mostrando los registros de *Cactoblastis* hasta 2006
Map of south-eastern USA, showing recorded sightings of *Cactoblastis* until 2006

(#5, fig. 40) to the west, approximately 330 and 370 km north, respectively, from the initial detection site in the Florida Keys. By 1999, *Cactoblastis* had been reported from Cumberland Island (#6, fig. 40) on the southern coast of Georgia. More recently, Hight *et al.* (2002) found *Cactoblastis* as far north as Folly Island (#7, fig. 40) near Charleston, South Carolina and as far west as St. George Island (#8, fig. 40), Franklin County, FL. In addition, several previously unreported inland infestations were also reported by Hight *et al.* (2002) at Orange and Osceola Counties (#9, fig. 40) halfway “up” the Florida peninsula. The 2006 westward limit of *Cactoblastis* is currently at Dauphin Island and Fort Morgan, Alabama (west of Pensacola, Florida) (Solis *et al.* 2004; S. Hight, pers. comm.).

Although the method by which *Cactoblastis* reached Florida is unknown, several authors have suggested natural spread through “island hopping” from the Caribbean as a plausible hypothesis (Habeck & Bennett 1990, Johnson & Stiling 1996). Weather events

de huracanes (junio a noviembre), pudieron haber sido también motivo de su dispersión y debemos tenerlos presentes conforme se rastreen las infestaciones a lo largo de la costa del Golfo (Stiling 2002). Pemberton (1995) reportó desde 1981, intercepciones de *Cactoblastis* en Estados Unidos en material vegetativo proveniente de un vivero del Caribe y sugiere que la palomilla pudo haber entrado a Estados Unidos de manera no intencional en embarques de plantas ornamentales (probablemente de *O. pilifera* y *O. leucotricha* procedentes de la República Dominicana). Todas las especies de *Opuntia* que se cultivan y que se exportan a muchos países, encontradas en el invernadero de República Dominicana, que fue visitado durante 2005, estaban infestadas por *Cactoblastis* (Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2006). Heppner (2000) reportó la incautación de un embarque de plantas infestadas con *Cactoblastis* enviadas de Miami a una tienda Wal-Mart cerca de Pensacola, condado Santa Rosa, Florida en junio del 2000, unos 200 kilómetros al oeste del perímetro de la infestación, así como la intercepción de plantas infestadas en equipaje en el aeropuerto internacional de Dallas, Texas. Independientemente de la entrada a los Estados Unidos, el transporte inadvertido de *Cactoblastis* por el hombre es sin duda una preocupación real.

Es difícil evaluar exactamente el ritmo real de la dispersión de *Cactoblastis* en Florida. Como lo sugiere Stiling (2002), uno de los factores que crean confusión es el hecho de que la palomilla pudo haber estado presente en los Cayos de la Florida desde 1985, y que estuviera sin detectarse hasta 1989. Cita como evidencia una carta escrita a la Industria de Plantas, División de Florida, en 1990, que describe el nivel de daño por *Cactoblastis* en los Cayos de Florida como “muy disperso y severo... con nopales reducidos a masas pudriéndose”. Stiling (2002) menciona además, que en Australia y Sudáfrica tomó varios años para que las poblaciones de especies *Opuntia* fueran destruidas de esta manera (Dodd 1940; Pettey 1948). Aunque los

in the Caribbean, particularly during the summer hurricane season (June-November), may have played a part in its dispersal and should be kept in mind as infestations along the Gulf Coast are tracked (Stiling 2002). Pemberton (1995) reported USA interceptions of *Cactoblastis* in nursery stock from the Caribbean as early as 1981 and suggests that the moth may have entered the US as an unintended introduction in shipments of ornamental cactus plants (most likely on leaf pads of *O. pilifera* and *O. leucotricha* from the Dominican Republic). All *Opuntia* species were found to be infested with *Cactoblastis* during a visit to a leading nursery in the Dominican Republic in 2005 which exports ornamental cacti to many countries (Zimmermann & Pérez-Sandi Cuen 2006). Heppner (2000) reported an interdiction of *Cactoblastis* in a shipment of cactus plants from Miami to a Wal-Mart store near Pensacola, FL, in June 2000, some 200 km west of the (at that time) current leading edge of the infestation, as well as an interception of infested plants in baggage at the Dallas International Airport in Texas. Regardless of its mode of entry into the US, clearly the inadvertent transport of *Cactoblastis* by man is a real concern.

It is difficult to accurately assess the true rate of spread of *Cactoblastis* in Florida. As suggested by Stiling (2002) one of the confounding factors is that the moth may have been present in the Florida Keys as early as 1985 and remained undetected until 1989. He cites as evidence a letter written to the Florida Division of Plant Industry in 1990 that describes the level of damage by *Cactoblastis* in the Florida Keys as “widespread and severe ... with cacti being reduced to rotting masses”. Stiling (2002) further states that in Australia and South Africa it took several years for *Opuntia* stands to collapse in this manner (Dodd 1940; Pettey 1948). Even though initial records suggest that dispersal from the Florida Keys to Brevard County occurred much faster than had been reported for *Cactoblastis* in other parts of the world, once bet-

registros iniciales sugieren que la dispersión desde los Cayos de Florida al condado Brevard fue más rápida de lo que había sido reportado para *Cactoblastis* en otras partes del mundo, una vez que se contó con mejores registros de su colonización, fue evidente que la palomilla viajó alrededor de 120 kilómetros por año (Stiling 2002 con base en datos reportados en Johnson y Stiling 1998; Hight *et al.* 2002; Hight com. pers.). Es claro que se justifica realizar un trabajo adicional sobre la dispersión de *Cactoblastis* en Florida, por la necesidad de predecir cuándo hará su aparición la palomilla en las regiones ricas en especies de *Opuntia* del suroeste de los Estados Unidos y México.



Fig. 41. El raro cactus semáforo (*Opuntia corallicola*) el cual es amenazado por *Cactoblastis*
The rare semaphore cactus (*Opuntia corallicola*), which is threatened by *Cactoblastis*

La llegada de *Cactoblastis* a Florida fue vista con gran preocupación por muchos autores, debido a su potencial impacto adverso sobre especies de *Opuntia* nativas presentes en el estado, incluyendo la rara *O. corallicola* (= *Consolea spinosissima* –nopal semáforo) (Stiling *et al.* 2000) (Fig. 41, *O. cubensis* y *O. triacantha*). Todas las especies de *Opuntia* presentes en Florida son atacadas por *Cactoblastis* y las infestaciones pueden ser severas, con hasta treinta bastones de huevecillos recogidos de una sola planta en un período de 24 horas (sobre *O. Ficus-indica* en Alligator Point, Florida, en julio de 2003, K.A. Bloem, com. pers.).

México

La primera detección de *C. cactorum* en México ocurrió el primero de agosto de 2006 en Isla Mujeres. La isla se encuentra a 8 km mar adentro de la costa del centro turístico internacional de Cancún, en la

ter records of colonization were collected it appeared that the moth was dispersing over a distance of about 120 km per year (Stiling 2002 based on data reported in Johnson & Stiling 1998; Hight *et al.* 2002; Hight pers. comm.). Additional work on *Cactoblastis* dispersal and mobility is warranted because of the need to predict when the moth will make its appearance in the opuntia-rich regions of the south-western United States and Mexico.

The arrival of *Cactoblastis* in Florida was viewed with grave

concern by many authors because of its potential adverse impact on native *Opuntia* species occurring in the state, including the rare *O. corallicola* (= *Consolea spinosissima* – the semaphore cactus) (Stiling *et al.* 2000) (Fig. 41), *O. cubensis* and *O. triacantha*. All *Opuntia* spp. present in Florida are attacked by *Cactoblastis*, and infestations can be severe, with thirty egg-sticks collected from a single plant in a 24-hour period (on *O. ficus-indica* at Alligator Point, FL, July 2003, K.A. Bloem, pers. comm.).

Mexico

C. cactorum was first detected on Mexican territory on the island of Isla Mujeres by Javier Tovar on the 1st of August 2006. This island is about 8 km offshore close to Cancun which is a very popular international tourist destination on the Yucatan peninsula. The discovery was made by government officials as part of their monitoring and prevention campaign against the cactus moth. It is hypothesized that the cactus moth might have arrived on Isla Mujeres from the Caribbean in late 2005, either



Fig. 42. Las pocas plantas sobrevivientes de *O. dillenii* en Montserrat están severamente afectadas por *Cactoblastis*, después de su introducción deliberada en 1962

The few remaining *O. dillenii* plants on Montserrat are severely affected by *Cactoblastis* after its deliberate introduction there in 1962

península de Yucatán. El descubrimiento fue realizado por Javier Tovar del Comité Estatal de Sanidad Vegetal encargado de la campaña de monitoreo y detección en contra de la palomilla del nopal. Existe la hipótesis de que la palomilla arribó a la isla desde el Caribe a finales del 2005, acarreada por los huracanes Stan o Wilma, o a través del tráfico de plantas por turistas. Después del descubrimiento, las autoridades mexicanas iniciaron una campaña de control que implicó la destrucción de todas las *Opuntia* de la isla, con excepción de algunas plantas utilizadas para monitorear las poblaciones remanentes de *Cactoblastis*. Al mismo tiempo se están utilizando trampas con feromonas del insecto (Bloem *et al.* 2005) para monitorear la eficacia de la campaña. El objetivo fue controlar a la palomilla en la isla para principios del 2007.

El monitoreo y la detección en el continente fueron intensificados en la zona aledaña a Cancún. Existen puntos fijos de muestreo en los tres estados que conforman la península de Yucatán, en los cuáles se inspecciona visualmente cada dos meses la presencia de *Cactoblastis*. Esto ha sido complementado con trampas con la feromona en puntos estratégicos, esencialmente en la costa de Cancún frente a Isla Mujeres. Por otro lado, todas las plantas ornamentales y los cultivos de *Opuntia* spp de la región también se están monitoreando para la presencia de *Cactoblastis*. Las principales especies de la península son *O. dillenii*, *O. (Nopalea) cochenillifera* y *O. (Nopalea) gaumeri*.

blown in by hurricanes Stan or Wilma or by means of tourist traffic. After this discovery the Mexican Government initiated a control campaign which involves destroying all *Opuntia* hosts on the island with the exception of few trap plants that are used to monitor the remaining *Cactoblastis* populations. Sticky traps with experimental pheromone lures (Bloem *et al.* 2005) are also being used to monitor the efficacy of the campaign. The aim was to control the cactus moth on the island by early 2007.

Monitoring and detection efforts on the mainland was immediately intensified, particularly in and around Cancun. There are several hundred fixed survey points in the three states that make up the Yucatan peninsula and which are visually inspected for *Cactoblastis*. This is done about every two months. This effort is being supplemented with pheromone traps at strategic points, but mainly along the shores of Cancun facing Isla Mujeres. All garden plants and cultivations involving *Opuntia* spp. are also surveyed for *Cactoblastis* damage. The main species on the peninsula are *O. dillenii*, *O. (Nopalea) cochenillifera* and *O. (Nopalea) gaumeri*. The aim was to eradicate *Cactoblastis* on Isla Mujeres by the beginning of 2007 but recent captures (May 2007) of males in pheromone traps, followed by the discovery of infested plants on the island of Contoy, confirmed that the moth has now established outside Isla Mujeres. Unfortunately the recent captures of six males in pheromone traps on the mainland at Cancun in January and February 2007 indicate that the moth could have established on the mainland. A larval infestation could, however, not yet be detected on the mainland and no additional captures of males in traps occurred during the subsequent six months.

Desafortunadamente las recientes capturas de machos en las trampas con la feromona en la isla Contoy y en Cancún, son una indicación de que la palomilla podría haberse establecido fuera de Isla Mujeres y que ya esté en tierra firme. Desafortunadamente la captura de seis machos con trampas de feromonas en las costas de Cancún en enero y febrero del 2007, indicaban que la palomilla pudiera haberse establecido en el continente. Sin embargo, no se detectó una infestación larval ni tampoco se capturaron más machos con las trampas de feromona durante los siguientes seis meses.

Existen programas de monitoreo en otros estados de la República Mexicana que son vulnerables a la invasión, principalmente los colindantes con el sureste de Estados Unidos, Cuba y otras islas Caribeñas. Estos esfuerzos se han respaldado con una campaña publicitaria, por la entrada en vigor de nuevas regulaciones cuarentenarias que previenen el movimiento o la importación de material infestado y por el involucramiento de varias organizaciones no gubernamentales que están interesadas en la protección de la flora de *Opuntia* mexicanas.

Monitoring programs continue in other Mexican states that are open to invasion from either the southeastern US, from Cuba and other Caribbean islands. These efforts are supported by an publicity campaign, by enforcement of new quarantine regulations that will prevent movement or importation of infested cactus material and by the future involvement various non-governmental organizations with a keen interest to protect Mexico's unique *Opuntia* flora.



Capítulo 5

***Cactoblastis cactorum* como una amenaza**

Considerando la presencia de *Cactoblastis* en la mayoría de las islas que conforman las Grandes Antillas en el Caribe, así como en Florida, Georgia y Carolina del Sur (Estados Unidos), en Isla Mujeres e isla Contoy (México), es inevitable que este voraz insecto que se alimenta de nopales también encuentre su camino a Texas, a estados adyacentes en Estados Unidos, a México y hacia Belice y Guatemala.

Rutas potenciales de dispersión a Texas, estados adyacentes y a México

Un listado general de las rutas potenciales de dispersión al norte y al oeste de Estados Unidos y a México (Fig. 43) incluye:

- Continuo movimiento de *Cactoblastis* hacia el oeste, vía la costa del Golfo a lo largo de un “puente de *Opuntia*”.
- Transportación hacia el norte y el oeste del Caribe facilitado por eventos climáticos.
- Movilización de plantas de vivero infestadas.
- Movilización intencional (no autorizada) por propietarios de casas y terrenos.
- Transporte accidental de insectos por el hombre en vehículos.

Si las temperaturas bajas promedio de los hábitats conocidos de *Cactoblastis* en Sudamérica se comparan con las de varias localidades de América del Norte, hay indicios de que la palomilla probablemente pueda sobrevivir tan al norte como Charleston (Carolina del Sur), San Antonio (Texas) y Sacramento (California) (Pemberton 1995). De hecho, no hay duda que *Cactoblastis*

Chapter 5

***Cactoblastis cactorum* as a threat**

Considering the presence of *Cactoblastis* on most islands of the Greater Antilles in the Caribbean, as well as in Florida, Georgia, Alabama, South Carolina (US), on Isla Mujeres and Contoy island (Mexico), there is a high probability that the insect will eventually also find its way to Texas and adjacent states and to the entire central American mainland including Mexico, Belize and Guatemala.

Potential dispersal routes to Texas, adjacent States and Mexico

A general listing of potential dispersal routes north and west into other USA States and Mexico (Fig. 43) includes:

- Continued unaided westward movement of *Cactoblastis* via the Gulf Coast along the “opuntia bridge”
- Transportation north and west from the Caribbean facilitated by weather events
- Movement of infested nursery plants
- Intentional (non-approved) movement by landowners or homeowners
- Accidental transport of insects in man-made vehicles, crates etc.

If the mean minimum temperatures of known *Cactoblastis* habitats in South America are compared with various North American localities, indications are that the moth would probably be able to survive as far north as Charleston (South Carolina), San Antonio (Texas) and Sacramento (California) (Pemberton 1995). Indeed, *Cactoblastis* is already established at Folly Island

Fig. 43. Posibles rutas de entrada de *Cactoblastis* a México
Possible entry routes of *Cactoblastis* into México



ya se estableció en la isla Folly en la costa del Atlántico cerca de Charleston, Carolina del Sur (Hight *et al.* 2002).

Se están llevando a cabo estudios en Florida para determinar las temperaturas extremas en las cuales *Cactoblastis* se puede reproducir con éxito. Otra técnica para estudiar su rango de hospederas bajo condiciones de campo, sugerida por Carpenter *et al.* (2001a), consiste en liberar *Cactoblastis* estériles incapaces de reproducirse en varias regiones de los Estados Unidos y de México, sin la preocupación de establecer una población que pueda reproducirse. Los resultados de ambos estudios podrían ser útiles para predecir los límites geográficos reales para *Cactoblastis* en los Estados Unidos y en México.

Soberón *et al.* (2001) y Pérez-Sandi Cuen (2001) presentaron datos bioclimatológicos para determinar la posible distribución y dispersión de *Cactoblastis* hacia México. Con base en estos datos y la presencia de hospederas favorables, llegaron a la conclusión que las rutas más probables de invasión hacia México son de Florida, a lo largo de los Estados de la Costa del Golfo hacia Texas, y de allí, hacia el norte de México. Además, otra posibilidad indudable es la dispersión de *Cactoblastis* proveniente de Cuba, Haití y República Dominicana hacia México a través de Yucatán o por Guatemala y Belice, ayudada por eventos climáticos (Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2006). El riesgo de la introducción ilegal de material vegetal infestado proveniente del Caribe hacia México es mucho menor debido a que el comercio y turismo son limitados entre estos países. Sin embargo, el control estricto

off the Atlantic Coast near Charleston, SC (Hight *et al.* 2002). Studies in Florida are underway to determine the lowest and highest temperatures at which *Cactoblastis* is able to reproduce successfully. Another technique to verify the potential host range of this species under field conditions is to release reproductively inactivated *Cactoblastis* in various regions of the US and Mexico without concern of establishing a breeding population (Carpenter *et al.* 2001a). The results of these studies should be useful to predict the true geographic limits and potential impacts of *Cactoblastis* in the US and Mexico.

