

## FORO

---

## Sistemas de Información Geográfica y Teledetección en Entomología: Aplicación en tucuras y langostas (Orthoptera: Acridoidea)

---

CIGLIANO, M. Marta\* y Sandra TORRUSIO\*\*

\* División Entomología, Museo de La Plata, Paseo del Bosque. 1900, La Plata, Argentina;  
e-mail: cigliano@museo.fcnym.unlp.edu.ar

\*\*Centro de Procesamiento de Imágenes Satelitarias N. Copérnico, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología,  
Universidad Católica de La Plata, Diag.73 N°1237. 1900, La Plata, Argentina;  
e-mail: storrusio@ucalp.edu.ar

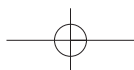
■ **RESUMEN.** El desarrollo, relativamente reciente, de dos tecnologías de análisis de patrones espaciales, como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección, ha abierto nuevos caminos en estudios sobre entomología aplicada. Los SIG han facilitado a entomólogos y ecólogos el análisis de aquellos patrones espaciales complejos que presentan una variación temporal. Tal vez uno de los principales usos de los SIG dentro de la entomología aplicada está vinculado con el estudio de las relaciones entre las explosiones poblacionales de insectos ("outbreaks") y las variables ambientales. Las explosiones poblacionales de acridios, tanto de especies de langostas como de tucuras, son ejemplos típicos de la dinámica espacial de insectos que ocurre a gran escala y que se ve afectada por condiciones locales que varían en el tiempo. Debido a estas características este grupo de insectos plaga ha sido objeto de análisis y aplicación de estas nuevas herramientas. En este trabajo se brindan los conceptos básicos de los SIG y la teledetección y se lleva a cabo una revisión de su utilidad en entomología aplicada, utilizando los estudios de su aplicación en acridios como ejemplo.

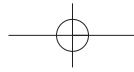
**PALABRAS CLAVE.** Explosiones poblacionales. Entomología aplicada. Patrones espaciales. SIG. Tucuras. Langostas.

■ **ABSTRACT. Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing in Entomology: studies in grasshoppers and locusts (Orthoptera: Acridoidea).**

The advent of Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing has made the analysis of complex spatial patterns an attainable reality for entomologists and ecologists. Within the general area of applied insect entomology, perhaps one of the major uses of GIS is the one that relates insect outbreaks to environmental features of the landscape. Outbreaks of grasshoppers and locusts are typical examples of large-scale spatial dynamics that are affected by local conditions that fluctuate with time. Factors affecting the numerical fluctuations in grasshopper and locust populations are usually variables that have both spatial and temporal characteristics and thus can be mapped and incorporated into a GIS. Following a brief introduction to GIS and remote sensing, a revision of different uses of GIS on applied entomology of grasshoppers and locusts is given in this paper.

**KEY WORDS.** Outbreaks. Applied entomology. Spatial patterns. GIS. Grasshoppers. Locusts.





## INTRODUCCIÓN

Históricamente los estudios sobre ecología poblacional de insectos contemplaban fundamentalmente la variación de las poblaciones a lo largo de una única dimensión, el tiempo, dejando de lado el estudio de las variaciones ocurridas en el espacio (Liebhold *et al.*, 1993). La ecología de Acridoideos no se apartó de esta tendencia y, hasta la última década del siglo pasado, la mayoría de los trabajos en esta rama se restringían principalmente al estudio de la variación ocurrida en las poblaciones de estos insectos durante períodos breves (uno a dos años) y en áreas geográficas restringidas (Cigliano *et al.*, 1995a, Lockwood, 1997).

Tal vez uno de los mayores impedimentos para llevar a cabo estudios sobre patrones espaciales en ecología de insectos haya sido la falta de herramientas analíticas y de manejo de datos adecuadas para tal fin (Liebhold *et al.*, 1993). El desarrollo reciente de dos tecnologías de análisis de patrones espaciales, como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección, ha abierto nuevos caminos en estudios sobre entomología aplicada.

Los SIG constituyen una herramienta útil para el manejo y análisis de datos geográficos provenientes de diferentes fuentes (mapas de vegetación, mapas de uso del suelo, datos climáticos, etc). Permiten el estudio comparativo de cambios temporales ocurridos en diversos ámbitos de aplicación como agricultura, forestación, urbanización, etc. Se trata de una tecnología de vanguardia que se potencia notablemente al combinarse con el empleo de imágenes satelitales, fuente principal de actualización, pues éstas ofrecen una visión sinóptica del área de interés, con una buena frecuencia temporal que permite seguir la evolución de fenómenos naturales y/o modificaciones generadas por el hombre.

Este trabajo tiene por objetivos brindar los conceptos básicos de los SIG y la teledetección, y destacar su utilidad en entomología aplicada, utilizando los estudios en acridios como ejemplo.

## SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los SIG constituyen un conjunto de programas y equipos de computación que permiten almacenar,

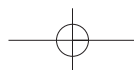
organizar, analizar y desplegar datos espaciales, brindando los elementos necesarios para la planificación y toma de decisiones en torno a problemas que varían espacio-temporalmente (Burrough, 1986). Aquellos datos que tengan referencias geográficas como por ejemplo, densidades de insectos, tipos de suelo, de vegetación, información climática, pueden ser incorporados a un SIG para luego ser utilizados en la confección de mapas o coberturas temáticas que permitan la visualización y análisis de forma integrada y no como entidades individuales. Los dos tipos de datos que constituyen toda característica geográfica (*espaciales y descriptivos*) son combinados en los SIG permitiendo analizar su interacción dentro de un mapa (cobertura temática) o entre varios mapas, y obtener uno nuevo con características propias (Burrough, 1986; Antenucci *et al.*, 1991).