Soberón *et al.* (2001) present bio-climatic data to determine the possible distribution and spread of *Cactoblastis* throughout Mexico. Based on this data and on the presence of favourable hosts, they conclude that the most likely routes of invasion into Mexico are from Florida along the Gulf Coast states into Texas and from there into northern Mexico. In addition, dispersal of *Cactoblastis* from Cuba, Haiti, Jamaica and the Dominican Republic to Mexico across the Yucatán channel or via Belize and Guatemala, aided by weather events, is a distinct possibility (see also Zimmermann & Perez-Sandi Cuen 2006). The risk of illegal introduction of infested plant material from the Caribbean to Mexico is smaller because of the limited trade and tourism between these countries.

de las aduanas debe ser instaurado para minimizar el riesgo.

Amenaza para E.U. y México

Aunque aún no está claro qué especies de nopales van a ser atacadas, el establecimiento de *C. cactorum* en el suroeste de los Estados Unidos y en México, tendrá efectos devastadores en el paisaje y la biodiversidad de los ecosistemas nativos del desierto, así como sobre las industrias de las especies de *Opuntia* como forraje y verdura en estas regiones. Por ejemplo, aún en Florida donde las seis especies de *Opuntia* spp. nativas son un componente menor de la flora nativa, hay tres especies de *Opuntia* (*O. corallicola*, *O. triacantha* y *O. cubensis*) que están limitadas a poblaciones locales en los Cayos de Florida. *O. triacantha* y *O. cubensis* son consideradas especies raras y *O. corallicola* está bajo revisión para añadirla a la Lista Federal de Especies en Peligro de Extinción (Johnson y Stiling 1998; pero ver Hight *et al.* 2002). Estas especies y otras más son afectadas por *Cactoblastis*.

El hábitat de las especies de *Opuntia* en Florida es compartido por fauna exótica y en peligro de extinción como el picudo *Gersteckeria* del nopal (C. W. O' Brien, com. pers.), la mariposa cola de golondrina Schaus (*Papilio aristodemus ponceanus*) y las mariposas ala de hoja de Florida (*Anacea troglodita floridalis*) y alas rayadas de Bartram (*Strymon acis bartrami*) (Habeck y Benett 1990). Las especies de *Opuntia* también sirven como plantas nodriza, hábitat para anidar y fuente de alimento para muchos mamíferos, reptiles, aves e insectos. La iguana de la isla rocosa San Salvador, Cayo Verde, Bahamas, está amenazada y en peligro de extinción porque *Cactoblastis* está destruyendo los nopales que son su fuente principal de alimento (Cyril *et al.* 2000). Igualmente, *Cactoblastis* casi ha eliminado a los nopales de la reserva en el campus Boca Ratón de la Universidad Florida Atlantic, en el límite oriental de las Everglades de Florida, los cuales sirven como un alimento importante para la amenazada tortuga

However, stricter border control should nevertheless be implemented to minimize this risk.

Threat to the USA and Mexico

Although it is not yet clear which cactus species will be attacked, the establishment of *C. cactorum* in the south-western US. and Mexico could have devastating effects on the landscape and biodiversity of native desert ecosystems, and on the forage and vegetable industries in these areas. For example, even in Florida where the six native *Opuntia* spp. are a minor component of the native flora, there are three species of *Opuntia* (*O. corallicola*, *O. triacantha*, and *O. cubensis*) that are limited to small local populations in the Florida Keys. *O. triacantha* and *O. cubensis* are considered rare, and *O. corallicola* is under review for addition to the Federal Endangered Species List (Johnson & Stiling 1998; but see Hight *et al.* 2002). These and others are currently being impacted by *Cactoblastis*.

The Florida *Opuntia* habitats are also shared by rare and endangered fauna such as the Gersteckeria weevil (C.W. O'Brien, pers. comm.), Schaus swallowtail, and Florida leaf-wing and Bartram's hair-streak butterflies (Habeck & Bennett 1990). *Opuntia* species also serve as nurse plants, nesting habitats and a food source for many mammals, reptiles, birds and insects. The endangered San Salvador island rock iguana on Green Cay in the Bahamas is being threatened because *Cactoblastis* has almost completely destroyed the cacti that serve as their primary food source (Cyril *et al.* 2000). Similarly, *Cactoblastis* has almost eliminated the *Opuntia* plants from the preserve on the Florida Atlantic University's Boca Raton campus on the eastern edge of the Florida Everglades that serve as an important food for the threatened gopher tortoise (Pierce 1995). Interactions such as these are expected to be an increasingly greater cause for concern as the moth moves westward.

Opuntia species outside of the present distribution of *Cactoblastis* in the US that are known to be attacked

de tierra (*Gopherus polyphemus*) (Pierce 1995). Se espera que este tipo de interacciones sean una creciente causa de preocupación conforme la palomilla avanza hacia el oeste.

De las especies de *Opuntia* fuera de la distribución actual de *Cactoblastis* en Estados Unidos se sabe son atacadas (Tabla I, Capítulo 3), nueve especies nativas de E.U. y cinco de México. En total hay 32 especies de *Opuntia* nativas en los Estados Unidos, nueve son endémicas (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1982). Una de éstas es una especie en peligro y protegida federalmente (*O. basilaris* var. *kernii* y var. *treleasei*, que solamente se encuentran cerca de Bakersfield, California) y doce más están en revisión para obtener su estatus de protección (Departamento del Interior de los Estados Unidos 1993 a,b). La diversidad de especies de *Opuntia* aumenta significativamente en Texas y aún más en México. Además, hay una distribución continua de especies de *Opuntia* potencialmente aceptables como hospederas (“puente de *Opuntia*”) desde Florida y a través del sur de los Estados Unidos hasta la Costa del Pacífico (Mahr 2001). Aunque las especies dominantes de *Opuntia* presentes en el desierto del suroeste aún están siendo probadas para conocer su adecuación como hospederas de *Cactoblastis*, se piensa que la mayoría de las especies de nopal están en riesgo.

Soberón *et al.* (2001) y Pérez Sandi Cuen (2001) discuten la importancia de los productos de las especies de *Opuntia* para México, tanto desde el punto de vista ecológico como del económico. Ecológicamente, las especies de *Opuntia* son componentes dominantes de la flora mexicana natural, especialmente en los desiertos de Chihuahua y Sonora (Fig. 44). México tiene la mayor diversidad de especies de *Opuntia* y las poblaciones cubren una superficie de tres millones de hectáreas. Los nopales constituyen el grupo de plantas más importante para mantener el equilibrio ecológico en grandes



Fig. 44. Las especies de *Opuntia* son componentes ecológicos dominantes de la flora natural mexicana en el desierto de Sonora
Opuntias are dominant ecological components of the natural Mexican flora in the Sonora desert

(Table I, Chapter 3) include nine species that are native to the US and five native to Mexico. In total 32 native *Opuntia* species occur in the US of which 9 are endemic (USA Department of Agriculture 1982). One of these is a federally protected endangered species (*O. basilaris* var. *kernii* and var. *treleasei*, which only occurs near Bakersfield, CA) and 12 others are under review for protected status (USA Department of the Interior 1993a, b). The species diversity of *Opuntia* increases significantly in Texas and even more so in Mexico. Furthermore, there is a continuous distribution of potentially acceptable host species creating an “opuntia bridge” from Florida across the southern US to the Pacific Coast (Mahr 2001). Although the dominant *Opuntia* species present in the desert southwest are still being tested for their suitability as hosts of *Cactoblastis*, many species are thought to be at risk.

Soberón *et al.* (2001) and Perez-Sandi Cuen (2001) discuss the importance of *Opuntia* products in Mexico, both from ecological and economic standpoints. Ecologically, opuntias are dominant components of the natural Mexican flora, especially in the Chihuahuan and Sonoran Deserts (Fig. 44). Mexico has one of the highest species diversities of *Opuntia* with 83 species recorded and populations covering three million hectares of land. *Opuntia* cacti constitute the most important plant group in maintaining the ecological balance in large extensions of the



Fig. 45. En México, 10,000 ha están cultivadas con *Opuntias* para la producción de verdura
 In México, 10,000 ha are planted with *Opuntias* for vegetable production

extensiones del territorio mexicano. Actualmente están reconocidas en México 83 especies de *Opuntia*, de las cuales 55 son endémicas. También contribuyen en forma significativa a la regeneración y estabilidad del suelo y son la principal fuerza en la lucha contra la desertificación. Además, constituyen un alimento básico en la dieta de gran número de especies de mamíferos (incluyendo a los venados, roedores, jabalíes y coyotes), y proveen de sitios para que muchos insectos y aves aniden.

Económicamente, las especies de *Opuntia* en México son un recurso agrícola extremadamente importante, se usan para la producción de jugo fresco, jaleas y bebidas alcohólicas. Miles de empleos son generados por el cultivo de especies de *Opuntia* (Fig. 45) y por la manufactura de sus subproductos en México. Por ejemplo, la producción de fruta (tuna) (Fig. 46) se realiza en 15 estados, utiliza 50,000 hectáreas e involucra a 120,000 productores; mientras que la producción para verdura (Fig. 47) involucra 14 estados, 10,000 hectáreas y 90,000 productores. El valor de la producción para estos productos llega a los 80 millones de dólares anuales y exportaciones con un valor de 30 millones de dólares. Hay 3 millones de hectáreas silvestres y 150,000 hectáreas bajo cultivo regular. Además, México tiene una industria de colorantes,

Mexican territory. Currently 55 species are regarded as endemic. They also contribute significantly to soil stability and regeneration and are a major positive force against desertification. In addition, they constitute an important dietary staple for a number of species of reptiles and mammals (including deer, rodents, javelinas and coyotes) and provide nesting sites for many insects and birds.

Economically, *Opuntia* species in Mexico are an extremely important agricultural resource and are used in the production of fresh juice, jam and alcoholic beverages. Many thousands of jobs are generated by their cultivation (Fig. 45) and manufacture of their by-products in Mexico. For example, fruit production (Fig. 46) occurs in 15 states, draws from 50,000 ha and involves 120,000 growers, while vegetable production (Fig. 47) involves 14 states, 10,000 ha and 90,000



Fig. 46. La producción de tunas en México involucra a 120,000 productores
Opuntia fruit production involves 120,000 growers in México

que utiliza las especies de *Opuntia* como hospederas para la cochinilla *Dactylopius coccus*, insecto productor de uno de ellos (Fig. 48). En áreas marginadas las especies de *Opuntia* se usan como alimento principal para el ganado y como forraje de emergencia durante periodos prolongados de sequía en las áreas ricas y más desarrolladas de México. Además, las especies de *Opuntia* se utilizan como fuente de energía (leña y producción de etanol y biogas), para fabricar jabones, fertilizantes y adhesivos, así como para cercos, setos y como plantas ornamentales.

Muchas de las especies de nopales de mayor importancia comercial son conocidas como hospederas de *Cactoblastis*. Entre éstas, *O. ficus-indica*, *O. streptacantha* y *O. megacantha* -cultivadas para forraje, fruta y verdura- y *O. engelmannii* (= *O. lindheimeri*), *O. stricta* y *O. robusta*, usadas para forraje, son hospederas confirmadas de *Cactoblastis*. Sin embargo, la posibilidad de que *Cactoblastis* ataque a muchas otras especies de *Opuntia* económicamente importantes aún es desconocida. Entre éstas tenemos tres especies de *Opuntia* utilizadas para forraje y verdura (*O. amyclaea*, *O. hyptiacanth*, y *O. tapona*), y seis especies usadas para forraje (*O. azurea*, *O. cantabrigiensis*, *O. durangensis*, *O. phaeacantha*, *O. rastrera* y *O. violacea*). Se necesita con urgencia hacer estudios de especificidad de hospederas (ver Capítulo 6) que incluyan tantas de estas especies como sea posible.

Amenaza a otros países

Además de Estados Unidos y México, muchos otros países en todo el mundo hacen uso de especies de *Opuntia* naturalmente presentes o introducidas para producir varios productos destinados al uso, consumo local o para exportación. Las Tablas II y III resumen la información conocida actualmente de estos países. Los países anotados en la Tabla II aún no tienen presencia de *Cactoblastis*, mientras que los países, en la Tabla III, están tratando de apoyar la producción de productos de nopal al mismo tiempo que manejan la presencia

growers. Production values for these commodities amount to US\$80 million per year, with an export value of US\$30 million. As a forage crop, 3 million ha grow wild and 150,000 ha are under regular cultivation. Mexico also has a small dye industry that utilizes opuntias as hosts for the dye-producing cochineal insect, *Dactylopius coccus* (Fig. 48). In poorer areas *Opuntia* spp. are used as the main food for cattle, and as emergency fodder during periods of prolonged drought in the richer more developed areas of Mexico.

Additionally, opuntias are used as an energy source (as firewood and in the production of ethanol and biogas), to manufacture soap, fertilizers and adhesives, and as living fences, hedges and ornamental plants.

Many of the species that are important commercially are known hosts of *Cactoblastis*. Among these, *O. ficus-indica*, *O. streptacantha* and *O. megacantha* -grown for forage, fruit and vegetable-, and *O. engelmannii* (= *O. lindheimeri*), *O. stricta* and *O. robusta* -used for forage-, are confirmed hosts of *Cactoblastis*. However, the acceptability and suitability of many other economically important *Opuntia* spp. is not yet known. These include three *Opuntia* species used for forage and vegetable (*O. amyclaea*, *O. hyptiacantha*, and *O. tapona*), and six species used for forage (*O. azurea*, *O. cantabrigiensis*, *O. durangensis*, *O. phaeacantha*, *O. rastrera* and *O. violacea*). Host specificity studies (see Chapter 6) that include these species are urgently needed.

Threat to other countries

In addition to the United States and Mexico, many other countries make use of naturally occurring or introduced species of *Opuntia* to produce various products destined for local use and consumption, or for export. Table II and III below summarize currently

de *Cactoblastis*. Estas tablas son una actualización de las originales preparadas como parte del material de trabajo para la reunión de consultores titulada “Mitigando la amenaza de *Cactoblastis cactorum* a los sistemas agrícolas y ecológicos internacionales y biodiversidad”, organizada por el Departamento de Cooperación Técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica y la División Conjunta FAO/OIEA de Aplicaciones Nucleares en Agricultura y Alimentación celebrada en Viena, Austria en julio de 2002.



Fig. 49. *Cactoblastis* no ha llegado a Etiopía donde se utiliza *Opuntia ficus-indica* como forraje y por su fruta
Cactoblastis has not yet reached Ethiopia, where *Opuntia ficus-indica* is utilized as fodder and for its fruit



Fig. 48. Las especies de opuntia son hospederas de *Dactylopius coccus*, de la cual se extrae un valioso tinte color carmin
 Opuntias are the host plants of *Dactylopius coccus*, from which a valuable carmine dye is extracted

known data from these countries. Countries listed in Table II do not have *Cactoblastis*, while countries listed in Table III are attempting to bolster production of cactus products while dealing with the presence of *Cactoblastis*. These tables are updated from the original tables prepared as part of the working material for a consultants meeting entitled “Mitigating the Threat of *Cactoblastis cactorum* to International Agriculture and Ecological Systems and Biodiversity” organized by the International Atomic Energy Agency and the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Applications in Food and Agriculture held in Vienna, Austria in July 2002, (IAEA 2002).