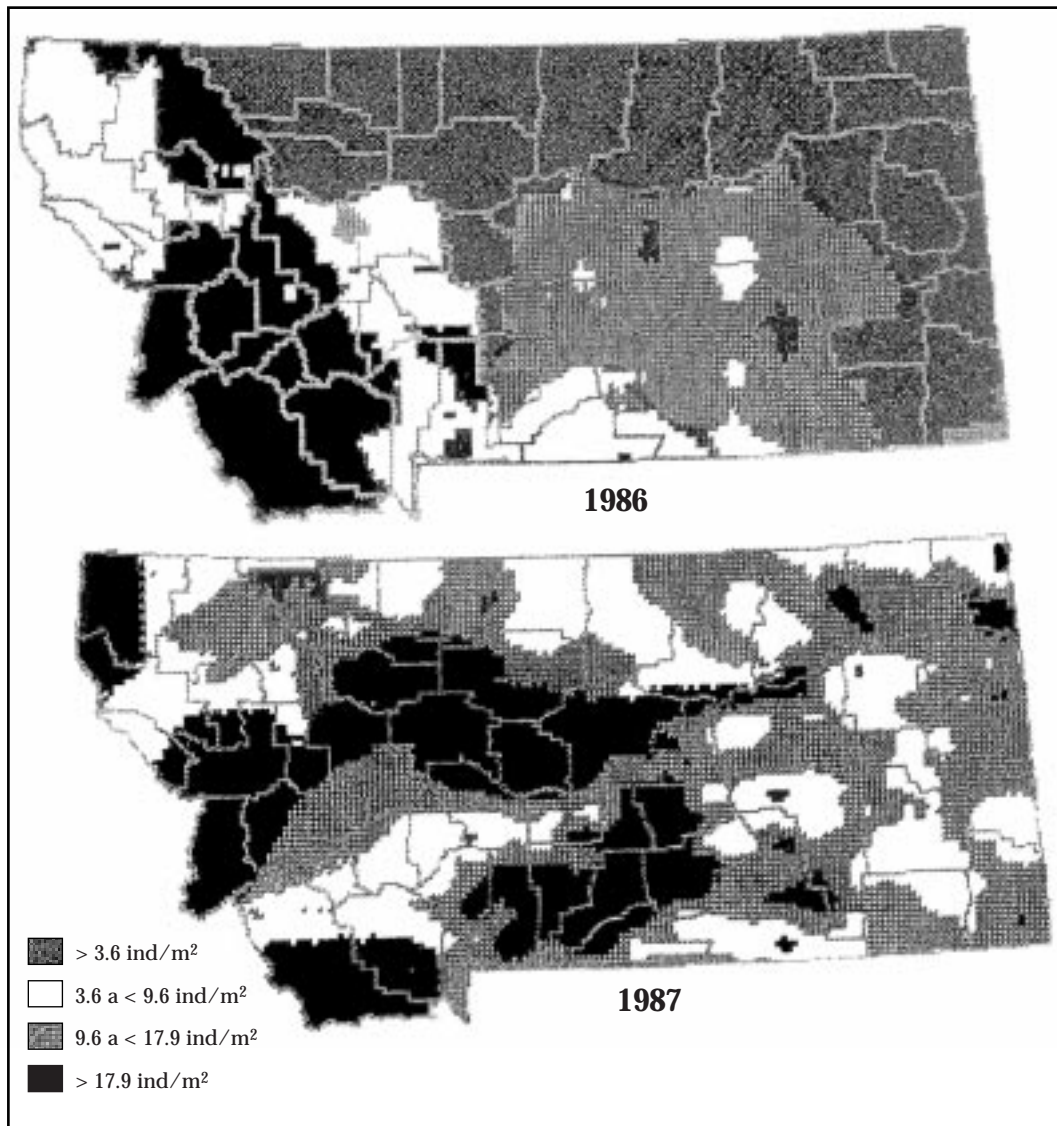
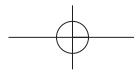
Para ser considerado un verdadero SIG, el mismo deber ser capaz de realizar las siguientes funciones para el manejo de los datos espaciales: (1) almacenamiento y recuperación (2) incorporación (3) análisis y (4) obtención de mapas, gráficos y tablas en papel y/o soporte magnético.

## ALMACENAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE DATOS ESPACIALES

Una característica básica de cualquiera de los numerosos productos de SIG que existen en la actualidad es la habilidad de representar la información contenida en un mapa en un formato que pueda ser utilizado por una computadora. Básicamente existen dos modos en que los SIG representan los datos espaciales: "vector" y "raster" (Burrough, 1986).

En un SIG que emplea el modo "raster" la representación gráfica de las características geográficas y sus atributos están incluidas dentro de un mismo archivo (Burrough, 1986, Murai, 1999). El área de estudio está representada por una grilla dividida en pequeñas celdas, cada una de las cuales tiene adjudicada un número que representa su posición geográfica (x/y) y al mismo tiempo su atributo cualitativo. La resolución o nivel de detalle de los datos depende del tamaño de la celda. Así, por ejemplo, una cobertura o mapa en formato "raster" de las explosiones poblacionales ("outbreaks") de acridios ocurrida en el estado de Montana, EEUU, durante los años 1986 y 1987, consiste en cientos de pequeñas celdas, cada una



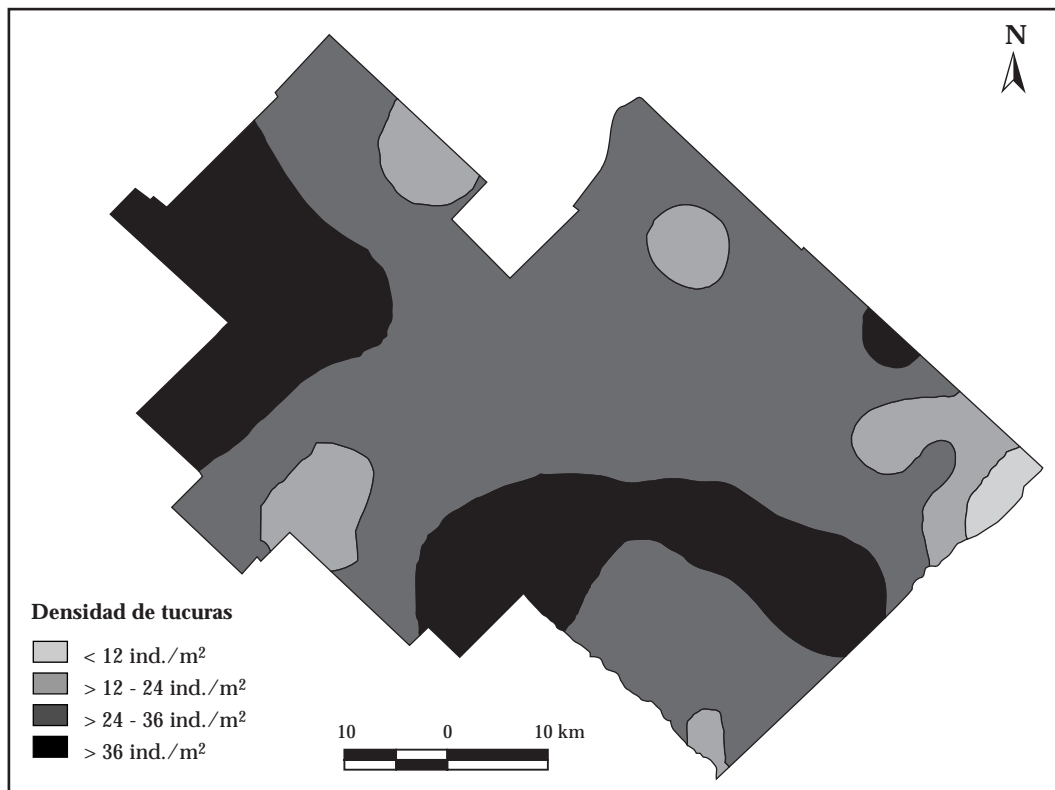


**Fig. 1:** Mapas raster de los "outbreaks" ocurridos durante 1986-1987 en el estado de Montana, EEUU (Cigliano *et al.* 1995a).

de las cuales posee un número que representa el valor de densidad registrado (Fig.1).

Los mapas son almacenados en forma diferente cuando se trabaja en el modo vector, cada característica geográfica se representa por medio de puntos, líneas y/o polígonos. Los mismos están definidos por un par de coordenadas X e Y referenciadas en un sistema de proyección cartográfica determinado (por ejemplo latitud/longitud, UTM, etc.) y los atributos de tales características geográficas están almacenados en una base de datos independiente. La unión entre ambas bases de datos (la espacial y la descriptiva) se realiza a

través de un identificador unívoco de cada objeto geográfico. La representación de los diferentes rasgos geográficos en modo "vector" incluye el concepto de topología, que hace referencia a las relaciones espaciales existentes (ubicación, vecindad, adyacencia, etc.) entre las entidades (punto, línea, polígono). Por lo tanto, en vez de ver las densidades de acridios como una colección de celdas discretas, que cuando tomadas en su conjunto, constituyen la imagen completa (como en el modo "raster"), los SIG de modo "vector" las ven como una suma de polígonos. Así, en una cobertura o mapa anual de densidades de



**Fig. 2:** Mapa vectorial de la densidad anual (enero 2002) de acridios del partido de B. Juárez, provincia de Buenos Aires.

acridios en el partido de Benito Juárez, provincia de Buenos Aires, cada área o polígono de la cobertura está asociada con una densidad particular almacenada independientemente (Fig.2).

Aunque algunas aplicaciones son más fáciles de implementar en modo "raster" (imágenes satelitales, modelo digital de elevación) y otras en modo "vector" (caminos, drenaje, capas temáticas, etc.), en la actualidad existen algoritmos que permiten la conversión de un modo a otro en forma relativamente sencilla.

#### INCORPORACIÓN DE DATOS ESPACIALES

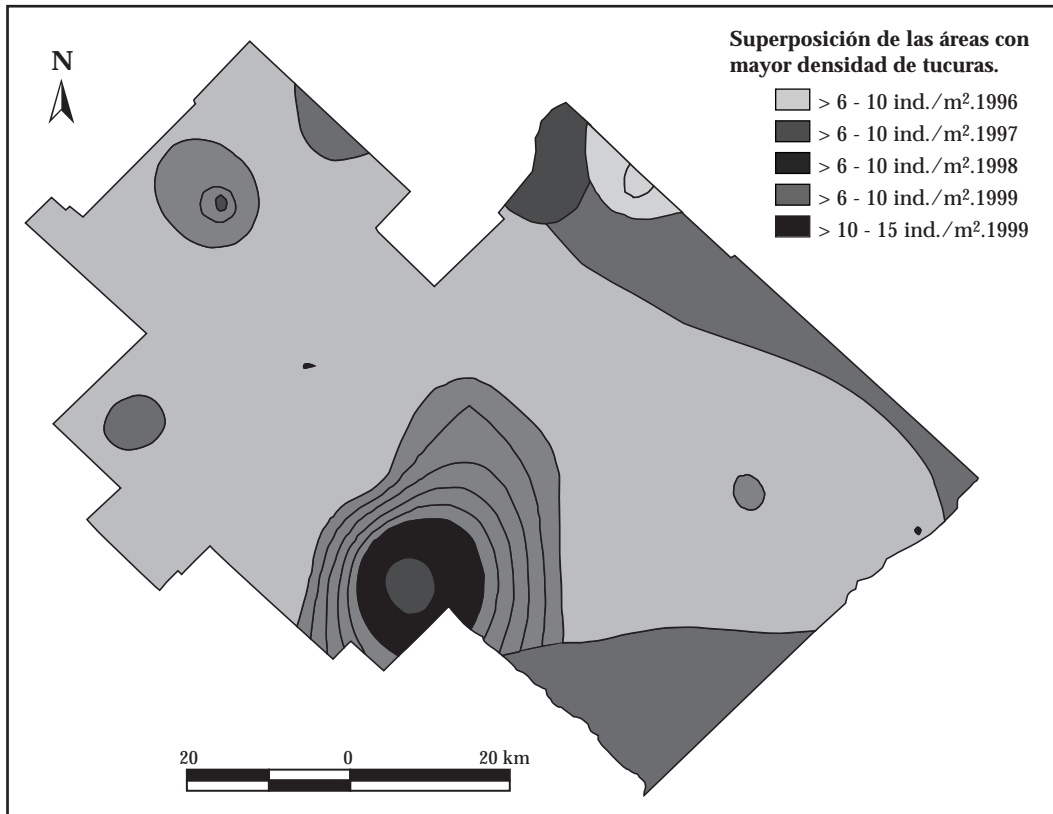
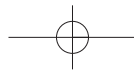
Existe una amplia variedad de fuentes de datos que los SIG pueden usar, la forma de incorporarlos dependerá de su naturaleza. Los datos geográficos que se incorporan al SIG pueden provenir de mapas en papel (incorporados por medio de la digitalización, a través de una mesa o tableta digitalizadora, o por medio del barrido, a través del empleo de un "scanner"), fotografías aéreas, tablas, o listas; o pueden ser datos en forma digital

(0-1), en formato "raster" o "vector", que provienen de mapas o coberturas temáticas, o de imágenes satelitales. Otra posibilidad es que los datos sean registrados directamente en el campo con la ayuda de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) que permite obtener las coordenadas de ubicación del punto de muestreo, mediante la recepción de la señal de, al menos, cuatro satélites pertenecientes a la constelación creada para ese fin.

Los datos espaciales deben recibir un "pre-procesamiento" al ser incorporados al sistema. Además de la mencionada conversión de un formato analógico (mapa en papel) a uno digital (0-1), también se llevan a cabo, según las aplicaciones, la conversión "vector"/"raster" o "raster"/"vector", la unificación y/o cambios de sistemas de proyección cartográfica, la unión de zonas adyacentes, etc. (Burrough, 1986, Sendra *et al.*, 1994).

#### ANÁLISIS DE DATOS ESPACIALES

Una de las mayores ventajas de un SIG es la capacidad de transformar los datos espaciales pa-



**Fig. 3:** Mapa vectorial resultante de la superposición de aquellas áreas que presentaron una densidad mayor a 6 ind./m<sup>2</sup> durante el período de ausencia de "outbreaks" (1996-1999) en B. Juárez, provincia de Buenos Aires (Torrusio, Inéd.).

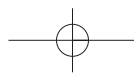
ra poder responder a búsquedas específicas. Los SIG proveen un amplio rango de capacidades de análisis que pueden operar con datos espaciales, así como datos no espaciales. El análisis espacial de los datos se puede realizar a través de numerosas operaciones, lógicas y matemáticas, ejecutadas por los SIG. Entre las operaciones más comunes están: la superposición de coberturas ("overlay", por ej. mapa de uso + mapa de densidades + caminos), la reclasificación (selecciona solo las clases de interés dentro de una cobertura temática), y las operaciones con "buffer" (operadores de distancia que establecen una zona de influencia a una distancia determinada a partir de puntos, líneas o polígonos). El resultado final de estas operaciones es un nuevo mapa o cobertura temática compuesta que es una combinación de los atributos de las coberturas de origen (Burrough, 1986). Así en la figura 3 se observa la superposición de sólo aquellas áreas que presentaron una densidad mayor a 6 ind./m<sup>2</sup> a lo largo de cuatro años de muestreo (1996-1999) que se co-

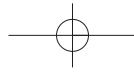
respondieron con bajas densidades en el partido de B. Juárez.

Los SIG también presentan herramientas estadísticas que permiten un análisis de los datos así como la actualización de la información y el desarrollo de modelos matemáticos. La posibilidad de actualizar la información permite monitorear la dinámica de un evento dado, a través del tiempo. En cuanto al desarrollo de modelos de simulación es posible ya que en un SIG se encuentran integradas numerosas variables cuyo cambio programado mostraría las tendencias del sistema bajo estudio en diferentes escenarios.

#### LA TELEDETECCIÓN COMO FUENTE DE INFORMACIÓN

La teledetección o teleobservación espacial, o percepción remota es aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales





(Chuvienco, 1990). Así tanto las tradicionales fotografías aéreas y más aún las modernas imágenes satelitales brindan la posibilidad de monitorear el ambiente, la distribución de los recursos naturales, la variación espaciotemporal del uso de la tierra, la evolución de inundaciones, sequías, incendios; con una reducción del trabajo de campo y con disponibilidad de datos muchas veces poco o nada accesibles para el hombre. De esta manera constituyen la principal fuente de actualización para los SIG.

En cualquier sistema de teleobservación están presentes los siguientes elementos: el sensor, el objeto a detectar, el flujo energético que permite la relación entre ambos, y la atmósfera (Chuvienco, 1990).