Fig. 50. En Sudáfrica se cultiva *Opuntia robusta* como forraje a pesar de la presencia de *Cactoblastis*
 In South Africa, *Opuntia robusta* is cultivated as fodder despite the presence of *Cactoblastis*

Tabla II. Países que utilizan las especies de *Opuntia*: *Cactoblastis* está ausente

País	Especies	Área estimada en cultivo (ha)	Productos	Observaciones
Brasil (exceptuando las áreas del sur)	<i>O. ficus-indica</i> , <i>O. robusta</i> , <i>O. cochinellifera</i>	600,000	Forraje y fruta	<i>Cactoblastis</i> ocurre naturalmente en el sureste de Brasil, no ha alcanzado las plantaciones de Pernambuco y Paraíba
Chile	<i>O. ficus-indica</i>	2,000	Tinte de cochinilla, Fruta destinada a la exportación	Alto ingreso por tinte de cochinilla
China	<i>O. ficus-indica</i>	150	Tinte de cochinilla y fruta	Está creciendo su nivel de importancia
Perú	<i>O. ficus-indica</i>	70,000	Tinte de cochinilla, forraje y fruta	75% de la producción mundial de cochinilla
Bolivia	<i>O. ficus-indica</i>	1,000	Tinte de cochinilla, forraje y fruta	Aumentando su importancia
Italia	<i>O. ficus-indica</i>	30,000	Fruta, forraje y farmacéutica	Industria principal en Sicilia
España	<i>O. ficus-indica</i>	1,000	Fruta	Principalmente no comercial
Islas Canarias	<i>O. ficus-indica</i>	1,000	Tinte de cochinilla y fruta	Alto ingreso por cochinilla
Israel	<i>O. ficus-indica</i>	300	Fruta	Producción intensa 11 meses del año
Egipto, Portugal, Turquía, Jordania, Pakistán, India, Angola	<i>O. ficus-indica</i>	Desconocida	Forraje y fruta	Apenas iniciando la producción
Túnez	<i>O. ficus-indica</i>	600,000	Forraje y fruta	Aumentando su importancia
Otros países de África del Norte	<i>O. ficus-indica</i>	120,000	Forraje y fruta	Aumentando su importancia en Marruecos y Argelia
Eritrea, Yemen y Arabia	<i>O. ficus-indica</i>	Desconocida	Forraje y fruta	Aumentando su importancia aunque existen algunas invasiones
Etiopía (Fig. 49)	<i>O. ficus-indica</i>	31,000 cultivadas y 300,000 naturalizadas	Forraje, fruta y tinte de cochinilla	Aumentando su importancia para seguridad de alimentos, aunque también hay invasiones

Tabla III. Países que utilizan las especies de *Opuntia*: *Cactoblastis* está presente

País	<i>Cactoblastis</i> como problema en el cultivo de las especies de <i>Opuntia</i>
Argentina	A pesar de la presencia de un gran complejo de enemigos naturales coevolucionados, <i>Cactoblastis</i> sigue siendo una plaga seria en las plantaciones de especies de <i>Opuntia</i> destinadas a la producción de forraje y de fruta. El método de control preferido son los insecticidas. Los campesinos dependen cada vez más de <i>O. ficus-indica</i> como fuente de fruta y rara vez tienen medios para el control de <i>Cactoblastis</i> .
Australia	El cultivo de especies útiles de <i>Opuntia</i> , es desalentado por el temor a entrar en conflicto con los esfuerzos de control biológico contra las especies de <i>Opuntia</i> . Sólo recientemente se han iniciado algunas plantaciones. Se desconoce la situación actual de <i>Cactoblastis</i> , pero se espera que sea similar a la de Sudáfrica.
Cuba	El nopal como fuente de fruta está limitado a plantas aisladas en huertos domésticos. Sin embargo, Cuba está iniciando un proyecto para aumentar el cultivo y los usos del nopal. <i>Cactoblastis</i> puede llegar a ser un factor limitante pues ya está presente en la parte oriental de la isla.
República Dominicana, Haití, Jamaica, Bahamas, Puerto Rico y otras islas pequeñas del Caribe. Zimbawe, Leshoto	<i>Cactoblastis</i> está presente e infestando nopales ornamentales de exportación hortícola de la República Dominicana (ver Pemberton 1995). Muchos propietarios rurales en la mayoría de las islas caribeñas más secas cultivan pequeñas áreas de <i>O. ficus-indica</i> y <i>O. (Nopalea) cochenillifera</i> las cuales son dañadas por <i>cactoblastis</i> .
Namibia	<i>C. cactorum</i> está presente en cultivos de <i>O. ficus-indica</i> . Sin embargo, también hay infestaciones de <i>O. stricta</i> que requieren control con <i>Cactoblastis</i> .
Sudáfrica	Aunque no es un factor limitante, <i>Cactoblastis</i> se considera una plaga seria en plantaciones de <i>O. ficus-indica</i> y <i>O. robusta</i> (Fig. 50). Son necesarios métodos de control (químico y mecánico) para proteger las plantas y para conservar la producción de fruta y forraje. El nopal es cada vez más importante para los productores de subsistencia, quienes no tienen medios para controlar <i>Cactoblastis</i> .
Botswana	Tornándose cada vez más importante como fuente de fruta y forraje en el desierto de Kalahari. <i>Cactoblastis</i> ya está infestando algunos de estos cultivos.

Table II. Countries utilizing *Opuntia* species: *Cactoblastis* absent

Country	Species	Estimated area cultivated (ha)	Products	Remarks
Brazil (except southern areas)	<i>O. ficus-indica</i> , <i>O. robusta</i> , <i>O. cochenillifera</i>	600,000	fodder & fruit	<i>Cactoblastis</i> occurs naturally in the south-east of Brazil and has not yet reached the cactus-growing regions of Paraiba and Pernambuco
Chile	<i>O. ficus-indica</i>	2,000	cochineal dye & fruit	Fruit destined for export; high income from cochineal dye
China	<i>O. ficus-indica</i>	150	Cochineal dye and fruit	Becoming increasingly important
Peru	<i>O. ficus-indica</i>	70,000	cochineal dye, fodder & fruit	75 % of world's cochineal production
Bolivia	<i>O. ficus-indica</i>	1,000	cochineal dye, fodder & fruit	Becoming increasingly important
Italy	<i>O. ficus-indica</i>	30,000	fruit, fodder, pharmaceutical	Major industry in Sicily
Spain	<i>O. ficus-indica</i>	1,000	fruit	Mainly non-commercial
Canary Islands	<i>O. ficus-indica</i>	1,000	cochineal dye & fruit	High income from cochineal
Israel	<i>O. ficus-indica</i>	300	fruit	Intensive production 11 months of the year
Egypt, Portugal, Turkey, Jordan, Pakistan, India, Angola	<i>O. ficus-indica</i>	unknown	fodder & fruit	Production in its infancy
Tunisia	<i>O. ficus-indica</i>	600,000	fodder & fruit	Becoming increasingly important
Other North African countries	<i>O. ficus-indica</i>	120,000	fodder & fruit	Increasing in importance in Morocco and Algeria
Eritrea, Yemen and Arabia	<i>O. ficus-indica</i>	unknown	fruit, fodder and cochineal	Important for food security but invasions also occur
Ethiopia (fig. 49)	<i>O. ficus-indica</i>	31,000 cultivated, 300,000 naturalized	fodder & fruit	Increasingly important for food security

Table III. Countries utilizing *Opuntia* species: *Cactoblastis* present

Country	<i>Cactoblastis</i> as a problem in <i>Opuntia</i> cultivation
Argentina	Despite the presence of a large complex of co-evolved natural enemies, <i>Cactoblastis</i> remains a serious pest in <i>Opuntia</i> plantations destined for fodder and fruit production. Insecticides are the preferred method of control. Peasant farmers increasingly rely on <i>O. ficus-indica</i> as a source of fruit and they rarely have the means to control <i>Cactoblastis</i> .
Australia	Cultivation of useful <i>Opuntia</i> species is discouraged for fear of a conflict of interest with the biocontrol efforts against <i>Opuntia</i> . Only recently has some cultivation been initiated. The present status of <i>Cactoblastis</i> is unknown, but is expected to be similar to its status in South Africa.
Cuba	Cactus pear as a source of fruit is limited to isolated plants in home gardens. However, Cuba is initiating a project to increase cultivation and uses of cactus pear. <i>Cactoblastis</i> may become a limiting factor as it is already present in the eastern part of the island.
Dominican Republic, Haiti, Jamaica, Bahamas, Puerto Rico, and other smaller Caribbean Islands. Zimbabwe, Lesotho	<i>Cactoblastis</i> is present and is infesting ornamental cacti destined for horticultural export from the Dominican Republic (see Pemberston 1995). Many rural households on most of the drier Caribbean islands cultivate small areas of <i>O. ficus-indica</i> and <i>O. (Nopalea) cochenillifera</i> and these are damaged by <i>Cactoblastis</i> .
Namibia	<i>C. cactorum</i> is present in areas of <i>O. ficus-indica</i> cultivation. However, there are also infestations of <i>O. stricta</i> that require control by <i>Cactoblastis</i> .
South Africa	Although not a limiting factor, <i>Cactoblastis</i> is regarded as a serious pest in plantations of <i>O. ficus-indica</i> and <i>O. robusta</i> (fig. 50). Control methods (chemical & mechanical) are necessary to protect plants and to maintain production of fruit and fodder. Cactus pear is becoming more important to subsistence farmers who do not have the means to control <i>Cactoblastis</i> .
Botswana	Becoming increasingly important as a source of fruit and fodder in the Kalahari desert. <i>Cactoblastis</i> is already infesting some of these cultivations.



Capítulo 6

Monitoreo y control de *Cactoblastis cactorum*

Prevención (inspecciones, métodos fitosanitarios, detección temprana, vigilancia pública).

La mejor alternativa para prevenir que una plaga se establezca es su detección oportuna. Esto permite que se realicen actividades para su erradicación, mientras la población aún es pequeña e inestable. También facilita el uso efectivo de prácticas de manejo sencillas, como la remoción y destrucción de pencas infestadas y bastones de huevecillos. Las inspecciones visuales del daño o el uso de trampas cebadas con feromona del insecto son las herramientas más efectivas para detectar nuevas infestaciones (Bloem *et al.* 2001; Bloem *et al.* 2005a). La detección temprana también depende fuertemente de una conciencia total del problema. Una de las primeras líneas de defensa es la educación de los inspectores fitosanitarios, agentes aduanales, guardias forestales, campesinos, productores de especies de *Opuntia*, viveristas, miembros de las sociedades de historia natural, propietarios de casas, maestros, estudiantes y público en general, sobre la gravedad de la amenaza y cómo identificarla, aunado con un nivel creciente de inspección y mayor vigilancia en todos los puertos de entrada (incluyendo aeropuertos y fronteras). Como se indica en la introducción, el objetivo principal de esta publicación es ayudar en el proceso de educación y concienciación.

Las autoridades mexicanas están trabajando en el desarrollo de planes de acción para prevenir la entrada de *Cactoblastis* a México. Algunos de los componentes de estos planes de acción incluyen la realización de estudios de análisis de riesgo, la

Chapter 6

Surveillance and control of *Cactoblastis cactorum*

Prevention (inspections, phytosanitary methods, early detection, public vigilance)

The best chance of preventing a pest from becoming established is early detection. Early detection allows for eradication efforts to be conducted while an infestation is still small and unstable (see below). It also allows for simple management practices, such as removal and destruction of infested leaf pads and of egg sticks, to be used effectively. Presently the use of traps baited with synthetic pheromone and visual inspections to detect damaged plants are the most effective tools for detecting new infestations (Bloem *et al.* 2003; Bloem *et al.* 2005a). Early detection also relies heavily on a heightened awareness of the problem. One of the first lines of defense is the education of agricultural inspectors, border guards, park rangers, ranchers, *Opuntia* growers, members of natural history societies, nurserymen, homeowners, teachers, students and the general public as to the seriousness of the threat and how to identify it, coupled with an increased level of inspection and heightened vigilance at all ports of entry (including airports and borders). As stated in the introduction, the primary objective of this publication is to help in the education and awareness process.

Mexican authorities are working on the development of action plans to deal with the entry of *Cactoblastis* into Mexico. Some of the components of these action plans include conducting risk assessments, implementing public awareness campaigns, training phytosanitary personnel, customs staff and growers

implementación de una campaña de concienciación del público, capacitación del personal fitosanitario y de aduanas, así como de productores, en la identificación de los diferentes estadios del ciclo de vida de *Cactoblastis* y en la detección de plantas dañadas, el establecimiento de un grupo consultivo de expertos científicos internacionales y un aumento en la vigilancia en los posibles puntos de entrada y en áreas designadas de “alto riesgo” (como Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz, Yucatán y Campeche). Un aspecto importante es que en México se propuso una norma emergente, NOM-EM-040-FITO-2003 (con una vigencia de seis meses). Estados Unidos tiene dos planes regulatorios de trabajo pendiente que prohibirán el movimiento de material vegetal vivo de *Opuntia*, *Consolea*, *Cylindropuntia* y *Nopalea* de Alabama, Florida, Georgia y Carolina del Sur hacia otros estados. También la regla interina cambiará el 7 CFR 319.37 que prohíbe la importación de plantas y partes de *Opuntia* de países que tengan *C. cactorum*. Las otras regulaciones refuerzan las existentes y añade la prohibición de material vegetal fresco de países que tengan *C. cactorum* (J. Floyd com. pers.).

Belice y Guatemala

Actualmente no existe evidencia de la presencia de *C. cactorum* en Belice o Guatemala. La escasez de *Opuntia* a lo largo de la costa de estos dos países puede prevenir el establecimiento del insecto, en caso de que llegara a sus costas proveniente del Caribe. Sin embargo, la probabilidad de que la palomilla del nopal entre a Guatemala a través de Puerto Barrios es grande. *O. (Nopalea) cochenillifera* es una especie muy abundante alrededor del Puerto y en los jardines domésticos, y se sabe que es una especie susceptible al ataque de *Cactoblastis*, por lo que estas plantas podrían funcionar como un “puente” para el insecto hacia el valle árido de Motagua que alberga una gran cantidad de cactáceas (Arias y Veliz Pérez 2006). Una vez que *Cactoblastis* llegue a este sitio montañoso, cualquier programa de contención o de control será virtualmente

on the identification of *Cactoblastis* life stages and in the detection of damaged plants, establishment of an expert advisory group that includes international scientists, and increased surveillance at possible points of entry and in areas determined to be “high risk” (such as Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz, Yucatán, Quintana Roo and Campeche). Mexico has recently proposed a Federal Phytosanitary Emergency Law, NOM-EM-040-FITO-2003 (valid for six months only.) The USA has two pending regulatory work plans that will prohibit the movement of live plant material of *Opuntia*, *Consolea*, *Cylindropuntia* and *Nopalea* from Alabama, Florida, Georgia and South Carolina to other states. Also, the interim rule will change 7 CFR 319.37 to prohibit the importation of *Opuntia* species and plant parts from countries that have *C. cactorum*. The other regulation tightens up existing territorial and Hawaiian restrictions and adds a prohibition of fresh plant material from foreign countries that have *C. cactorum* (J. Floyd pers. com.).

Belize and Guatemala

There is no evidence yet of any presence of *C. cactorum* in Belize or Guatemala. The scarcity of *Opuntia* species along the coasts of these two countries may hinder the establishment of the insect in the event of it reaching these shores from the Caribbean. However, the likelihood of the cactus moth entering Guatemala through the active ports of Puerto Barrios is good. *O. (Nopalea) cochenillifera* is an acceptable host for *Cactoblastis* and this species is found in abundance in gardens around the ports and beyond, forming a “bridge” to the cactus-rich dry valley of Motagua to the west (Arias & Veliz Perez 2006). Once *Cactoblastis* has reached this mountainous area any control or containment program will be difficult if not impossible. This dry valley extends westward into Guatemala where it borders with Chiapas, Mexico.

Fortunately plant health officials of these two countries have agreed to include *Cactoblastis* in their

imposible, debido a que este valle se extiende hacia el oeste donde Guatemala hace frontera con Chiapas, México.

Afortunadamente los oficiales de sanidad vegetal de estos dos países han accedido a incorporar a *Cactoblastis* en sus programas existentes de muestreo y monitoreo de plagas cuarentenarias. Belice y Guatemala también serán incluidos en la red regional de *Cactoblastis* para apoyo en entrenamiento, material de divulgación y para intercambio de información.

Vigilancia

La mayoría de los registros de la distribución de *Cactoblastis* en los Estados Unidos son resultado de las inspecciones del daño por la alimentación de las larvas y la presencia de bastones de huevecillos en plantas infestadas. Aunque es difícil localizar huevecillos en plantas situadas en zonas con bajas densidades de población, el daño de las larvas es relativamente fácil de identificar. Las larvas perforan en forma gregaria los cladodios y los agujeran por dentro. Las infestaciones de *Cactoblastis* son características por las secreciones de las heces y del mucílago por las entradas de las larvas (Fig. 51), las pencas de nopal destruidas (Fig. 42), así como la presencia de cladodios blanquecinos como papel (Fig. 54; ver fotografías en el Capítulo 2).

En áreas de Florida, Alabama, Carolina del Sur, Georgia e Isla Mujeres (México) con bajas poblaciones de *Cactoblastis*, se han utilizado trampas pegajosas cebadas con hembras vírgenes, ahora reemplazadas con la feromona sintética (Heath et al. 2006), para atraer a los machos, como indicador de la presencia y abundancia de *Cactoblastis* a lo largo del año (Bloem et al. 2005a; Hight et al. 2002; Solis et al. 2005). Actualmente, la mejor herramienta para monitoreo parece ser una trampa pegajosa Pherocon 1-C (Fig. 52) cebada con la feromona sintética y puesta uno a dos metros sobre el suelo. Las trampas han sido efectivas para detectar al *Cactoblastis* en sitios donde no es evidente el daño de larvas.



Fig. 51. Heces y secreciones de mucílago de una penca infestada con *Cactoblastis*
Frass and mucilage oozing from a *Cactoblastis* infested cactus cladode

existing survey and monitoring program for quarantine pests. Belize and Guatemala will also be included in the regional *Cactoblastis* network for training, publicity material and for general support and on information sharing.

Surveillance

Most distribution records for *Cactoblastis* from the United States have emerged from surveys of larval feeding damage and the presence of egg sticks on infested plants. Although it may be difficult to locate egg-sticks on plants in areas where population densities are low, larval damage is relatively easy to identify. Gregarious larvae bore into the cactus pads and hollow them from the inside. Frass (feces) and plant mucilage oozing from larval entry holes (Fig. 51), collapsed cactus pads (Fig. 42), as well as whitish papery-looking cladodes (Fig. 54) are characteristic of *Cactoblastis* infestations (see Chapter 2 for more photographs).



Durante la fase inicial de trampeo surgieron preocupaciones sobre el uso de hembras fértiles en estas trampas para atraer a los machos en áreas que aún no están infestadas con *Cactoblastis*, debido a esto Bloem *et al.* (2003) realizaron experimentos para determinar si las hembras vírgenes irradiadas, totalmente estériles, eran tan efectivas para atraer a los machos a las trampas como las hembras fértiles no irradiadas. Los resultados indicaron que no había diferencia significativa en la captura de machos en trampas cebadas con hembras vírgenes, que fueron tratadas en forma de pupa madura o como adultos recién emergidos, con 200 Gy de radiación gama, en comparación con las trampas cebadas con hembras fértiles. Las trampas pegajosas cebadas con feromona atrayente sintética ahora están disponibles y son una importante herramienta para un programa de monitoreo de *Cactoblastis*, especialmente para inspecciones lejos de la línea de avance de infestación de la palomilla. En el laboratorio del USDA en Miami, Florida se están realizando estudios para mejorar la eficiencia de la feromona sexual de *Cactoblastis* (N. Epsky, com. pers.).

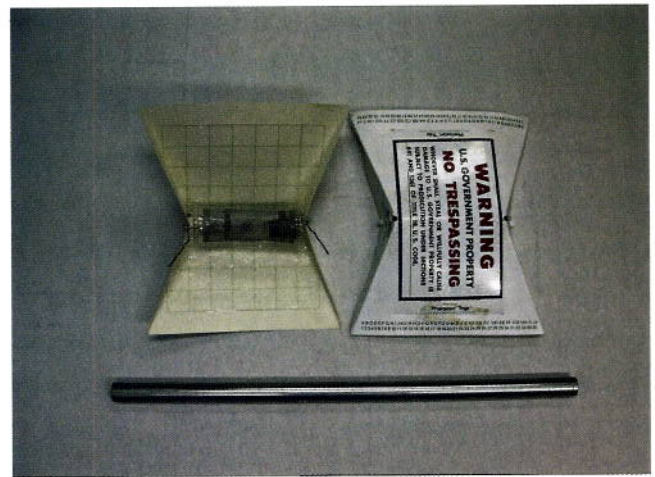


Fig. 52. Trampas con feromona que se han utilizado para la detección de la presencia *Cactoblastis* en las costas de Cancún. Isla Mujeres puede verse en el horizonte
Pheromone traps are used for the detection of *Cactoblastis* presence along the coast of Cancun. Isla Mujeres can be seen on the horizon

Sticky traps initially baited with virgin females, now replaced by a synthetic pheromone (Heath *et al.* 2006), to attract male *Cactoblastis* have been used in areas with low population densities in Florida, Alabama, South Carolina, Georgia and Isla Mujeres (Mexico). These traps are used effectively as indicators of the presence and abundance of *Cactoblastis* throughout the year (Bloem *et al.* 2005^a; Hight *et al.* 2002; Solis *et al.* 2005). Presently, the best trap for monitoring is the Pherocon 1-C sticky trap (Fig. 52) baited with a synthetic pheromone lure placed 1-2 m aboveground. Traps are effective at detecting *Cactoblastis* at sites where no larval feeding damage is evident.

During initial trap development trials fertile females were used as bait to lure males into the traps. Concerns over the use of fertile females in traps in areas that currently are not infested with *Cactoblastis* resulted in Bloem *et al.* (2003) conducting experiments to determine whether irradiated (and fully sterile) virgin females were as effective at luring males into traps as are fertile unirradiated females. Results indicated that there was no significant difference in male captures in traps baited with virgin females treated either as mature pupae or as newly emerged adults with 200 Gy of gamma radiation. Sticky traps

Control

El control de las infestaciones de *Cactoblastis* en plantaciones de nopal se ha realizado en Sudáfrica desde finales de los años cincuenta, cuando fue evidente que no era posible el cultivo comercial de esta planta sin protegerla de la palomilla del nopal y de la cochinilla, *D. opuntiae*. Se han publicado varios artículos sobre este tema (Burger 1972; Annecke *et al.* 1976; Pretorius *et al.* 1986; Pretorius y Van Ark 1992). El control de *Cactoblastis* usualmente es parte de un manejo integrado, el cual con frecuencia va dirigido principalmente al control de la cochinilla, *D. opuntiae*. Por lo tanto son preferibles los insecticidas que sean efectivos contra las dos plagas. Deltamethrin a 15 ml/100 l de agua (25 g activos/l) ha reemplazado a la vieja generación de insecticidas (p. ej. carbaryl en Sudáfrica). Existe una nueva generación de insecticidas como spinosad, cypermethrina y algunos biotipos de *Bacillus thuringiensis* (Bt) que son promisorios.

Las opciones para el control biológico son limitadas (Pemberton y Cordo 2001a), aunque existe un conocimiento considerable sobre los enemigos naturales potenciales en el hábitat nativo de *Cactoblastis*, así como en Australia y Sudáfrica (Dodd 1940; Mann 1969; Robertson y Hoffmann 1989).

La selección de medidas de control para *Cactoblastis* depende de varias circunstancias:

- El valor de la huerta o de la cosecha. Es costoso el control químico riguroso cuando el valor de la cosecha es alto y en los lugares donde el daño de los insectos no es tolerado.
- Los insecticidas persistentes de contacto son la clave para el control exitoso de *Cactoblastis*, pero la tolerancia cero en materia de residuos de insecticida en la fruta, con frecuencia impide el uso de estos insecticidas.
- No es económico proteger huertos de nopal de bajo valor con insecticidas caros. Por ejemplo, los usados para forraje de emergencia durante

baited with synthetic female calling pheromones are now available and are a significant positive addition to a *Cactoblastis* monitoring program, especially for surveys beyond the leading edge of *Cactoblastis* infestations. Efforts to further improve the efficiency of the female sex pheromone for *Cactoblastis* are currently underway at a USDA laboratory in Miami, Florida (N. Epsky, pers. comm.).

Control

The control of *Cactoblastis* infestations in cactus pear orchards has been in practice in South Africa since the late 1950's when it became evident that cultivation of this commercial plant was not possible without protecting it against the cactus moth and the cochineal, *D. opuntiae*. Several publications dealing with this issue were published (Burger 1972; Annecke *et al.* 1976; Pretorius *et al.* 1986; Pretorius & Van Ark 1992). Control of *Cactoblastis* is usually an integrated approach, which is often primarily directed at the control of the cochineal, *D. opuntiae*. Therefore insecticides that are effective against both pest species are preferable. Deltamethrin at 15ml/100 l water (25g active/l) has replaced the older generation insecticides e.g. carbaryl in South Africa. Newer generation insecticides like spinosad, cypermethrin and some biotypes of *Bacillus thuringiensis* (Bt) hold much promise.

The options for biological control are limited (Pemberton & Cordo 2001a) although a considerable knowledge of potential natural enemies within the native range of *Cactoblastis* and in Australia and South Africa exists (Dodd 1940; Mann 1969; Robertson & Hoffmann 1989).

The choice of control measures against *Cactoblastis* is influenced by several circumstances, namely:

- The value of the orchard or crop. Expensive and rigorous chemical control is affordable in cases where the value of the crop is high and where no insect damage is tolerated.

períodos de sequía. En estos casos se llevan a cabo prácticas de saneamiento y de manejo, combinadas con el uso de insecticidas baratos.

- Solamente puede ser controlado *Cactoblastis* en las poblaciones silvestres de especies de *Opuntia* cuando la superficie sea de unas cuantas hectáreas. Por lo tanto, la posibilidad de proteger especies nativas de especies de *Opuntia* distribuidas en grandes extensiones es muy limitada.
- No puede considerarse el control biológico en países como Sudáfrica o Australia, donde aún necesitan a *Cactoblastis* como agente de control biológico para especies invasoras de nopales. El uso de parasitoides o microorganismos específicos ofrece las mejores posibilidades en las islas del Caribe que decidan reducir el impacto de *Cactoblastis*. Sin embargo el control biológico ofrece posibilidades limitadas para Norteamérica por la remota posibilidad de encontrar parasitoides que sean muy específicos para la hospedera (Pemberton y Cordo 2001a).

Prácticas de manejo

En regiones templadas como la Provincia Este del Cabo (Sudáfrica) y en Queensland (Australia), *Cactoblastis* tiene dos períodos de oviposición bien definidos durante la primavera y de nuevo al final del verano o inicio del otoño (Fig. 17, Capítulo 2). En estas regiones los bastones con huevecillos se remueven manualmente durante los períodos de mayor oviposición, y generalmente son suficientes dos inspecciones con dos semanas de diferencia entre sí, para remover gran parte de los huevecillos puestos en cada generación. En regiones más tropicales las generaciones se traslapan considerablemente y aún puede encontrarse presente una tercera generación (Fig. 18, Capítulo 2). En estas regiones se alarga tanto la oviposición, que hace que la recolección de bastones huevecillos sea difícil como método de control. El método preferido es la inspección en busca de cladodios infestados, los cuales

- Persistent contact insecticides are the key to successful control of *Cactoblastis*, but zero residue tolerance on fruit often precludes the use of such insecticides.
- It is not economical to protect low-value cactus pear orchards, e.g. those used for drought emergency fodder, with expensive insecticides. Management practices and sanitation are more often used, sometimes in combination with less expensive insecticides.
- *Cactoblastis* can only be controlled in wild *Opuntia* populations provided that the area is confined to a few hectares. Therefore, the practicality of protecting native *Opuntia* species that are widely distributed is very limited.
- Biological control cannot be considered in countries like South Africa or Australia, which still need *Cactoblastis* as a biocontrol agent for invasive cactus species. The use of host-specific parasitoids and microorganisms can best be implemented on islands, e.g. on some Caribbean islands that wish to reduce the impact of *Cactoblastis*. Biological control offers limited possibilities for North America because of the unlikely availability of host-specific parasitoids (Pemberton & Cordo 2001*).

Management practices

In temperate regions, such as the Eastern Cape Province (South Africa) and Queensland (Australia), *Cactoblastis* has two well-defined periods when egg sticks are deposited: during spring and again late summer/early autumn (Fig. 17, Chapter 2). In these regions the egg sticks are removed from orchards during the peak egg-laying periods, and two surveys about two weeks apart are usually sufficient to remove a large proportion of each generation's egg sticks. In more tropical regions, the generations overlap considerably and there may even be a third generation present (Fig. 18, Chapter 2). Oviposition in these areas is protracted over a considerable period and makes the collecting of

se podan para sacarlos del huerto (Fig. 53) (la poda es una práctica común para dar forma y rejuvenecer las plantas). Los cladodios infestados se destruyen por cualquier método disponible, que puede ser asperjarlos con productos químicos, quemarlos, enterrarlos o picarlos para usarlos como forraje. Los grandes huertos comerciales en Sudáfrica utilizan unas seis personas trabajando medio tiempo por cada 100 hectáreas para el control de *Cactoblastis*. Las plantaciones grandes de *O. robusta* sin espinas

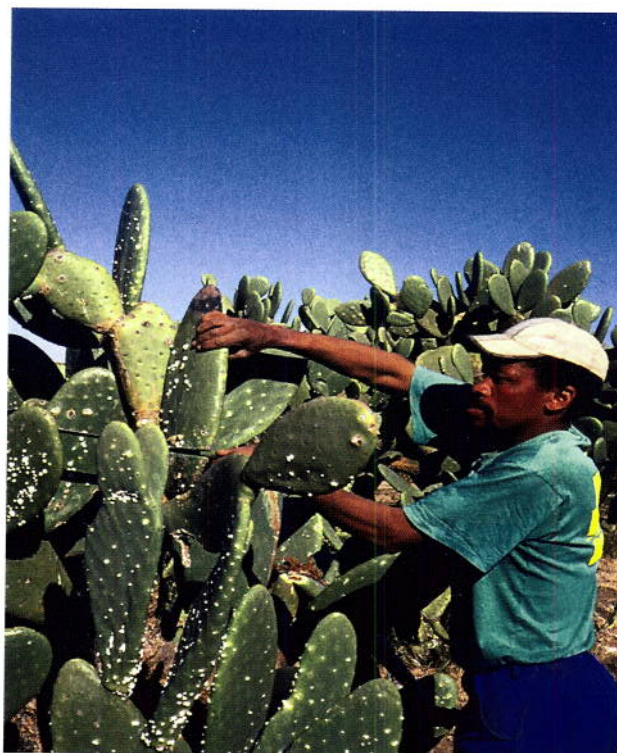


Fig. 53. Quitando pencas infestadas con *Cactoblastis*
Removing cladodes infested with *Cactoblastis*

que se utilizan como forraje en Sudáfrica, son más resistentes al ataque de cochinilla que *O. ficus-indica* y *Cactoblastis* es una plaga más seria que puede ser capaz de destruir huertos enteros (Fig. 54) (Annecke *et al.* 1976). En estas plantaciones, los métodos de control más económicos son los de manejo.

Control químico

El control químico (Fig. 55) puede ser dirigido a matar las larvas recién nacidas por contacto (primer estadio) antes que entren a los cladodios (Fig. 10, Capítulo 1). Por lo tanto es crítica la ventana de oportunidad de la aplicación y los mejores resultados se logran en regiones templadas donde está sincronizado el período de oviposición (ver arriba) (Pretorius y Van Ark 1992). Este método no es tan efectivo donde se alarga el período de ovipostura. La mayoría de los insecticidas efectivos contra lepidópteros y que tengan poder residual prolongado pueden ser adecuados (Leibee y Osborne 2001). Algunos productores prefieren inyectar estos insecticidas en los

egg sticks impractical as a control method. The preferred method is to scout for infested cladodes and to remove these from the orchards by pruning (Fig. 53) (pruning is a common practice to shape and rejuvenate the trees). Infested cladodes are destroyed collectively by any method available, which may include chemical spraying, burning, burying or shredding for use as fodder etc. Large commercial orchards in South Africa use about 6 persons per 100 ha, part time, for *Cactoblastis* control. The

large *O. robusta* -based spineless plantations, which are exclusively used for fodder in South Africa, are more resistant to cochineal damage than *O. ficus-indica*, and *Cactorum* is a more serious pest which is capable of destroying entire orchards (Fig. 54) (Annecke *et al.* 1976). In these plantations, management methods are the most economical methods of control.

Chemical Control

Chemical control (Fig. 55) can be aimed at killing the eggs and neonate (first instar) larvae on contact before they penetrate the cladodes (Fig. 10, Chapter 1). The timing of application is therefore critical, and best results are achieved in temperate regions where the egg-laying period is synchronized (see above) (Pretorius & Van Ark 1992). This method would not be as effective where the oviposition period is protracted. Most contact insecticides that are effective against Lepidoptera and that have a long residual activity will be suitable (Leibee & Osborne 2001). Some farmers



Fig. 54. *Cactoblastis* es la plaga más importante en plantaciones de *Opuntia robusta* sin espinas usadas para forraje en Sudáfrica
Cactoblastis is a major pest in spineless (*Opuntia robusta*) plantations used for fodder in South Africa

huecos donde se alimentan las larvas de *Cactoblastis*, especialmente cuando no se recomiendan aspersiones totales, como sería al acercarse el período de cosecha de la fruta. Podría considerarse el uso de insecticidas sistémicos de nueva generación, aunque el alto factor de dilución en plantas suculentas requiere altas dosis, lo cual haría este método muy costoso (Pretorius *et al.* 1986). Ningún insecticida sistémico ha demostrado ser efectivo para cochinilla o para *Cactoblastis* en plantaciones de *Opuntia*. Los insecticidas actualmente registrados en Sudáfrica para utilizarse contra *Cactoblastis* son carbaryl, deltametrina, metidation y tralometrina (Nel *et al.* 2002). Ensayos recientes en Estados Unidos han demostrado ser efectivos contra *Cactoblastis*: spinosad, deltametrina y cypermetrina (Bloem *et al.* 2005b). La mayoría de los insecticidas usados para el control de plagas en nopal en Sudáfrica son efectivos tanto contra *Cactoblastis* como contra la cochinilla.