En la actualidad existe una gran variedad de productos satelitales adecuados a cada necesidad. Así se encuentran aquellos girando a miles de kilómetros de la superficie, como los meteorológicos (NOAA, GOES); y otros a unos 700-800 Km, como la mayoría de los destinados a la observación de la Tierra. En este último grupo las variantes ofrecidas son muchas en cuanto a la resolución espacial (detalle en el terreno), resolución espectral (número de rangos de longitud de onda en los que operan los sensores), resolución temporal (frecuencia de revisita) y resolución radiométrica ("detalle de la señal") (Patillo 1992).

Muchos de estos sensores (ópticos) operan en longitudes de onda ubicadas en el sector visible e infrarrojo del espectro electromagnético, es decir que reciben la energía reflejada o emitida por los distintos objetos una vez iluminados por el sol. Así cada entidad (agua, suelo, vegetación, etc.), sobre la base de su composición físico química, refleja de manera diferente en cada longitud de onda y tiene su propia firma espectral que permite diferenciarla de otra. Pueden captar desde una sola longitud de onda (pancromático), a varias (de 3 a 35, multiespectral) o cientos de bandas (hiperespectral) (Lillesand & Kiefer, 2000).

Otros (los radares), en cambio, operan iluminando la superficie terrestre, con su propia fuente de energía y reciben el eco de esa señal luego de interactuar con los objetos. Por lo tanto pueden tomar los datos durante el día y la noche, y como operan en longitudes de onda del orden de los centímetros (microondas) las nubes les resultan transparentes, mientras que los ópticos solo lo hacen durante el día y sin cobertura nubosa.

La resolución espacial oscila desde los que po-

seen un tamaño de píxel (detalle en el terreno) del orden del kilómetro hasta aquellos que lo tienen menor al metro.

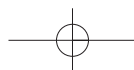
La frecuencia con que pueden tomar imágenes del mismo lugar varía según la plataformas y la posibilidad de mirar de forma lateral, ya que la mayoría lo hacen perpendicular a la superficie. Puede variar entre algunos días hasta algunas semanas. Cabe destacar aquí que existe una relación inversa entre la resolución espacial y área de cobertura de la escena con respecto a la resolución temporal, que se refleja también en el costo de los datos.

El análisis visual y/o digital de los datos satelitales permite generar los mapas temáticos que resultarán, en sí mismos, un producto terminado o podrán ser incorporados a un SIG según el objetivo del estudio (Chuvienco, 1990).

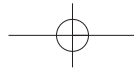
#### SIG Y TELEDETECCIÓN EN ENTOMOLOGÍA APLICADA DE ACRIDIOS

Tal vez uno de los principales usos de los SIG dentro de la entomología aplicada esté vinculado con el estudio de las relaciones entre las explosiones poblacionales de insectos ("outbreaks") y las variables ambientales (Kemp *et al* 1996). Las explosiones poblacionales de acridios, tanto de especies de langostas como de tucuras, son ejemplos típicos de la dinámica espacial de insectos que ocurre a gran escala y que se ve afectada por condiciones locales. Las explosiones comienzan a partir de la expansión de poblaciones que ocurren en localidades aisladas y se dispersan geográficamente a través del tiempo, a medida que se modifican las tasas de reproducción y supervivencia (Cigliano *et al.*, 1995a). Los factores que afectan las fluctuaciones numéricas en las poblaciones de acridios son generalmente variables que presentan características tanto espaciales como temporales (por ej.: clima, suelo, tipo de cultivo, uso de la tierra) y que pueden ser mapeadas e incorporadas a un SIG.

Uno de los primeros trabajos que aplicaron las técnicas de los SIG en tucuras fue realizado por Johnson (1989), en Canadá, quien estudió la relación entre las variaciones en las densidades poblacionales de tucuras que se sucedieron durante un período de diez años y las características del suelo de la región. Johnson (1989) determinó que la abundancia de tucuras en Alberta estaba ínti-







mamente relacionada con un tipo de suelo característico de ciertas zonas de la región. Asimismo, encontró que las densidades de las poblaciones tendían a declinar en aquellas áreas que recibían lluvias por encima del promedio anual (Johnson & Worobec, 1988). Fielding & Brusven (1993) también se valieron de esta herramienta para analizar datos históricos de monitoreo de especies de tucuras del estado de Idaho, EEUU, y demostraron que los mayores valores de densidad de tucuras estaban relacionados con las áreas de mayor disturbio en la región central de Idaho.

Cigliano *et al.* (1995a), analizaron las densidades poblacionales de tucuras registradas durante 9 años (1984-1992) en el estado de Montana, EEUU, y con la ayuda de un SIG caracterizaron espacio-temporalmente las explosiones poblacionales de estos insectos que se sucedieron durante 1986-1987 (Fig. 1) e identificaron los tipos de vegetación que eran más propensos a presentar explosiones poblacionales periódicas en el estado. Schell y Lockwood (1997) analizaron más de 30 años de datos históricos de densidades de tucuras en el estado de Wyoming, EEUU, por medio de un SIG, con la finalidad de falsar la hipótesis que sostiene que la frecuencia de las explosiones de acridios depende de seis variables ecológicas: vegetación, precipitación, altitud, evapotranspiración, paisaje y tipos de suelos.

Estudios sobre la distribución espacio-temporal de explosiones poblacionales de tucuras también fueron llevados a cabo a través de la aplicación de técnicas del SIG y teledetección en Irkutsk Oblast cerca del Lago Baikal, en el Sudeste de Siberia, Rusia (Latchininsky, Inéd.). Estos estudios permitieron determinar que las fluctuaciones temporales de las explosiones de tucuras respondían a los cambios de temperatura y lluvias de la temporadas estivales precedentes. También se pudo establecer que la distribución espacial de las explosiones poblacionales de tucuras estaba asociada con determinados hábitats, se encontraba altamente relacionada con las zonas ecotonales entre los pie de montaña y los valles.

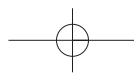
Kemp *et al.* (2002) examinaron la riqueza y abundancia de acridios en relación al paisaje y tipo de vegetación, en el distrito de Gallatin, Montana, EEUU, y destacaron la importancia de la vegetación y la fisonomía del paisaje en la estructuración de las comunidades de especies de tucuras. En este estudio, realizado a nivel de parcela, se utilizó una fotografía aérea para de-