Control integrado

Se obtiene mejor control de *Cactoblastis* combinando los dos métodos mencionados arriba. El enfoque depende del valor del huerto, de los umbrales de daño económico del insecto, y de las tolerancias de residuos en la fruta. Una combinación de las prácticas comunes de poda con la remoción y control de *Cactoblastis* suele ser suficiente para mantener el daño abajo del umbral

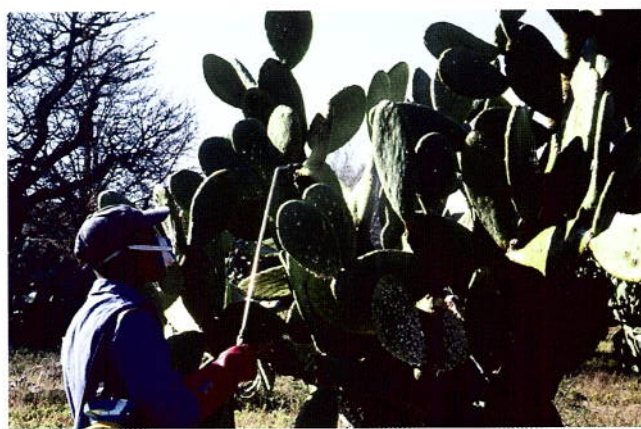


Fig. 55. Control químico de *Cactoblastis* y cochinilla en plantaciones de nopal
 Chemical treatment of cactus pear plantation against both *Cactoblastis* and cochineal

prefer to inject insecticides into the cavities where *Cactoblastis* larvae feed, especially when cover sprays are not recommended, e.g. when approaching the fruit harvesting period. The use of new-generation systemic insecticides could be considered, although the high dilution factor in succulents requires high dosages, which may render this approach too expensive (Pretorius *et al.* 1986). No systemic insecticide has yet been shown to be effective against either cochineal or *Cactoblastis* under field conditions. Insecticides presently registered for use against *Cactoblastis* in South Africa include carbaryl, deltamethrin, methidathion and tralomethrin (Nel *et al.* 2002). Recent trials in the USA have demonstrated the efficacy of Spinosad, Deltamethrin and Cypermethrin as effective insecticides for the control of *Cactoblastis* (Bloem *et al.* 2005b). Most insecticides used for the control of cactus pests in South Africa are effective against both *Cactoblastis* and cochineal.

Integrated Control

Control of *Cactoblastis* is best achieved by combining several control methods. The approach followed depends on the value of the orchard, on insect damage threshold levels and on fruit residue tolerances. A combination of common pruning activities with *Cactoblastis* removal and control is often sufficient to keep damage below the economic

económico. El problema más frecuente es que no se incluye sistemáticamente el control de *Cactoblastis* en las operaciones de cultivo rutinarias. Una vez que los niveles de infestación de *Cactoblastis* (y de cochinilla) han alcanzado ciertos puntos, se hace difícil y muy costoso rescatar el huerto.

Control biológico

Cualquier parasitoide que se piense liberar en Sudáfrica para el control biológico clásico de plagas, necesita ser probado contra algunos agentes claves introducidos para el control biológico de malezas, como *Cactoblastis*. Si los parasitoides reducen la eficacia de los fitófagos existentes, podrían ocasionar un incremento en las poblaciones de las malezas que controlan. De la misma manera, las especies nativas de *Opuntia* en Florida, potencialmente agresivas, están siendo controladas por sus propios enemigos naturales, algunos de los cuales son palomillas pirálidas emparentadas con *Cactoblastis*. Si se introdujeran a Florida parasitoides o enfermedades no específicos para el control de *Cactoblastis*, también podrían afectar a los pirálidos nativos, causando aumentos no naturales de poblaciones e invasiones a las especies de *Opuntia* nativas (Pemberton y Cordo 2001a). Por lo tanto, es crucial la especificidad a las hospederas de cualquier agente considerado para su introducción a Florida, en un intento de controlar biológicamente *Cactoblastis*. Cualquier riesgo de efectos no deseados, tendrá que sopesarse cuidadosamente ante la amenaza del insecto a las especies de *Opuntia* silvestres y cultivadas.

Pemberton y Cordo (2001a, 2001b) han revisado las enfermedades y parasitoides (nueve especies) conocidos de *Cactoblastis* en Argentina, así como de los pirálidos de América del Norte que se alimentan de cactáceas. Han estudiado las opciones y riesgos asociados con el uso de estos y otros parasitoides estenófagos y enfermedades establecidas para el control biológico clásico de *Cactoblastis* en Florida,

threshold. The most common problem encountered is that control of *Cactoblastis* is not systematically included in routine farming operations. Once the infestation levels of *Cactoblastis* (and cochineal) have reached certain thresholds it becomes difficult, very expensive and uneconomical to rescue the orchard.

Biological Control

Any introduced parasitoid to be released in South Africa for classical biological pest control needs to be screened against some key introduced biocontrol agents of weeds, such as *Cactoblastis*. Should the parasitoids reduce the efficacy of these introduced phytophages, it might result in a population increase of the weeds that they control. Similarly, the native and potentially aggressive *Opuntia* species in Florida are being kept in check by their own natural enemies, some of which are pyralid moths closely related to *Cactoblastis*. If non-specific parasitoids or diseases were to be introduced from outside Florida to control *Cactoblastis*, these might also affect the native pyralids, resulting in unnatural population increases and invasions by the native *Opuntia* species (Pemberton & Cordo 2001a). The host specificity of any biological control agent to be considered for introduction to Florida in an attempt to control *Cactoblastis* is therefore crucial. Any risks of non-target effects will have to be evaluated carefully against the threat of the insect to native and commercial *Opuntia* species.

Pemberton & Cordo (2001a, 2001b) have reviewed the known parasitoids and diseases of *Cactoblastis* in Argentina, as well as of the cactus-feeding pyralids of North America. They discussed the options and risks associated with using these and other established stenophagous parasitoids and diseases for classical biological control of *Cactoblastis* in Florida, providing seven possible approaches and ranking them according to relative risks to non-target species. The classical introduction from South America of parasitoids specific to the genus *Cactoblastis* is the preferred option, followed

proponiendo siete posibles enfoques, que clasificaron de acuerdo con los riesgos relacionados con las especies no objetivo. La opción preferida es la introducción desde Sudamérica de parasitoides específicos para el género *Cactoblastis*. La segunda opción sería la liberación masiva de parasitoides que se hayan pasado a *C. cactorum* provenientes de otros pirálidos cactófagos emparentados o nativos de Florida, por ejemplo del género *Melitara*. Es menos utilizada la opción de liberar en forma masiva otros parasitoides menos específicos que atacan a *Cactoblastis* y que ya se encuentran en Florida.

Sin embargo, parece que los parasitoides de *Cactoblastis* actualmente conocidos en Sudamérica posiblemente no estén limitados al género *Cactoblastis*, lo que elimina el uso de primera opción. Con el fin de resolver esta incertidumbre, se necesita urgentemente más investigación sobre el complejo de enemigos naturales asociados con el género *Cactoblastis* en Argentina, combinado con estudios de tablas de vida para identificar especies clave. Los estudios de las causas de mortalidad de *Cactoblastis* realizados en Sudáfrica (Robertson 1988; Robertson y Hoffmann 1989) identificaron solamente a dos parasitoides que habían tenido un efecto significativo sobre las poblaciones. Los componentes más importantes de mortalidad fueron los depredadores generalistas (Fig. 56) (principalmente hormigas) y factores relacionados con el clima. Los babuinos y monos también sacan las larvas y pupas de los cladodios (Fig. 57) (Hoffmann *et al.* 1998a, b).

Muchas enfermedades causadas por hongos que matan insectos tienen amplio rango de hospederas o son utilizados en bio-plaguicidas de amplio espectro, los cuales pueden ser útiles bajo ciertas condiciones para controlar *Cactoblastis*. En Sudamérica no se conocen las enfermedades fungosas de *Cactoblastis* y pudiera ser productiva su búsqueda (Pemberton y Cordo 2001b). Son más prometedores los protozoarios del género *Nosema* los cuales parecen tener especificidad de



Fig. 56. Estos hemípteros (*Nysius sp.*) alimentándose de huevecillos de *Cactoblastis* en Sudáfrica, son probablemente no específicos
These hemipterans (*Nysius sp.*) preying upon the eggs of *Cactoblastis* in South Africa are probably non specific

by inundative releases of cactus moth parasitoids that have moved over to *C. cactorum* from related, native cactus-feeding pyralids in Florida, e.g. from the genus *Melitara*. The inundative release of other less specific parasitoids that are known to attack *Cactoblastis* and which are already in Florida, is a less preferred option.

However, it appears that the currently known parasitoids of *Cactoblastis* in South America are unlikely to be limited to the genus *Cactoblastis*, which precludes the use of the first and preferred option. In order to address this uncertainty, more research on the complex of natural enemies associated with the genus *Cactoblastis* in Argentina is urgently needed. Life table studies carried out in South Africa (Robertson 1988; Robertson & Hoffmann 1989) identified two parasitoids which had insignificant effects on the population. The most important components of mortality were general predators (Fig. 56) (mainly ants) and weather related factors. Baboons and monkeys also excavated the larvae and pupae from the cladodes (Fig. 57) (Hoffmann *et al.* 1998a, b).

Most fungi that kill insects have wide host ranges or are used in broad-spectrum biopesticides, which may be useful under certain conditions to control *Cactoblastis*. No fungal pathogens are known from *Cactoblastis* in South America, and exploration

hospederos. Se conocen dos especies para *Cactoblastis* que incluyen a *N. cactoblastis* de Sudáfrica. Después de realizar inspecciones en Sudáfrica y Argentina, Pemberton y Cordo (2001b) presentaron algunas consideraciones en contra de su uso contra *Cactoblastis* en América del Norte.

Es importante considerar cuidadosamente la capacidad del control biológico clásico para reducir la amenaza de *Cactoblastis* en América del Norte. En este momento, la meta principal es detener la dispersión del insecto hacia el oeste y, de ser posible, erradicar las poblaciones de la línea de avance y hacerlas retroceder. Por lo tanto el control biológico clásico podría no ser el mejor método de control para las poblaciones que ya están en tierra firme americana. Sin embargo esta estrategia podría ser considerada para las islas del Caribe (Cuba, Puerto Rico, República Dominicana y Jamaica), pues tienen una fauna de insectos cactófaga depauperada y al mismo tiempo *Cactoblastis* tiene un impacto muy fuerte sobre las pocas especies de *Opuntia* nativas. Ensayos de control biológico en las islas podrían ser de gran utilidad para utilizar esta aproximación en Norteamérica (Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2006).

Técnica del Insecto Estéril (TIE)

La supresión autocida de plagas utilizando la TIE es única en su género porque implica la liberación masiva de insectos inactivados en su capacidad reproductiva, para el control de poblaciones



Fig. 57. Los Babuinos extraen larvas de *Cactoblastis* de *O. stricta* en Sudáfrica
Baboons excavate *Cactoblastis* larvae from *O. stricta* in South Africa

for such pathogens could be productive (Pemberton & Cordo 2001b). More promising are the protozoans in the genus *Nosema*, which appear to be host-specific. Two species are known from *Cactoblastis*, including *N. cactoblastis* from South Africa. Considerations for their use against *Cactoblastis* in North America were discussed by Pemberton & Cordo (2001b) after surveys had been made in South Africa and Argentina.

It is important to carefully consider the capabilities of classical biological control in reducing the threat of *Cactoblastis*

to North America. At this stage, the main aim is to stop the further spread of the insect westward and, if at all possible, to eradicate populations from the leading edge and to push them back. Classical biological control may thus not be the best approach for the American mainland but could well be considered for some Caribbean islands e.g. Cuba, Puerto Rico, Dominican Republic and Jamaica that have a depauperate cactus insect fauna and where *Cactoblastis* has a severe impact on the few native *Opuntia* species. Attempts at biological control of *Cactoblastis* on these islands may reveal important information on the usefulness of this approach to North America. (Zimmermann & Pérez Sandi Cuen. 2006).

Sterile Insect Technique (SIT)

Autocidal pest suppression using the SIT is unique in that it involves the release of mass reared

de la misma especie. El mayor beneficio de la TIE es que no tiene efectos contra insectos no objetivo. Históricamente los programas de TIE han tenido éxito contra varias plagas de insectos, incluyendo el gusano barrenador del ganado (*Cochliomyia hominivorax*), la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) y la palomilla de la manzana (*Cydia pomonella*). Sin embargo, los programas TIE para lepidópteros (palomillas) tienden a ser más problemáticos porque es más caro reproducir estos insectos, toleran más las radiaciones que los dípteros (moscas) y con frecuencia la mayor cantidad de radiación requerida para esterilizar completamente a los lepidópteros afecta su competitividad y comportamiento en el campo.

Un método efectivo para reducir los efectos negativos de la tolerancia a radiación en los lepidópteros ha sido el uso de esterilidad heredada o esterilidad F_1 (Bloem y Carpenter 2001; Hight *et al.* 2005.). Como en la TIE, la esterilidad F_1 implica la reproducción y liberación masiva de insectos para asegurar que cuando sucedan los apareamientos en el campo, una proporción significativa de éstos incluya a insectos estériles liberados. La esterilidad F_1 se aprovecha de dos fenómenos genéticos únicos en los lepidópteros. Primero, las hembras de lepidópteros generalmente son mucho más sensibles a la radiación que los machos de la misma especie. Esto permite seleccionar una dosis de radiación para que las hembras irradiadas sean completamente estériles y los machos solo parcialmente estériles. Segundo, cuando esos machos parcialmente estériles se aparean con hembras silvestres fértiles, sus crías (generación F_1) heredan los efectos dañinos inducidos por la radiación. Como resultado, se reduce la eclosión de huevecillos en la F_1 y las crías resultantes son más estériles que los padres irradiados y en la mayoría de los casos predominan los machos. La menor dosis de radiación utilizada en la esterilización F_1 aumenta la calidad y competitividad de los insectos irradiados liberados (North 1975). Como la progenie F_1 estéril es producida en el campo, la

and reproductively inactivated insects to control populations of the same species. A major benefit of SIT is that there are no non-target effects. Historically, SIT programs have been successful against a number of pest insects including the screwworm fly (*Cochliomyia hominivorax*), the Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) and the codling moth (*Cydia pomonella*). However, SIT programs for Lepidoptera (moths) tend to be more problematic because these insects are more expensive to rear, are more radio-resistant than Diptera (flies), and the increased amount of radiation required to completely sterilize Lepidoptera often affects their competitiveness and performance in the field.

An effective approach to reduce the negative effects of radio-resistance in Lepidoptera has been the use of inherited or F_1 sterility (Bloem & Carpenter 2001; Hight *et al.* 2005.). Like SIT, F_1 sterility involves the mass rearing and release of insects to ensure that when matings occur in the field, a significant proportion of these involve a treated, released insect. F_1 sterility takes advantage of two unique genetic phenomena in Lepidoptera. First, lepidopteran females generally are much more sensitive to radiation than are males of the same species. This allows a dose of radiation to be chosen such that the females are completely sterilized when irradiated while the males remain partially sterile. Second, when these partially sterile males mate with wild, fertile females the radiation-induced deleterious effects are inherited by their offspring (F_1 generation). As a result, egg hatch in the F_1 generation is reduced and the resulting offspring are more sterile than the irradiated parent and, in most cases, predominately male. The lower dose of radiation used in F_1 sterility increases the quality and competitiveness of the irradiated released insects (North 1975). Because F_1 sterile progeny are produced in the field, the release of partially sterile insects offers greater suppressive potential than the release of fully sterile insects (LaChance 1985).

liberación de insectos parcialmente esterilizados ofrece mayor potencial de supresión que la liberación de insectos totalmente estériles (LaChance 1985).

Carpenter *et al.* (2001a) fueron los primeros en sugerir el uso de la TIE/esterilidad F_1 para estudiar, predecir y manejar las crecientes poblaciones de *Cactoblastis* en Estados Unidos. Carpenter *et al.* (2001b) proporcionaron datos sobre la respuesta de *Cactoblastis* al incremento de la dosis de radiación gamma y la documentación de la esterilidad heredada en esta especie. La TIE/esterilidad F_1 puede tener varias aplicaciones

para la supresión de poblaciones de *Cactoblastis*. Podría proveer una manera de proteger del ataque a especies raras de *Opuntia* (como las que se encuentran en los Cayos de la Florida), podría estar disponible como una herramienta para erradicar nuevas infestaciones de *Cactoblastis* más allá del límite de avance de la infestación actual, siempre y cuando las infestaciones se detecten oportunamente en su proceso de colonización, y podría utilizarse como barrera para prevenir o retardar la expansión del área geográfica invadida por *Cactoblastis* (Carpenter *et al.* 2001a; Hight *et al.* 2005). Como lo estableció Stiling (2002) el uso de la TIE/esterilidad F_1 para *Cactoblastis* “ofrece quizá la única posibilidad realista de hacer barrera en Florida, y tratar de prevenir la dispersión de *Cactoblastis* hacia el suroeste de Estados Unidos y a México”.



Fig. 58. Reproducción de *Cactoblastis* con dieta artificial como parte del programa TIE en E.U.
Cactoblastis is mass-reared on artificial diet as part of the SIT program in the U.S.A.

toblastis beyond the leading edge of the current infestation, provided that infestations are detected early in the colonization process, and it could be used to erect a barrier to prevent or slow the expansion of the geographical range of the insect. (Carpenter *et al.* 2001a; Hight *et al.* 2005). As stated by Stiling (2002) the use of SIT/ F_1 sterility for *Cactoblastis* “offers perhaps the only realistic chance of drawing a line in the sand, literally, in Florida, and trying to prevent further spread of *Cactoblastis* into the US south-west and Mexico”.

The implementation of SIT/ F_1 sterility requires the ability to mass rear the target insect. Efforts are currently underway in Tifton, Georgia to improve on an efficient artificial diet rearing system (Fig. 58) for this species.

Carpenter *et al.* (2001a) were the first to suggest the use of SIT/ F_1 sterility to study, predict and manage the expanding populations of *Cactoblastis* in the US. Carpenter *et al.* (2001b) provide data on the response of the cactus moth to increasing doses of gamma radiation and the documentation of inherited sterility in this species. SIT/ F_1 sterility could have several applications for suppression of *Cactoblastis* populations. It could provide a way to protect rare cacti from attack (such as those present in the Florida Keys), it could be available as an eradication tool against new infestations of *Cac-*

La implementación de la TIE/esterilidad F_1 requiere la habilidad de reproducir masivamente el insecto objetivo. Se están haciendo esfuerzos en Tifton, Georgia para mejorar el sistema de crianza utilizando dieta artificial para *Cactoblastis* (Fig. 58).

Estado Actual de la implementación del Manejo Integrado de Plagas (MIP), programa de acción

Se está realizando una investigación cooperativa entre USDA-APHIS y USDA-ARS para validar la TIE/ F_1 como una estrategia de control y riesgo en contra de *C. cactorum* y como una barrera para disminuir/frenar su expansión hacia el oeste. La validación de la TIE involucra tres sitios, el primero en isla Dauphin en Alabama (donde actualmente está el frente de la invasión) la cual recibe insectos estériles y un tratamiento de saneamiento de nopales; el segundo sitio en la isla de Okaloosa en Florida, en donde únicamente se realiza el saneamiento de cactáceas, y el tercer sitio en la isla Saint George, Florida, que se ha dejado sin tratamiento. Insectos adultos irradiados fueron liberados en la isla Dauphin dos o tres veces por semana con entre 500 y 5000 palomillas liberadas durante abril-mayo, julio-agosto y octubre-noviembre 2005. El tratamiento de saneamiento de nopales comprende la remoción de cladodios infestados con larvas de *C. cactorum* y la eliminación periódica de los bastones de huevecillos y las pupas encontradas en el mismo periodo. Durante este ensayo de validación, los tres sitios fueron monitoreados con trampas de feromona para evaluar la actividad de los adultos, así como el nivel de infestación de *Cactoblastis*. La efectividad de la TIE será evaluada comparando la magnitud del cambio de las infestaciones larvales, la captura de palomillas, así como la proporción de insectos estériles/insectos silvestres en cada sitio, a lo largo de la duración del estudio.

Monitoreo y cooperación

Las autoridades mexicanas comenzaron un

Current Status in the Implementation of an Area-wide (IPM), Action Program

Co-operative research involving USDA-APHIS and USDA-ARS is underway to validate the SIT as a comprehensive control and risk management strategy against *C. cactorum*, and as a barrier to slow/stop its westward spread. The SIT validation involves three sites, namely, a site along the leading edge at Dauphin Island in Alabama which receives sterile insects and a cactus sanitation treatment, a second site at Okaloosa Island, Florida, where only the cactus sanitation treatment is done and a third site at St. George Island, Florida, which is left untreated. Irradiated adults were released on Dauphin Island 2-3 times per week with 500-5000 moths per release during April/May, July/August and again October/November 2005. The cactus sanitation actions involve the removal of cladodes infested with *C. cactorum* larvae and the regular removal of all egg sticks and pupae encountered during this period. During this validation trial the three sites were monitored with pheromone traps to chart adult flight activity of both sterile and wild moths and the level of *C. cactorum* infestation. The effectiveness of the SIT will be ascertained by comparing the magnitude of the change in larval infestations, wild moth captures, and sterile to wild overflooding ratios at each site over the course of the study.

Monitoring and Cooperation

Mexican authorities have launched a monitoring program to detect any possible outlying invasions on cultivated and wild growing *Opuntia* throughout the country. Monitoring will continue with emphasis on the Yucatan peninsula and those states that border the US. And that face the Caribbean. The USDA-APHIS-PPQ, USDA-ARS and the USA Geological Survey also have been working with the Mississippi State University's GeoResources Institute to set up a web-based monitoring network (www.

programa de monitoreo para detectar cualquier posible invasión de *Cactoblastis* fuera de los límites, en cultivos de *Opuntia*, así como en poblaciones silvestres a lo largo del país. El monitoreo continuará haciendo énfasis en la península de Yucatán y los estados en la frontera con Estados Unidos y del Caribe. Las agencias norteamericanas USDA-APHIS-PPQ y el Servicio Geológico de los Estados Unidos en conjunto con el Instituto de Georecursos de la Universidad Estatal de Mississippi están colaborando para establecer una red de monitoreo de *Cactoblastis* en la web (www.gri.msstate.edu/research/cmdmn/) para terrenos manejados por los estados y la federación, como son los refugios de la fauna silvestre, parques nacionales, así como tierras manejadas por organizaciones no gubernamentales. Estos esfuerzos complementarán los muestreos realizados por los departamentos de agricultura en viveros, residencias privadas utilizando el programa de muestreo cooperativo de plagas agrícolas (CAPS, por sus siglas en inglés) con información conjugada en el Sistema de Información Nacional de Agricultura (NAPIS, por sus siglas en inglés), cuyo sitio público es www.ceris.purdue.edu/napis/. El Centro para ciencias de la sanidad vegetal y la tecnología (CPHST, por sus siglas en inglés) de la APHIS, ha estado utilizando el programa de mapeo de zonas de riesgo (www.nappfast.org) para analizar los datos sobre la fenología de la palomilla del nopal y mapear la actividad larvaria y de los adultos para ayudar a definir los tiempos adecuados para llevar a cabo el monitoreo o el muestreo de los diferentes estadios del ciclo de vida de la palomilla.

Se han identificado y visitado a las personas e instituciones en la mayoría de las islas del Caribe, a quienes se debería involucrar en la colecta de mas datos sobre la distribución y el impacto de *C. cactorum* en la región (Zimmermann y Pérez Sandi Cuen 2006). Así mismo, se está planeando un programa de concienciación para las islas del Caribe, Belice y Guatemala que aún no están infestados, para alertar al personal de sanidad vegetal y cuarentena sobre el peligro de *Cactoblastis*.

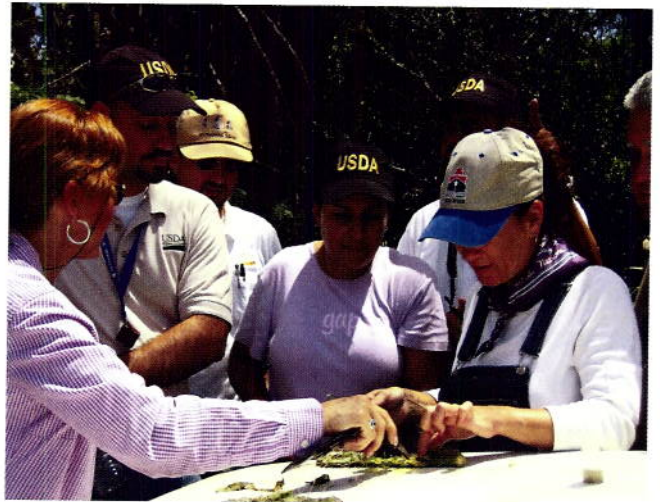


Fig. 59. Personal técnico de USDA siendo entrenado para detectar daño de *Cactoblastis*, en Puerto Rico
USDA and other technical personnel are trained to detect *Cactoblastis* damage in Puerto Rico

gri.msstate.edu/research/cmdmn/) for federal and state managed lands such as wildlife refuges, national parks and seashores, as well as lands managed by non-government organizations. These efforts will complement state departments of agriculture surveys of nurseries and residential properties using APHIS-PPQ's Cooperative Agricultural Pest Survey (CAPS) program with data recorded in its National Agriculture Pest Information System (NAPIS) whose public site is at: www.ceris.purdue.edu/napis/. APHIS-P.Q.'s Center for Plant Health Science and Technology (CPHST) has been using a risk zone mapping program (www.nappfast.org) to analyze cactus moth phenology data and map larval and adult activity to help predict the most appropriate times to monitor or survey for the moth's various life stages.

Contact persons and institutions have been identified and visited in most of the Caribbean who could be engage in collecting further data on the distribution and impact of *C. cactorum* in this region (Zimmermann & Perez-Sandi Cuen 2006). An awareness program for the insect-free islands and for neighboring Belize and Guatemala to alert plant health and quarantine personnel of the threat of *Cactoblastis* should also be developed. In addition, a

Adicionalmente se comenzará una base de datos con la distribución, abundancia y hospederas de *Cactoblastis* en el Caribe.

Acopio de apoyo para actuar

Cuando se toman en cuenta los problemas generados por la invasión de plagas, la urgencia de la respuesta está típicamente determinada por el valor percibido de la “mercancía” en riesgo y del nivel de protesta de los grupos directamente afectados. A pesar de la señal de alarma del peligro de la llegada de *Cactoblastis* para las especies raras de *Opuntia* en los Cayos de la Florida y de su impacto potencial en caso de su diseminación, denunciada por los científicos (Habeck y Bennett 1990; Dickle 1991; Pemberton 1995; Johnson y Stiling 1996,1998; Zimmermann y Pérez-Sandi Cuen 1999), muy poca gente hizo caso debido a que las especies de *Opuntia* son componentes marginales de la flora de Florida y tienen una importancia agrícola menor en Estados Unidos. Las agencias oficiales y los políticos se involucraron en el problema de *Cactoblastis* únicamente hasta que la comunidad interesada en el control biológico de malezas, expresó su preocupación de cómo la palomilla del nopal podría ser examinada como un ejemplo de los efectos sobre las especies no hospederas de agentes de control biológico clásico, y por otro lado, cuando México comenzó a preocuparse porque *Cactoblastis* es una especie invasora que pone en peligro la industria del nopal así como la biodiversidad de los ecosistemas desérticos. La preocupación que la Sociedad Americana de Cactáceas y Suculentas expresó sobre el peligro para las *Opuntia* nativas en E.U. también atrajo la atención al problema (Mahr 2001). Sin embargo fueron las iniciativas tempranas financiadas por el OIEA/FAO las que permitieron comenzar con el programa para prevenir que continuara la dispersión de la palomilla y la prevención de la entrada a México.

Desafortunadamente nuestra capacidad de control de la palomilla del nopal está en una carrera

program will be launched to create a data base on the distribution, abundance and hosts of *Cactoblastis* in the Caribbean.

Garnering Support for Action

When addressing invasive pest problems, the urgency of response is typically determined by the perceived value of the “commodity” at risk and the level of outcry by affected stakeholders. Although alarm signals were raised by a number of scientists about the threat that the cactus moth posed to rare *Opuntia* in the Florida keys and its likely impact, should it spread (Habeck & Bennett 1990; Dickle 1991; Pemberton 1995; Johnson & Stiling 1996,1998; Zimmermann & Perez-Sandi Cuen 1999) very few people took notice because *Opuntia* cacti are not major components of the Florida landscape and are of minor agricultural importance to the US. Not until the biological control of weeds community began to raise concerns that the cactus moth might be scrutinized as an example of non-target effects of classical biological control and when Mexico began to raise concerns about the cactus moth as an invasive threat to its cactus industry and to the biodiversity of its desert ecosystems, did regulatory and political officials become engaged. The concerns of the Cactus and Succulent Society of America also drew attention to the threat to native *Opuntia* species in the US (Mahr 2001). But it was mainly the early initiatives, backed with financial support from the IAEA/FAO, that kick-started the program to prevent the further spread of the cactus moth and to prevent it reaching Mexico.

Unfortunately, our ability to control the cactus moth is now a race against time. From 2001-2004, the moth moved westward at an alarming rate of about 120 km per year along the Gulf Coast of the US. Although efforts initiated in 2005 have prevented the moth from moving further westward, establishment of a true insect-free barrier and emergency response to such movement and outlying infestations is still in its

contra el tiempo. A partir de 2001-2004, la palomilla se desplazó hacia el oeste a un ritmo alarmante de 120 km por año a lo largo de la costa del Golfo de México en los Estados Unidos. A pesar de los esfuerzos que comenzaron en 2005 para prevenir que la palomilla se moviera más al oeste, el establecimiento de una barrera libre del insecto y una respuesta de emergencia ante tal movimiento y la determinación de las infestaciones continúa en un estado muy preliminar. Una vez que la palomilla llegue al suroeste de los Estados Unidos, la densidad y diversidad de especies de *Opuntia* se incrementa drásticamente, y por lo tanto los costos para implementar un programa para detener el avance de la palomilla del nopal se incrementarán exponencialmente también. Las posibilidades de trazar una barrera van a disminuir dramáticamente.

El respaldo de los acuerdos y tratados cooperativos regionales, interamericanos y bilaterales pueden proporcionar el apoyo político indispensable para encaminar las iniciativas que impidan el avance sucesivo de la palomilla del nopal. En este momento, el acuerdo entre la USDA y la SAGARPA titulado "Programa de trabajo para el establecimiento de una barrera de manejo y contención de la palomilla del nopal" facilitado por un acuerdo a través de la Organización Norteamericana de Protección a las Plantas, proveyó un fondo conjunto en 2006 para financiar un programa binacional que detenga/disminuya la dispersión de la palomilla del nopal en Norteamérica.

Los descubrimientos de grandes infestaciones de *Cactoblastis* en Isla Mujeres e isla Contoy, fueron recibidos con alarma y proporcionaron la evidencia dramática de la habilidad que la palomilla del nopal tiene para dispersarse hacia América continental. Seis adultos machos fueron encontrados en las trampas en Cancún durante enero y febrero de 2007, es posible que la palomilla ya esté en tierra firme. Todos los esfuerzos se han concentrado en

infancy. Once the moth reaches the south-western US, the density and diversity of *Opuntia* species increases sharply and become more contiguous and hence the cost of implementing an abatement program to stop the spread of the cactus moth will then also increase sharply. The chances to "draw a line in the sand" will then quickly diminish.

The backing from regional, interamerican and bi-lateral co-operative agreements and treaties can provide the much needed political support to drive many of the initiatives to prevent the further spread of the cactus moth. To this end, the agreement between the USDA and Mexico's SAGARPA entitled, "Work Program to Establish Management and a Containment Barrier for the Cactus Moth" through an agreement brokered through the North American Plant Protection Organization (NAPPO), provides joint funding in 2006 for a broader bi-national implementation program to stop/slow the spread of the cactus moth in North America.

The discoveries of large infestations of the cactus moth on Isla Mujeres and on Contoy island near Yucatan peninsula, were greeted with great alarm and provided harsh evidence of the ability of the insect to spread to the American mainland. Six males were found in traps in Cancun during January and February 2007, indicate that it may already be on the mainland. All efforts are now in place to eradicate *Cactoblastis* from these sites by early April 2007. To this end it is encouraging to note the willingness of some non-governmental organizations to assist in the eradication and alertness program. The key to success may rest on the involvement of such assistance and on mobilizing community support at all levels.

erradicar a *Cactoblastis* de estos sitios para abril 2007. En este punto resulta prometedor el hecho de que organizaciones no gubernamentales estén dispuestas a colaborar con los programas de concienciación y de erradicación. La clave del éxito probablemente reside en el involucramiento y la movilización de la sociedad a todos los niveles.



Conclusiones

La palomilla del nopal, *C. cactorum*, es un ejemplo clásico para ilustrar el éxito que puede lograrse a través de la manipulación de insectos fitófagos como agentes de control biológico de plantas exóticas invasoras (Dodd 1940; Pettey 1948). “El gusano que cambió” es el título de un artículo popular reciente que describe la amenaza del mismo insecto “milagroso”, cuando las plantas hospederas de repente ya no son malezas, sino nopales de gran valor económico, ecológico y estético (Stiling 2000). La llegada de *Cactoblastis* a las costas de América del Norte, ya sea por dispersión natural o por la introducción humana no intencionada, también representa una consecuencia de la globalización. El siguiente destino de *Cactoblastis* puede ser África del Norte, Perú, Etiopía o el noreste de Brasil. Los esfuerzos para manejar la amenaza de *Cactoblastis* en Estados Unidos y México tienen por lo tanto implicaciones mucho más amplias y deberán verse en este contexto.

Probablemente el aspecto más incierto al estimar la verdadera amenaza de *Cactoblastis* es su impacto potencial sobre la flora de *Opuntia* nativa de América del Norte. Existe suficiente evidencia que predice lo peor, pero también hay indicios que excluyen la posibilidad de que la experiencia australiana se repita. Aunque puede aprenderse mucho de los impactos de *Cactoblastis* en las 25 especies de *Opuntia* de nueva asociación, es muy incierta la predicción basada en observaciones, al considerar que son aproximadamente 200 las especies amenazadas. Algunas preferencias claras de hospederas son detectables pero la base de selección y aceptación de plantas hospederas necesita atención urgente. Aunque *Cactoblastis* tiene una amplia tolerancia climática en Argentina, Australia y Sudáfrica, el clima seguramente limitará su dispersión hacia el norte de Estados Unidos (Monro 1975; Murray

Conclusions

The cactus moth, *C. cactorum*, has become a textbook example of the great success that can be achieved through the manipulation of plant-feeding insects as biological control agents of alien invasive plants (Dodd 1940; Pettey 1948). *A worm that turned* is the title of a recent popular article that describes the threat by the same “miracle” insect when its host plants suddenly are not weeds anymore, but cacti of great economic, ecological and aesthetic value (Stiling 2000). The arrival of *Cactoblastis* on the shores of North America, whether by natural dispersal or unintentional introductions by man, also epitomizes a consequence of globalization. The next destination for *Cactoblastis* may be North Africa, Peru, Ethiopia or north-eastern Brazil. The efforts in dealing with the threat of *Cactoblastis* to the US and Mexico thus have much wider implications and should be viewed in this context.