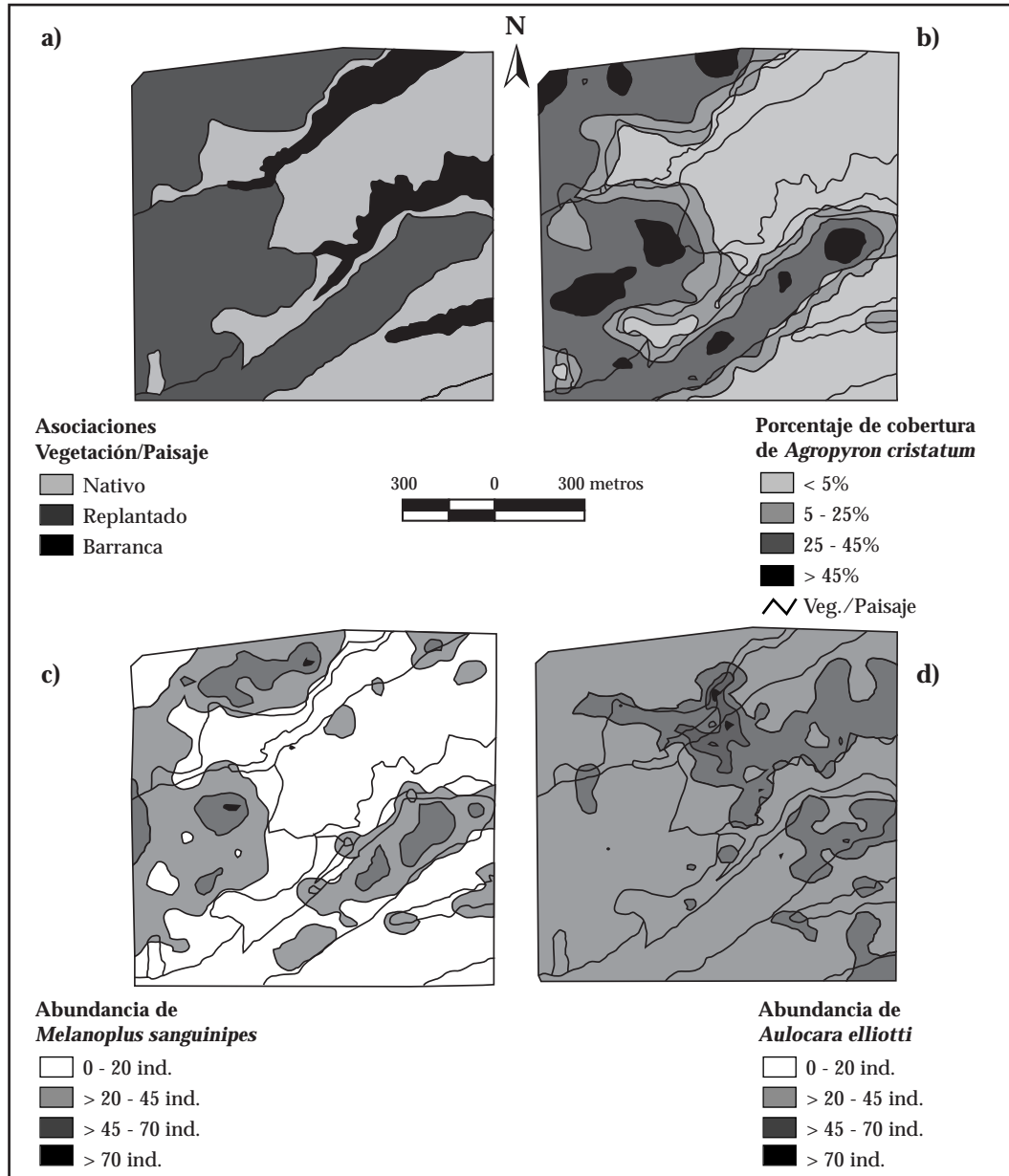
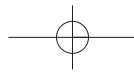
limitar las asociaciones de vegetación/paisaje y para el diseño de muestreo. La Figura 4, presenta algunos de los mapas de ese estudio, como el de las asociaciones vegetación/paisaje resultante de la fotointerpretación (Fig.4.a), la distribución de *Agropyron cristatum* (Fig.4.b), la principal especie forrajera implantada; y la distribución de las dos especies de acridios más abundantes, *Melanoplus sanguinipes* (Fig.4.c) y *Aulocara ellioti* (Fig.4.d). Los últimos tres mapas generados a partir de la interpolación de los datos obtenidos a campo (% de cobertura en el caso de *A. cristatum*, y valores de abundancia en el caso de los acridios).

Otra área de importante aplicación de los SIG ha sido el análisis de los datos obtenidos a partir de los muestreos de acridios que son realizados anualmente en el Oeste de los EEUU por el Departamento de Agricultura. A partir de estos datos se elaboran anualmente mapas de áreas de riesgo de especies de acridios que han servido para mejorar el pronóstico de las poblaciones de dichas especies en áreas afectadas por estos insectos plaga (Kemp *et al.*, 1996). En Canadá también se realizan anualmente mapas similares que son utilizados en el control preventivo de tucuras (Johnson, 1989; Onsager & Olfert, 2000).

En la actualidad existen numerosos proyectos cuyos objetivos son la caracterización de la susceptibilidad del hábitat a las explosiones poblacionales de especies de langostas mediante las técnicas de los SIG que incorporan los datos de imágenes satelitales, debido a su accesibilidad en casi cualquier región del globo. Así se facilita la obtención de información de los hábitats en regiones desérticas y semidesérticas en donde se desarrollan estas especies y que son de muy difícil acceso a través de medios tradicionales. En Australia, fueron utilizados datos de imágenes del satélite "Landsat" para determinar áreas en las cuales las condiciones son propicias para la postura de huevos de la especie de langosta *Chortoicetes terminifera*. Bryceson (1989) empleó el índice de vegetación normalizado, (NDVI, índice que evalúa diferentes niveles de "verdor" de la vegetación) a partir de la imagen, asociado con la distribución de las precipitaciones. A través de su análisis, pudo identificar las áreas de pastos tiernos donde las bandas de juveniles de langostas encuentran el alimento adecuado.

Similares mapeos de "verdor", que indican el estado de crecimiento de la vegetación, se llevan a cabo en distintas regiones de África, permitien-

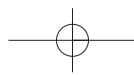




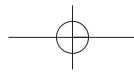
**Fig. 4:** Distribución espacial a nivel parcela de en el distrito de Gallatin, Montana, EEUU: a) Asociaciones Vegetación /Paisaje b) Porcentaje de cobertura de *Agropyron cristatum* c) Abundancia de *Melanoplus sanguinipes* d) Abundancia de *Aulocara elliotti* (Kemp et al. 2002).

do inferir de manera indirecta la ubicación de la plaga y el nivel de daño ocasionado a la vegetación. Las imágenes satelitales han sido utilizadas en la identificación y confección de mapas de biotopos (potenciales sitios de oviposición, desarrollo y refugios) de la especie de langosta *Schistocerca gregaria* en el área de cría, en las costas del Mar Rojo, Sudán. En este estudio las imágenes satelitales fueron las bases para el trabajo de campo, concen-

trándose el mayor interés en evaluar la distribución de la vegetación. A partir de la interpretación de datos satelitales de los estudios realizados a campo se logró excluir grandes áreas que no eran favorables para el desarrollo de esta especie de langosta. Esta información junto a datos recogidos sobre el tipo de suelos, geomorfología, vegetación y lluvias permitieron identificar aquellos hábitats aptos para el desarrollo de la plaga (Voss & Dreiser, 1997).







Desde 1988 el Centro de Sensores Remotos de la FAO ("Food and Agriculture Organization of the United Nations") ha puesto en marcha el Proyecto ARTEMIS ("Africa Real Time Environmental Monitoring Information System"), dentro del cual se ha desarrollado el SIG denominado SWARMS (*Schistocerca* WARning Management System, término que en inglés significa mangas de langostas) como apoyo del Programa de Prevención de la langosta del desierto, *Schistocerca gregaria* (Magor & Pender, 1997; Cressman, 1997). En este proyecto se utilizan, además de los datos colectados sobre la distribución de langostas, principalmente datos satelitales de baja resolución espacial y alta resolución temporal (NOAA, Meteosat), que permiten generar productos estandarizados (mapas e informes) indicando las áreas de lluvias y la variación espacial de la vegetación verde. En este sistema de alerta esa información se distribuye fácilmente en las zonas afectadas, y ofrece a los destinatarios una estimación de aquellas zonas más propicias para el establecimiento de la langosta y es utilizada para prevenir posibles ataques de esta plaga (Hielkema y Snijders, 1993).