Probably the most uncertain aspect when estimating the true threat of *Cactoblastis* is its potential impact on the native *Opuntia* flora of North America. There is sufficient evidence that predicts the worst, but there are also indications that preclude a repeat of the Australian experience. Although much can be learned from impacts of *Cactoblastis* on the 25 new-association *Opuntia* species, the prediction based on observations is too uncertain when considering the approximately 200 species threatened. Clear host preferences are detectable but the basis of host-plant selection and host-plant acceptance needs urgent attention. Although *Cactoblastis* has a wide climatic tolerance in Argentina, Australia and South Africa, climate will certainly limit its spread into the northern US (Monro 1975; Murray 1982). Some areas in Mexico may also be immune to invasions but these areas will be small and limited to mountains or desert pockets.

1982). Algunas regiones de México también pueden ser inmunes a las invasiones, pero estas áreas serán pequeñas y limitadas a las montañas o pequeñas zonas aisladas en los desiertos.

Algunos aspectos de la biología y morfología de *Cactoblastis* se prestan para su fácil identificación y control. A diferencia de otras plagas, el daño causado por las larvas se detecta fácilmente y en contraste con la palomilla adulta que es nocturna y críptica, las larvas y bastones de huevecillos se identifican con facilidad. Con el establecimiento de los programas de capacitación y alerta, no será difícil localizar infestaciones oportunas de *Cactoblastis* fuera de su distribución actual en América del Norte. El involucramiento de la comunidad y del público en general es de gran importancia en tales programas nacionales. Esto aplica particularmente a México. En regiones templadas, entre las que se cuentan la mayoría de las zonas de México, el insecto deberá tener dos generaciones anuales bien definidas. Esto facilitará un control químico e integrado más efectivo.

La implementación de la TIE ha progresado muy bien. La irradiación de palomillas adultas, aún hasta el punto de cien por ciento de esterilización, parece no afectar su adecuación (Carpenter *et al.* 2001b). La crianza masiva de la palomilla del nopal parece factible y se ha logrado algún avance para sintetizar la feromona sexual, herramienta necesaria para el programa de monitoreo. Las perspectivas de control efectivo y aún de erradicación de *Cactoblastis* son favorables, siempre y cuando las nuevas infestaciones puedan identificarse al inicio de la invasión. El programa de monitoreo actual en Yucatán detectó la presencia de infestaciones de *Cactoblastis* en Isla Mujeres, y de machos en isla Contoy y en Cancún en una etapa relativamente temprana de invasión, y ahora estamos a la espera de saber si la primera erradicación exitosa en estos sitios se materializará utilizando las herramientas disponibles, incluyendo la TIE.

Several aspects of the biology and morphology of *Cactoblastis* lend themselves to easy identification and control. Unlike most other insect pests the damage caused by the larvae is easily detectable, and in contrast with the adult moth, which is cryptic and nocturnal, the larvae and egg sticks are easily identified. With the necessary training and alertness programs in place it should not be difficult to locate early infestations of the insect outside its present distribution in North America. The involvement of communities and the public at large can be of great benefit in such a national program. This applies in particular to Mexico. In temperate regions, which will include most parts of Mexico, the insect should have two well-defined generations. This will facilitate more effective chemical control.

Implementation of the SIT has progressed extremely well. Irradiation of adult moths even to the point of 100 % sterility did not appear to affect their fitness (Carpenter *et al.* 2001b). Mass rearing the cactus moth appears feasible and much progress has been made towards synthesizing the female pheromone that is a necessary tool in the monitoring program. The prospects of effective control and even eradication of *Cactoblastis* are favourable, provided new infestations can be identified at an early stage of invasion. The current monitoring program in Yucatan detected the presence of *Cactoblastis* infestations on Isla Mujeres and also detected males in traps on the island of Contoy and in Cancun at a relatively early stage of invasion and it now remains to be seen if the first successful eradication of the cactus moth on these sites will materialize using all the available tools, including SIT.

An outstanding issue concerns the fast rate of dispersal of *Cactoblastis* along the Gulf coasts of the US (Hight *et al.* 2002; Stiling 2002). These rates are considerably faster than the observations on spread during the biological control campaigns in Australia and

Un problema sobresaliente se refiere a las causas de la rápida tasa de dispersión de *Cactoblastis* a lo largo de las costas del Golfo en los Estados Unidos (Hight *et al.* 2002; Stiling 2002). Estas tasas son considerablemente más rápidas que las observaciones de su dispersión durante las campañas de control biológico en Australia y Sudáfrica durante los años treinta y cuarenta (Zimmermann *et al.* 2001). Actualmente se realizan investigaciones sobre la dispersión de *Cactoblastis*, las cuales nos proporcionarán algún indicio de las posibilidades de su arribo al suroeste de los Estados Unidos y a tierra firme en México por dispersión natural.

Cada uno de los métodos de control propuestos tiene sus limitantes. Aunque el control biológico puede no ser la respuesta ideal durante esta fase tan temprana del proyecto, su valor como opción de control autosostenible es indiscutible donde *Cactoblastis* se ha establecido sobre especies de *Opuntia* en hábitats nativos que cubren millones de hectáreas. Incluso los riesgos de utilizar enemigos naturales menos específicos tendría que ser sopesado frente a las consecuencias de no utilizarlos. Vale la pena invertir en investigar las diferentes opciones de control biológico descritas por Pemberton y Cordo (2001a) y esta técnica podría ser implementado en algunas de las islas del Caribe que están severamente afectadas, y que no tendrán los recursos necesarios para utilizar los otros métodos de control. Insecticidas de nueva generación también están disponibles (Bloem *et al.* 2005) y probados para el control de *Cactoblastis* en condiciones de campo. En esta etapa, el énfasis de control residirá en la erradicación o la contención utilizando la TIE (Carpenter *et al.* 2001a) y por lo tanto es importante continuar investigando y afinando la esterilidad heredada.

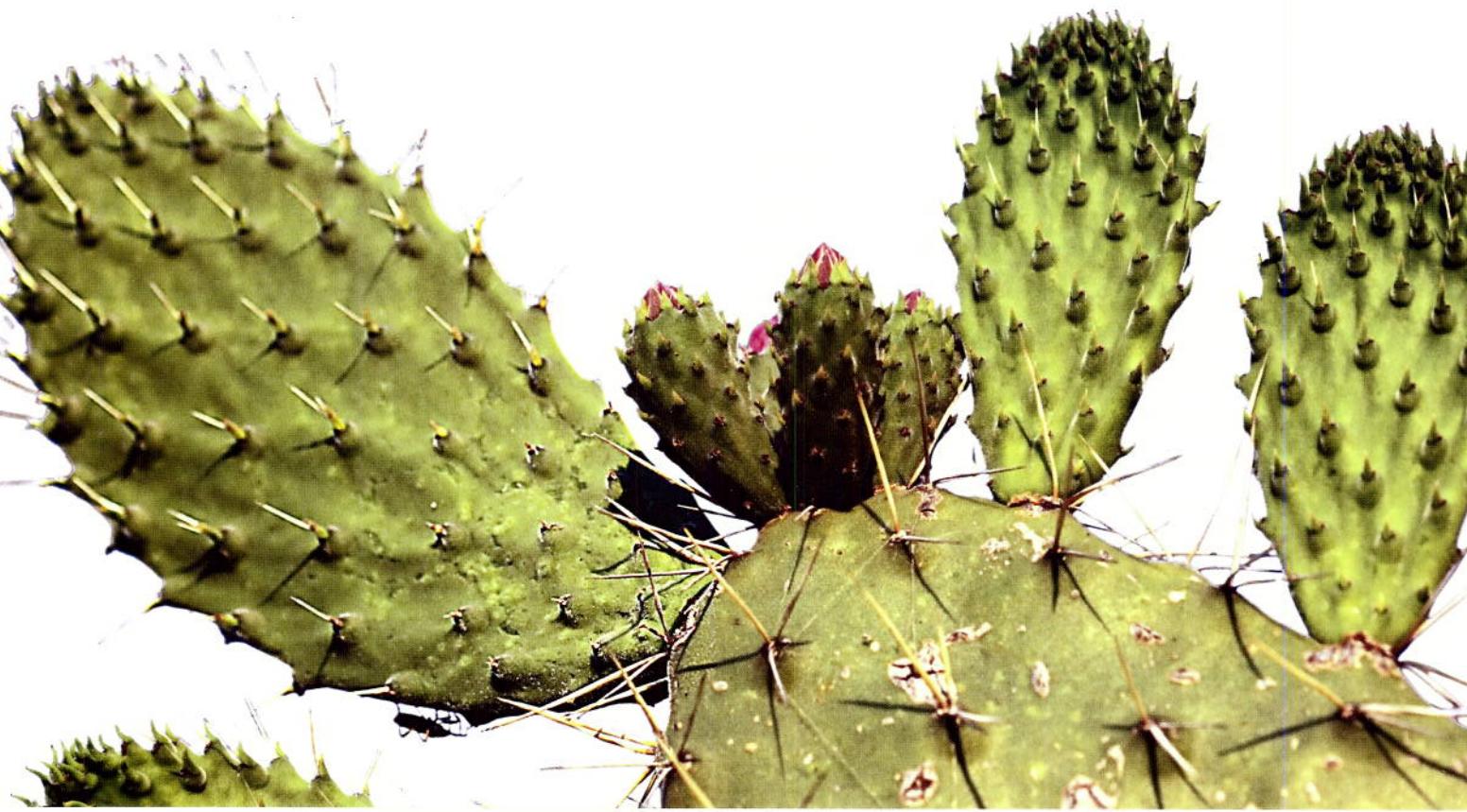
Las tecnologías esenciales para implementar la TIE están desarrolladas y por lo tanto el ensayo de validación en proceso en los Estados Unidos nos dirá

South Africa during the thirties and forties (Zimmermann *et al.* 2001). Research on dispersal of *Cactoblastis* is underway, which will provide some indication on the chances of its arrival by natural spread to the south-western US and mainland Mexico.

Each of the control methods currently under consideration has limitations. Although biological control may not be the answer during this early phase of the project, its value as a self-perpetuating control option is undisputable where *Cactoblastis* may establish on *Opuntia* spp. in native habitats covering millions of hectares. Even the risks of using less host-specific natural enemies may have to be weighed against the consequences of not using them. Research into the various options of biological control as described by Pemberton & Cordo (2001a) is a worthwhile investment and could be implemented with success on some of the Caribbean islands that are most severely affected and that will not have the resources to use other control methods. New-generation insecticides are also available (Bloem *et al.* 2005) and these are now screened for the control of *Cactoblastis* under field conditions. At this stage the emphasis of control will be on eradication or containment (Carpenter *et al.* 2001a) and hence the investment in fine-tuning the SIT/F₁ sterility.

The essential technologies to implement the SIT are in place and the validation trial in the US will tell the rest of the story. We must not forget that since 2004 the westward front of *Cactoblastis* along the Gulf of Mexico has not moved which is a testament to the effectiveness of this environment-friendly technique. These positive results could not come at a more appropriate time as the cactus moth has made its appearance on Mexican territory (Isla Mujeres, Contoy island and Cancun) where SIT could be used to eliminate the last moths after the aggressive clean-up efforts are concluded. USDA-APHIS and SAGARPA are already discussing the logistics of this last phase of the program on Contoy island.

el resto de la historia. No debe olvidarse el hecho de que desde 2004 el frente de avance hacia el oeste de *Cactoblastis* a lo largo de la costa del Golfo de México no se ha movido, lo cuál indica la efectividad de esta técnica ecológicamente sustentable. Estos resultados positivos llegan en el mejor momento dado que *Cactoblastis* hizo su aparición en territorio mexicano (Isla Mujeres, isla Contoy y Cancún) donde la TIE puede ser usada para eliminar las palomillas restantes una vez que las labores de limpieza profunda de las *Opuntias* infestadas concluyan. La USDA-APHIS y la SAGARPA están actualmente discutiendo la logística de esta última fase del programa en isla Contoy.



Referencias

- Anderson, E.F. 2001. *The cactus family*. Timber Press, Portland, Oregon.
- Annecke, D.P., W.A. Burger & H. Coetzee. 1976. Pest status of *Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera: Phycitidae) and *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Coccoidea: Dactylopiidae) in spineless opuntia plantations in South Africa. *Journal of the Entomological Society of Southern Africa* 39: 111-116.
- Annecke, D.P. & V.C. Moran. 1978. Critical reviews of biological pest control in South Africa. 2. The prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Journal of the Entomological Society of Southern Africa* 41:161-188.
- Arias, S. & M.E. Veliz Perez 2006. Diversidad y distribución de la Cactaceae en Guatemala. In: Cano, E. (Ed.). 2006. Biodiversidad de Guatemala. Vol.1. Universidad del Valle de Guatemala.
- Barbera, G., P. Inglese & E. Pimienta-Barrios (Eds.) & E. de J. Arias-Jiménez (Coord.). 1995. *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper No. 132.
- Bennett, F.D. 1971. Some recent successes in the field of biological control in the West Indies. *Revista Peruana de Entomología* 14: 369-373.
- Bennett, F.D. & D.H. Habeck. 1995. *Cactoblastis cactorum*: A successful weed control agent in the Caribbean, now a pest in Florida? *Proceedings of the VIIIth International Symposium on Biological Control of Weeds*, Canterbury, New Zealand, 21-26.
- Benson, L. 1982. *The cacti of the United States and Canada*. Stanford University Press, Stanford, California.
- Blanco, E.F. & L.L. Vázquez. 2001. Análisis de los riesgos fitosanitarios asociados al uso de *Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera: Pyralidae: Phycitinae) como agente de control biológico de *Opuntia dillenii* (Cactaceae) en Cuba. *Fitosanidad* 5 (1): 63-73.
- Bloem, K.A., S. Bloem, J.E. Carpenter, S.D. Hight, J. Floyd & H.G. Zimmermann. 2006. Development of a binational plan to stop the spread of the cactus moth, *Cactoblastis cactorum*, in North America- A United States Perspective. In: Vreysen M.B.J., A.S. Robinson & J. Hendrichs (Eds.). *Area -Wide Control of Insect Pests: From Research to Field Implementation*. Springer. Dordrecht. The Netherlands.
- Bloem, S. & J.E. Carpenter. 2001. Evaluation of population suppression by irradiated Lepidoptera and their progeny. *Florida Entomologist* 84: 165-171.
- Bloem, S., J.E. Carpenter & K.A. Bloem. 2003. Performance of sterile *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) females in luring males to traps. *Florida Entomologist*. 86: 395-399.
- Bloem, S., S.D. Hight, J.E. Carpenter & K.A. Bloem. 2005a. Developing the most effective trap to monitor the geographical expansion of the cactus moth *cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* 88: 300-306.
- Bloem, S., R.F. Mizell III, K.A. Bloem, S.D. Hight & J.E. Carpenter. 2005b. Laboratory evaluation of insecticides for the control of the invasive *Cactoblastis cactorum*. *Florida Entomologist* 88: 395-400.
- Brutsch, M.O. & H.G. Zimmermann. 1995. Control and utilization of wild Opuntias. In: Barbera, G., Inglese, P. & Pimienta-Barrios, E. (Eds) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO, Rome. 155-166.
- Burger, W.A. 1972. Control of cactoblastis and cochineal. *Farming in South Africa* 459: 1-4.

References

- Carpenter, J.E., K.A. Bloem & S. Bloem. 2001a. Applications of F₁ sterility for research and management of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* 84(4): 531-536.
- Carpenter, J.E., S. Bloem & K.A. Bloem. 2001b. Inherited sterility in *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* 84(4): 537-542.
- Cock, M.J.W. (Ed.). 1985. *A review of biological control of pests in the Commonwealth Caribbean and Bermuda up to 1982. Technical Communication no. 9*. Commonwealth Institute of Biological Control. 1-218.
- Cyril, S., W.K. Hayes & R.L. Carter. 2000. *Reproductive ecology, spatial relationships, and diet of the endangered San Salvador island rock iguana Cyclura rileyi rileyi*. Department of Natural Sciences Loma Linda University. Abstract presented at the Society for the Study of Amphibians and Reptiles annual meeting, La Paz, Mexico.
- Dickle, T.S. 1991. *Cactoblastis cactorum* in Florida (Lepidoptera: Pyralidae: Phycitinae). *Tropical Lepidoptera* 2: 117-118.
- Dodd, A.P. 1940. *The biological campaign against prickly pear*. Commonwealth Prickly Pear Board, Brisbane. Pp. 177.
- Fullaway, D.T. 1954. Biological control of cactus in Hawaii. *Journal of Economic Entomology* 47: 696-700.
- García-Tuduri, J., I.F. Martorell & S. Medina Guad. 1971. Geographical distribution and host plant list of the cactus moth, *Cactoblastis cactorum* (Berg) in Puerto Rico and the United States Virgin Islands. *Journal of the Agricultural University of Puerto Rico* 55: 130-134.
- Greathead, D.J. 1971. *A review of biological control in the Ethiopian region. Technical Communication No. 5*, Commonwealth Institute of Biological Control, Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough. Pp.162.
- Habeck, D.H. & F.D. Bennet. 1990. *Cactoblastis cactorum* Berg (Lepidoptera: Pyralidae), a phycitine new to Florida. *Entomology Circular* 333, 4 pp.
- Heath, R., Teal P., Epsky, N., Dueben, B., Hight, S., Bloem, S., Carpenter, J., Weissling, T., Kendra, P., Cibrian-Tovar, J., Bloem, K. 2006. Pheromone-based attractant for males of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) *Environmental Entomology* 35:1409-1476.
- Heinrich, C. 1939. The cactus-feeding phycitinae: A contribution towards a revision of the American pyralidoid moths of the family Phycitidae. *Proceedings of the United States National Museum no. 3053*, vol. 86: 331-413.
- Hepner, J.B. 2000. Tropical cactus borer, *Cactoblastis cactorum*, intercepted in west Florida (Lepidoptera: Pyralidae: Phycitinae). *Lepidoptera News* 2: 20-22.
- Hernandez, L.R. & T.C. Emmel. 1993. *Cactoblastis cactorum* in Cuba (Lepidoptera: Pyralidae: Phycitinae). *Tropical Lepidoptera* 4: 45-46.
- Hight, S. D., S. Bloem, K.A. Bloem & J.E. Carpenter. 2003. *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae): Observations of courtship and mating behaviors at two locations on the gulf coast of Florida. *Florida Entomologist* 86:400-407.
- Hight, S.D., J.E. Carpenter, S. Bloem & K.A. Bloem. 2005. Developing a sterile insect release program for *Cactoblastis cactorum* Berg (Lepidoptera: Pyralidae): Effective overflooding ratios and release-recapture field studies. *Environmental Entomology* 34: 850-856.

- Hight, S.D., J.E. Carpenter, K.A. Bloem, S. Bloem, R.W. Pemberton & P. Stiling. 2002. Expanding geographical range of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) in North America. *Florida Entomologist* 85: 527-529.
- Hoffmann, J.H., V.C. Moran & D.A. Zeller. 1998a. Evaluation of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Phycitidae) as a biological control agent of *Opuntia stricta* (Cactaceae) in the Kruger National Park, South Africa. *Biological Control* 12: 20-24.
- Hoffmann, J.H., V.C. Moran & D.A. Zeller. 1998b. Exploiting a partially successful biocontrol agent for integrated control of a weed: *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Phycitidae) on *Opuntia stricta* (Cactaceae) in South Africa. *Journal of Applied Ecology* 35: 156-160.
- Hoffmann, J.H. & H.G. Zimmermann. 1989. Ovipositional and feeding habits in cactophagous pyralids: prediction for biological control of cactus weeds. *Proceedings of the VIIth Symposium on Biological Control of Weeds, MAF, Rome*, 395-399.
- Hoffmann, J.H., V.C. Moran & H.G. Zimmermann. 1999. Integrated management of *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth (Cactaceae) in South Africa: an enhanced role for two, renowned, insect agents. In: *Biological Control of Weeds in South Africa (1990-1999)*. *African Entomology, Memoir No. 1*. 15-20.
- Hosking, J.R.; R. E. McFadyen & N.D. Murray. 1988. Distribution and biological control of cactus species in eastern Australia. *Plant Protection Quarterly* 3: 115-123
- Hosking, J.R., P.R. Sullivan & S.M. Welsby. 1994. Biological control of *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. var. *stricta* using *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) in an area of New South Wales, Australia, where *Cactoblastis cactorum* (Berg) is not a successful biological control agent. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 48: 241-255.
- Hosking, J.R., R.E. McFadyen & N.D. Murray. 1988. Distribution and biological control of cactus species in eastern Australia. *Plant Protection Quarterly* 3: 115-123.
- Howard R.A. & M. Touw. 1982. *Opuntia* species in the Lesser Antilles. *Cactus and Succulent Journal (U.S.)* 54: 170-180.
- Howard R.A. & M. Touw. 1981. The cacti of the Lesser Antilles and the typification of the genus *Opuntia* Millar. *Cactus and Succulent Journal (U.S.)* 53:233-237.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). 2002. Mitigating the Threat of *Cactoblastis cactorum* to International Agriculture and Ecological Systems and Biodiversity. Report of a Consultants Group Meeting organized by the Technical Co-operation Department of the IAEA and the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Applications in Food and Agriculture, Vienna, Austria, July 2002. Pp 45.
- Johnson, D.M. & P.D. Stiling. 1996. Host specificity of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae), an exotic *Opuntia*-feeding moth, in Florida. *Environmental Entomology* 25: 743-748.
- Johnson, D.M. & P.D. Stiling. 1998. Distribution and dispersal of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae), an exotic *Opuntia*-feeding moth, in Florida. *Florida Entomologist* 81: 12-22.
- Julien, M.H. & M.W. Griffiths (Eds.). 1998. *Biological control of weeds. A world catalogue of agents and their target weeds, 4th Edition*. CABI Publishing, Wallingford, 1-233.
- LaChance, L.E. 1985. *Genetic methods for the control of Lepidopteran species: Status and potential*. United States Department of Agriculture / Agricultural Research Service, Washington, DC.
- Leibee, G.L. & L.S. Osborne. 2001. Chemical control of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* 84(4): 510-512.
- Mahr, D.L. 2001. *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) in North America: A workshop of assessment and planning. *Florida Entomologist* 84(4): 465-473.
- Mann, J. 1969. Cactus-feeding insects and mites. *Smithsonian Institution Bulletin* 256, Washington D.D. 1-158.
- Mann, J. 1970. *Cacti naturalized in Australia and their control*. Department of Lands, Queensland, Australia. 1-129.
- McFadyen, R.E. 1985. Larval characteristics of *Cactoblastis* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) and the selection of species for biological control of prickly pears (*Opuntia* spp.) *Bulletin of Entomological Research* 75: 159-168.
- Mofokoane, L.D., H.G. Zimmermann & M.P. Hill. 2007. The performance of *Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera: Pyralidae) on six North American *Opuntia* species. *African Entomology* (in prep)
- Moran, V.C. 1980. Interactions between phytophagous insects and their *Opuntia* hosts. *Ecological Entomology* 5: 153-164.
- Moran, V.C. & D.P. Annecke. 1979. Critical reviews of biological pest control in South Africa. 3. The jointed cactus, *Opuntia aurantiaca* Lindley. *Journal of the Entomological Society of Southern Africa* 42: 299-329.
- Moran, V.C. & H.G. Zimmermann. 1984. The biological control of cactus weeds: Achievements and prospects. *Biocontrol News & Information* 5: 297-320.
- Moran, V.C. & H.G. Zimmermann. 1986. The biological control of Cactaceae: Success ratings and the contribution of individual agents. *Proceedings of the VI International Symposium on Biological Control of Weeds, Vancouver, Canada*, 69-75.
- Moran, V.C. & H.G. Zimmermann. 1991. Biological control of cactus weeds of minor importance in South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 37: 37-55.
- Monro, J.M. 1975. Environmental variation and the efficiency of biological control – *Cactoblastis* in the southern hemisphere. Managing Terrestrial Ecosystems. In: J. Kikkawa & H.A. Nix (Eds.) *Proceedings of the Ecological Society of Australia* 9: 204-212.
- Murray, N.D. 1982. Ecology and evolution of the *Opuntia-Cactoblastis* ecosystem in Australia. In: J.S.F. Baker & W.T. Starmer (Eds.). *Ecological genetics and evolution*. Academic Press, Sydney, pp. 17-30.
- Nel, A., M. Krause & N. Khelawanlall. 2002. *A guide for the control of plant pests*. Dept. of Agriculture, Republic of South Africa. 1-231.
- North, D.T. 1975. Inherited sterility in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology* 20:167-182.
- Pemberton, R.W. 1995. *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) in the United States. An immigrant biological control agent or an introduction of the nursery trade? *American Entomologist* 41: 230-232.
- Pemberton, R.W. & H. Cordo. 2001a. Potential and risk of biological control of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) in North America. *Florida Entomologist* 84: 513-526.
- Pemberton, R.W. & H. Cordo. 2001b. *Nosema* (Microsporidia: Nosematidae) species as potential biological control agents of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae): Surveys for the microsporidia in Argentina and in South Africa. *Florida Entomologist* 84: 527-530.
- Pérez-Sandi Cuen, M. 2001. Addressing the threat of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae), to *Opuntia* in Mexico. *Florida Entomologist* 84(4): 499-502.
- Pettey, F.W. 1948. The biological control of prickly pear in South Africa. *Science Bulletin*, Department of Agriculture of the Union of South Africa 271: 1-163.
- Pierce, R.K. 1995. Infestation of *Opuntia* by the Phycitid moths *Melitara prodenialis* and *Cactoblastis cactorum*. Master's Thesis, The Department of Biological Sciences, Florida Atlantic University, Boca Raton, FL.

- Pretorius, M.W. & H. van Ark. 1992. Further insecticide trials for the control of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) as well as *Dactylopius opuntiae* (Homoptera: Dactylopiidae) on spineless cactus. *Phytophylactica* 24: 229-233.
- Pretorius, M.W., H. van Ark & C. Smit. 1986. Insecticide trials for the control of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) on spineless cactus. *Phytophylactica* 18: 121-125.
- Rebman, J.P. & D.J. Pinkava. 2001. *Opuntia* cacti of North America: an overview. *Florida Entomologist* 84: 474-483.
- Robertson, H.G. 1987. Oviposition site selection in *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera): Constraints and compromises. *Oecologia* 73: 601-608.
- Robertson, H.G. 1988. Spatial and temporal patterns of predation by ants on eggs of *Cactoblastis cactorum*. *Ecological Entomology* 13: 207-214.
- Robertson, H.G. 1989. Seasonal temperature effects on fecundity of *Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera: Pyralidae): Differences between South Africa and Australia. *Journal of the Entomological Society of Australia* (N.S.W.) 52: 71-80.
- Robertson, H.G. & J.H. Hoffmann. 1989. Mortalities and life-tables of *Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera, Pyralidae) compared on two host plant species. *Bulletin of Entomological Research* 70: 7-17.
- Robertson, H.G. 1985. The ecology of *Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera: Phycitidae) in relation to its effectiveness as a biological control agent of prickly pear and jointed cactus in South Africa. Ph.D. Thesis, Rhodes University, Grahamstown, South Africa.
- Simmonds, F.J. & F.D. Bennett. 1966. Biological control of *Opuntia* spp. by *Cactoblastis cactorum* in the Leeward Islands (West Indies). *Entomophaga* 11: 183-189.
- Stange, G., J. Monro, S. Stowe & C.B. Osmond. 1995. The CO₂ sense of the moth *Cactoblastis cactorum* and its probable role in the biological control of the CAM plant *Opuntia stricta*. *Oecologia* 102: 341-352.
- Starmer, W.T., V. Aberdeen & M.A. LaChance. 1987. The yeast community associated with decaying *Opuntia stricta* (Haworth) in Florida with regard to the moth, *Cactoblastis cactorum* (Berg). *Florida Scientist* 51:7-11.
- Stiling, P. 2000. A worm that turned. *Natural History* 109(5): 40-43.
- Stiling, P. 2002. Potential non-target effects of a biological control agent, prickly pear moth, *Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera: Pyralidae), in North America, and possible management actions. *Biological Invasions* 4: 273-281.
- Stiling, P., A. Rossi & D. Gordon. 2000. The difficulties of single factor thinking in restoration: replanting a rare cactus in the Florida Keys. *Biological Conservation* 94: 327-333.
- Stiling, P. & D. Simberloff. 1999. The frequency and strength of non-target effects of invertebrate biological control agents of plant pests and weeds. In: P.A. Follet and J.J. Duan (Eds.). Non-target effects of biological control. *Kluwer Academic Press*: 31-43.
- Soberón, J., J. Golubov & J. Sarukhán. 2001. The importance of *Opuntia* in Mexico and routes of invasion and impact of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* 84(4): 486-492.
- Solis, M.A., S.D. Hight & D.R. Gordon. 2004. Tracking the cactus moth, *Cactoblastis cactorum* Berg, as it flies and eats its way westward in the U.S.. *News of the American Lepidopterist's Society*. Spring 2004.
- U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1982. *National list of plant names*. United States Department of Agriculture Technical Publication 159.
- U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service. 1993a. *Endangered and threatened wildlife and plants*. Title 50 Code of Federal Regulations 17.11 and 17.12.
- U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service. 1993b. *Endangered and threatened wildlife and plants; review of plant taxa for listing as endangered or threatened species* Federal Regulation 58: 51144-51190.
- White, G.G. 1980. Current status of prickly pear control by *Cactoblastis cactorum* in Queensland. *Proceedings of the V International Symposium for Biological Control of Weeds*. Brisbane, Australia. 609-616.
- Zimmermann, H.G. & G. Granata. 2002. Insect pests and diseases. In: P.S. Nobel (Ed.) *Cacti, Biology and Uses*. University of California Press. 235-254.
- Zimmermann, H.G. & D.E. Malan. 1981. The role of imported natural enemies in suppressing regrowth of prickly pear, *Opuntia ficus-indica*, in South Africa. *Proceedings of the V International Symposium for Biological Control of Weeds*. Brisbane, Australia. pp 375-381.
- Zimmermann, H.G., R.E. McFadyen & H.E. Erb. 1979. Annotated list of some cactus-feeding insects of South America. *Acta Zoologica Lilloana* 32: 101-112.
- Zimmermann, H.G. & V.C. Moran. 1982. Ecology and management of cactus weeds in South Africa. *South African Journal of Science* 78: 314-320.
- Zimmermann, H.G. & V.C. Moran. 1991. Biological control of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae), in South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 37: 29-35.
- Zimmermann, H.G. & M. Pérez Sandi Cuen. 1999. A new insect pest on *Opuntia* in wait for Mexico. *Memorias VIII Congreso Nacional y VI Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. University of San Luis Potosi, Mexico. 99. 333-341.
- Zimmermann, H.G. & M. Pérez Sandi Cuen. 2006a. Consequences of introducing the cactus moth, *Cactoblastis cactorum* to the Caribbean and beyond. IAEA report published by Pronatura, FMCN and USAID. 64 pp.
- Zimmermann, H. G., Pérez Sandi Cuen, M & A. Bello Rivera. 2005. Status of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) in the Caribbean and the likelihood of its potential spread to Mexico. Report to the IAEA, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and the Plant Health General Directorate of Mexico. IAEA unpublished report on project MEX5029.
- Zimmermann, H.G. & M Pérez Sandi Cuen. 2006 b. Assessing the monitoring programme of the cactus moth (*Cactoblastis cactorum*) in the Yucatan peninsula and evaluating the outbreak on Isla Mujeres (Quintana Roo). 6 Sept. - 19 Sept. 2006. IAEA unpublished report on project MEX 5029 02.
- Zimmermann, H.G. & M. Pérez Sandi Cuen. 2007. Evaluating the eradication program of the cactus moth, *Cactoblastis cactorum*, on Isla Mujeres, assessing its status in Belize and Guatemala, informing authorities on the threat and suggesting a monitoring program. 22 Nov.-11 Dec. 2006. IAEA unpublished report on project MEX 5029 91539E.
- Zimmermann, H.G., V.C. Moran & J.H. Hoffmann. 2000a. The renowned cactus moth, *Cactoblastis cactorum*: its natural history and threat to native *Opuntia* floras in Mexico and the United States of America. *Diversity and Distributions* 6:259-269.
- Zimmermann, H.G., M. Pérez Sandi Cuen, J. Golubov, J. Soberón M & J. Sarukhán K. 2000b. *Cactoblastis cactorum*, una nueva plaga de muy alto riesgo para las opuntias de México. *Biodiversitas* 33: 2-13.

The background of the page features a repeating pattern of cactus moth heads, which are small, yellowish-brown, and have several long, thin, white spines extending from their heads. The pattern is arranged in a grid-like fashion across the entire page.

Cactoblastis cactorum

Biología, historia, amenaza, monitoreo y control de la palomilla del nopal
The Biology, History, Threat, Surveillance and Control of the Cactus Moth

Impreso en/Printed in

Transcontinental Reproducciones Fotomecánicas, S.A. de C.V.

Democracias 116

02700 México D. F.

Tiraje/Edition


3,000 ejemplares/copies

Diciembre/December 2007





SAGARPA



SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



Servicio Nacional de Salud e
Inocuidad y Calidad Agroalimentaria

DIRECCIÓN GENERAL DE
SANIDAD VEGETAL