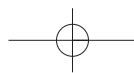
Las técnicas de los SIG e imágenes satelitales fueron también utilizados para la identificación de biotopos de *Rhammatocerus schistocercoides*, plaga de la agricultura en el Estado de Mato Grosso, Brasil (Miranda *et al.*, 1994, 1996). A partir de datos "Landsat" TM se delimitaron las unidades de vegetación, estos mapas fueron cruzados en un SIG con las cartas de suelo para generar una cobertura de biotopos de esta especie de tucura. En este trabajo la cartografía de ambientes favorables a *R. schistocercoides* fue un elemento fundamental para comprender las consecuencias del avance de la agricultura sobre hábitats nativos y un instrumento básico para el monitoreo y control de la plaga (Miranda *et al.*, 1996; Lecoq *et al.*, 1997, Lecoq, 2000).

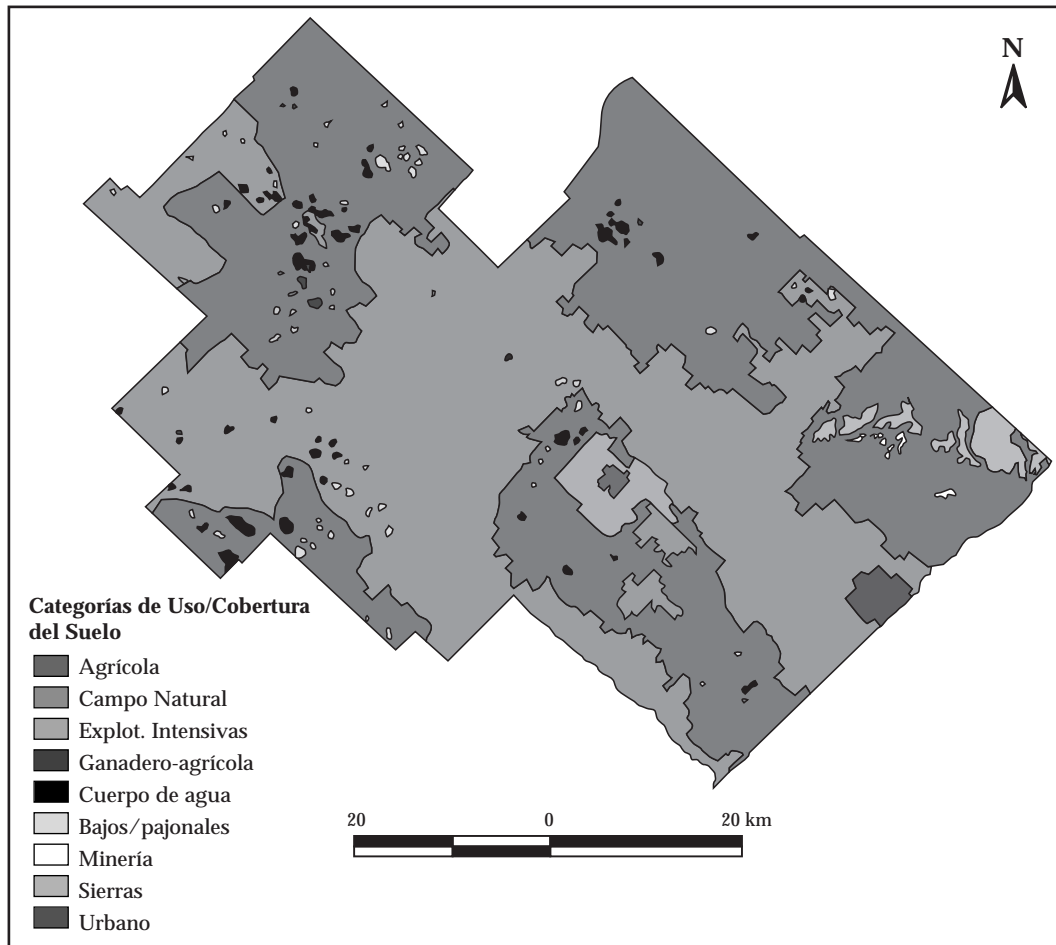
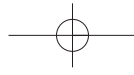
Por último, la Comisión Australiana de Lucha contra la Langosta Plaga ("Australian Plague Locust Commission") ha desarrollado lo que es en la actualidad el programa más moderno y de mayor eficacia de lucha contra las langostas. Éste es un programa preventivo de manejo de la especie *Chortoicetes terminifera* en una región que supera los 3 millones de km<sup>2</sup>, una superficie mayor que la totalidad de la Argentina. Una parte esencial de la detección temprana y el control ha sido la integración de la información más reciente sobre la distribución de la langosta, las preferencias

de hábitat y el registro de lluvias conectado a un Sistema de Apoyo para la Decisión ("Decision Support System"), que a través de modelos de simulación permite estimar la ubicación geográfica de bandas y/o mangas de la langosta (Hunter & Deveson, 2002). Los datos sobre la distribución de las langostas son recolectados por técnicos de campo que transfieren la información por radio al SIG. La información transferida es superpuesta sobre un mapa temático de hábitat preferidos por la langosta, obtenido a partir de la información recolectada durante 13 años de muestreo, y comparada con distribuciones de años precedentes. *Chortoicetes terminifera* requiere áreas de vegetación verde para desarrollarse y oviponer, que generalmente encuentra a través de la migración en el interior desértico de Australia. Cuando las estaciones meteorológicas informan sobre la ocurrencia de lluvias se realizan los modelos de simulación de las migraciones de la especie usando la trayectoria de los vientos. Luego la "National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)" envía los datos sobre las áreas verdes detectadas, obtenidos a partir de la información de las imágenes satelitales. Los datos sobre la distribución de la langosta, migración, registro de lluvias y el verdor de la vegetación son integrados en el SIG y a partir del Sistema de Apoyo de la Decisión se pronostican las áreas donde las poblaciones de langostas tendrán una mayor probabilidad de aumentar o disminuir sus densidades. Dentro del área que cubren los 3 millones de km<sup>2</sup> en donde la especie puede ocurrir, sólo aquellas áreas que presenten una mayor probabilidad de incremento de la misma, son monitoreadas para la detección y control temprano de bandas o mangas de langostas (Hunter & Deveson, 2002).

#### APLICACIONES DE LOS SIG Y TELEDETECCIÓN EN ACRIDIOS DE LA ARGENTINA

Aunque en forma menos conspicua que la langosta, diferentes especies de tucuras (*Dichroplus elongatus* G. Tos, *D. pratensis* Bruner, *D. maculipennis* (Blanchard), *D. vitattus* Bruner, *Rhammatocerus pictus* (Bruner), *Staurorhectus longicornis* G. Tos, *Bufo nacrisclearaziana* (Saussure), *Tropidacris collaris* (Stall), entre otras) suelen ser plagas agrícolas de importancia en nuestro país. En la provincia de Buenos Aires, al igual que en otras áreas del país (Río Negro, Neuquén,





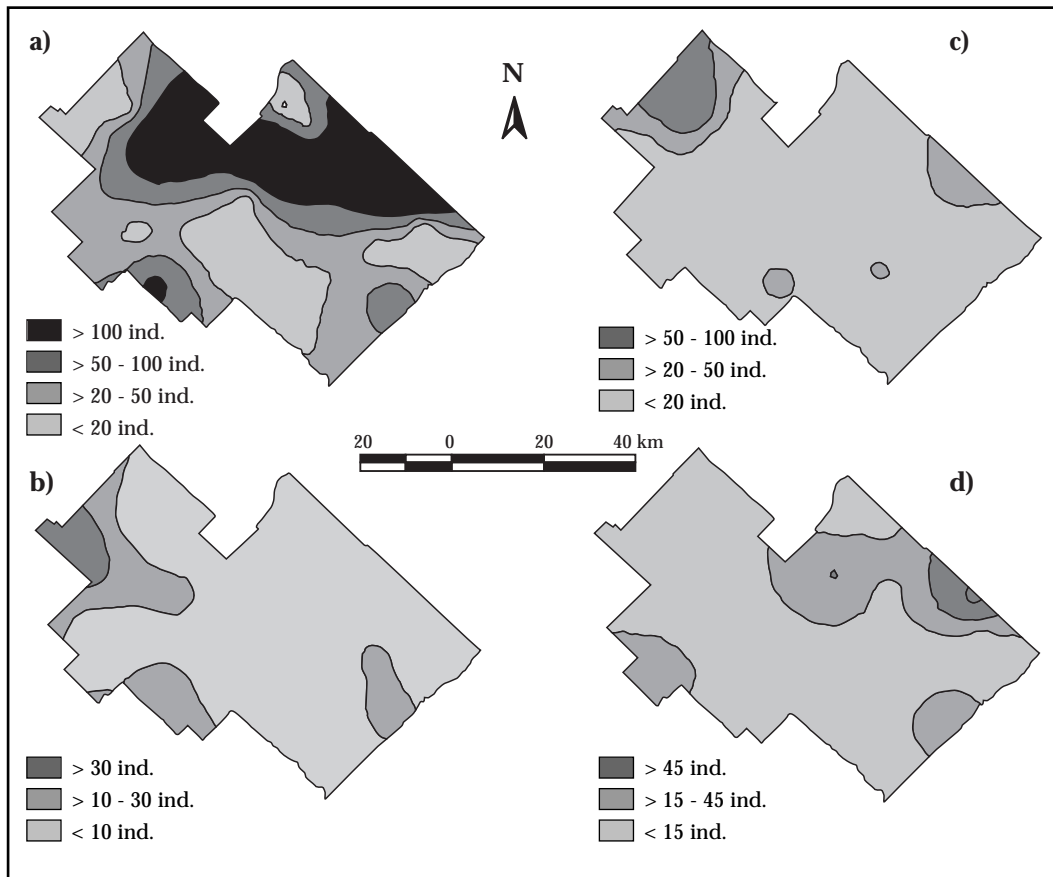
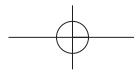
**Fig. 5:** Mapa de Uso/Cobertura del Suelo del partido de B. Juárez, provincia de Buenos Aires., año 1999, realizado a partir de la interpretación de imágenes satelitales (Torrusio, Inéd.).

Chubut, Córdoba, Tucumán, San Luis, La Pampa) se han observado en años recientes aumentos significativos en las poblaciones de algunas especies, que han causado daños de consideración sobre pasturas y cultivos (Cigliano *et al.*, 1995b; Cigliano & Lange, 1998; Cigliano *et al.*, 2000).

Estudios recientes que contemplan la variación temporal y espacial de la acridiofauna del partido de Benito Juárez, provincia de Buenos Aires, permiten evaluar el problema acridiológico y sentar las bases para tomar las medidas de control más adecuadas. Estos estudios, que se desarrollan ininterrumpidamente desde 1996, se llevan a cabo a través de la implementación de un SIG que permite analizar la variación de densidades poblacionales de tucuras en el espacio y a través del tiempo, en relación a diferentes factores ambientales. A partir de los trabajos a campo que se realizan durante las distintas temporadas estivales, se

determinan las especies de tucuras presentes en el área y su densidad poblacional, estos últimos datos son luego incorporados al SIG para elaborar los distintos mapas de densidad anual. Dichas coberturas temáticas están constituidas por diferentes áreas que representan los valores de densidad poblacional presentes en Benito Juárez. Una vez elaborados estos mapas son inmediatamente enviados a la Comisión de Lucha de Benito Juárez ya que a través del análisis de los mismos se determina cuáles son las áreas del partido más susceptibles a presentar altas densidades (Fig.2).

Asimismo y con el fin de determinar los factores ambientales que podrían influir sobre las fluctuaciones de las densidades poblacionales de tucuras en el partido de Benito Juárez, se ha incorporado al SIG el mapa de uso/cobertura del suelo (que se actualiza periódicamente) elaborado a partir del análisis de imágenes satelitales de la región (Fig.5),



**Fig. 6:** Mapas de abundancia específica del año de "outbreak" (2001) ocurrido en el partido de B. Juárez, provincia de Buenos Aires. (a) *Dichroplus elongatus*; (b) *Covasacris albitarsis*; (c) *Dichroplus pratensis*; (d) *Scotussa lemniscata*. (Torrusio, Inéd.).

mapas de paisaje, de tipo y textura de suelo, datos climáticos y otros datos que se consideran puedan tener influencia en las variaciones poblacionales de estos insectos (por ejemplo técnicas de labranza).

Los resultados de estos estudios permitieron diferenciar años de ausencia de "outbreak", de transición y de "outbreak", establecer el tipo de "outbreak" registrado en función de la dicotomía planteada por Berryman (1987) y determinar una variación significativa en cuanto a la riqueza de especies entre los períodos de baja y alta densidad (Cigliano *et al.* 2002). El análisis espacial comparativo de los mapas de abundancias de las cuatro especies dominantes del partido (*Dichroplus elongatus* Fig.6.a, *Covasacris albitarsis* Liebermann Fig.6.b, *Dichroplus pratensis* Fig.6.c y *Scotussa lemniscata* (Stal) Fig.6.d) demostraron una marcada diferencia en sus patrones de distribución espaciotemporal en el área de estudio du-

rante los años de ausencia de "outbreak", transición y "outbreak". A través de un análisis comparativo entre los mapas de densidades totales y los de abundancia específica también fue posible establecer que durante los años de ausencia de "outbreak" las áreas con mayores densidades estuvieron representadas por diferentes especies de acridios que las dominantes durante el "outbreak" (Torrusio, Inéd.).

A partir del análisis de los factores climáticos se pudo determinar que las lluvias de verano tuvieron un efecto positivo sobre las densidades totales, mientras que las temperaturas media y mínima promedio de verano tuvieron una influencia negativa (Torrusio, Inéd.). Asimismo se determinó que durante el año del "outbreak" (2001) existió un determinado tipo de paisaje y suelos que estuvo asociado con una mayor riqueza de especies. En cuanto a las categorías de uso de suelo estas áreas con mayor riqueza se ubicaron, principal-

mente, sobre campos naturales (Torrusio *et al.*, 2002; Torrusio, Inéd.). Por último, estos estudios también permitieron establecer la preferencias de hábitats por las distintas especies recolectadas (Torrusio, Inéd.).

#### FUTURAS APLICACIONES DE LOS SIG Y TELEDETECCIÓN EN ENTOMOLOGÍA APLICADA

Los SIG y la teledetección constituyen una tecnología que ha evolucionado notablemente en la última década, haciendo que los programas de computación sean cada vez más fáciles de utilizar gracias al desarrollo de interfaces que a su vez resultan más sencillas de operar para el usuario. Esta tendencia seguramente seguirá profundizándose en el futuro y por lo tanto éstos serán más accesibles aún para una mayor cantidad de entomólogos. El desarrollo de los SIG ha facilitado a entomólogos y ecólogos el análisis de patrones espaciales complejos que presentan una variación temporal, y por ello, estas herramientas también deberían contribuir a un mayor desarrollo tanto de la entomología teórica como de la aplicada.

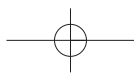
Los SIG no constituyen un sustituto de los datos de campo ni de otras fuentes, ya que éstos siguen siendo esenciales para la comprensión y resolución de problemas biológicos. No obstante, los SIG mejoran la disponibilidad de acceso y la interpretación de datos actuales e históricos sobre los insectos y su ambiente. Con el advenimiento del correo electrónico e Internet las potencialidades de los SIG se ve optimizada debido a la fluidez en la entrada de datos al sistema y salida de los informes y mapas destinados a los científicos, técnicos y productores que manejan el problema de plagas de insectos (Cressman, 1997).

La futura tendencia en el ámbito de la entomología aplicada será hacia el desarrollo de sistemas expertos para el manejo de insectos plaga que incluyan SIG "inteligentes" (Robinson *et al.*, 1987; Smith *et al.*, 1987) que incorporan la experiencia y el conocimiento de un experto en las funciones de los SIG y del proceso de la toma de decisiones.

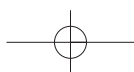
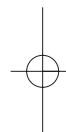
Esta metodología desarrollada en el exterior, está cobrando día a día mayor importancia en la Argentina y creemos será una valiosa herramienta para el conocimiento, manejo y monitoreo de insectos plagas.

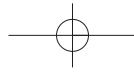
#### BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ANTENUCCI J. C., K BROWN, P. L. CROSWELL, M. J. KEVANY & H. ARCHER. 1991. *Geographic Information Systems: a Guide to the Technology*, New York.
- BERRYMAN, M. 1987. The theory and classification of outbreaks. *En: Barbosa P. & J.C. Schultz (eds), Insect outbreaks*. Academic Press, London, pp. 3-29.
- BRYCESON, K. P. 1989. The use of Landsat MSS data to determine the distribution of locust eggbeds in the Riverina region of New South Wales. *Australia. Int. J. Remote Sensing* 10 (11), 1749-1762.
- BURROUGH, P. A., 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford.
- CIGLIANO, M. M., W. P. KEMP & T. KALARIS. 1995a. Spatiotemporal characteristics of rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) regional outbreaks in Montana. *Journal of Orthoptera Research*. 4:111-126.
- CIGLIANO, M. M.; M. L. DE WYSIECKI. & C. E. LANGE. 1995b. Disminución de la abundancia de *Dichroplus maculipennis* (Blanchard) (Orthoptera: Acridoidea) en comunidades del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. 54:41-43
- CIGLIANO, M. M. & C. E. LANGE. 1998. Orthoptera. *En: Morrone J. J. & Coscarón S. (eds), Biodiversidad de Artrópodos Argentinos*. Ediciones Sur, La Plata, pp. 67-83.
- CIGLIANO, M. M.; M. L. DE WYSIECKI. & C. E. LANGE. 2000. Grasshopper (Orthoptera, Acridoidea) species diversity in the Pampas, Argentina. *Journal of Diversity and Distributions*. 6: 81-93.
- CIGLIANO, M. M.; S. TORRUSIO & M. L. DE WYSIECKI. 2002. Grasshopper (Orthoptera: Acridoidea) community composition and temporal variation in the Pampas, Argentina. *Journal of Orthoptera Research*. 11(2):215-221.
- CRESSMAN, K., 1997. Swarms: A geographic information system for desert locust forecasting. *En: Krall S., R. Peveling & D. Da Diallo (eds), New Strategies in Locust Control*. Birkhauser Verlag Basel. Switzerland, pp. 27- 35.
- CHUVIECO, E., 1990. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid.
- FIELDING, D. J. & M. A. BRUSVEN. 1993. Spatial analysis of grasshopper density and ecological



- disturbance on Southern Idaho rangeland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 43, 31-47.
- HIELKEMA, J. U. & F. L. SNIJDERS. 1993. Operational use of Environmental Satellite Remote Sensing and Satellite Communications Technology for Global Food Security and Locust Control. Informe de la FAO, pp.21.
- HUNTER D. & E. DEVESON. 2002. Operational use of a Decision Support System: Detecting Locust Outbreaks in Australia. *Advances in Applied Acridology*. 3,23.
- JOHNSON, D. L. & A. WOROBEC. 1988. Spatial and temporal computer analysis of insects and weather: grasshoppers and rainfall in Alberta. *Mem. ent. Soc. Can.* 146, 33-48.
- JOHNSON, D. L. 1989. Spatial analysis of the relationship of grasshoppers outbreaks to soils classification. En: Mc Donald LL., Br. Manly, J. A. Lockwood & J. Logan, (eds). *Estimation and analysis of insect populations*. Springer-Verlag, New York, pp. 357-370.
- KEMP, W. P.; D. MCNEAL & M. M. CIGLIANO. 1996. Geographic Information System (GIS) and Integrated Pest Management of Insects. En: Cunningham, G. L. & Sampson, M. W. (eds), *Grasshopper Integrated pest management user handbook*. Tech. Bull. 180., US Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Washington D. C., VI.9-1-VI.9-10 pp
- KEMP, W. P, K. M. O'NEILL, M. M. CIGLIANO & S. TORRUSIO. 2002. Field-scale variations in plant and grasshopper communities. *Transactions in GIS*. 6(2), 115-133.
- LATCHININSKY, A. Inéd. Environmental factors governing population dynamics of rangeland grasshoppers: The first application of GIS and remote sensing to Russian acridology". Thesis, University of Wyoming, 2001, 325 pp.
- LECOQ M., J. F. DURANTON & T. RACHADI. 1997. Towards an integrated strategy for the control of the desert locust. En: Krall S., R. Peveling & D. Da Diallo (eds), *New Strategies in Locust Control*, Birkhauser Verlag Basel, Switzerland, pp. 467- 475.
- LECOQ M., 2000. How Can Acridid Population Ecology Be Used to Refine Pest Management Strategies?. En: Lockwood J. A., A. V. Latchininsky & M. G. Sergeev (eds.), *Grasshoppers and Grassland Health*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 109-130.
- LIEBHOLD, A. M., R. E. ROSSI & W. P. KEMP. 1993. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annu. Rev. Entomol.* 38,303-327.
- LILLESAND, T. M. & R. W. KIEFER. 2000. Remote Sensing and Image Interpretation, New York.
- LOCKWOOD J. A. 1997. Rangeland Grasshopper Ecology. En: Gangwere S. K., Muralirangan M. C. & Muralirangan M. (eds.), *The Bionomics of Grasshoppers, Katydid and Their Kin*, CAB International, pp. 83-101.
- MAGOR, J. I. & J. PENDER. 1997. Desert locust forecasters' GIS: a researchers' view. En: Krall S., R. Peveling & D. Da Diallo (eds), *New Strategies in Locust Control*, Birkhauser Verlag Basel, Switzerland, pp. 21- 26.
- MIRANDA E., J. R. PIEROZZI, M. BATISTELLA, J. DURANTON & M. LECOQ. 1994. Static and dynamic cartography of the biotopes of the grasshopper *Rhamatocerus schistocercoides* (Rehn,1906) in the state of Mato Grosso, Brazil. En: Actas del Simposio Internacional de Monitoreo de Recursos y Ambiente. ISPRS, Río de Janeiro, 1994, 30 (7b): 67-72.
- MIRANDA, E., M. LECOQ, J. R. PIEROZZI, J. DURANTON, J. & M. BATISTELLA. 1996. *O gafanhoto do Mato Grosso. Balanço e perspectivas de 4 anos das pesquisas 1992-1996*, Montpellier.
- MURAI, S., 1999. SIG - Manual Base, Conceptos fundamentales. *Selper* 15(1), 1-66.
- ONSAGER, J. A. & O. OLFERT. 2000. What tools have potential for grasshopper pest management? A North Perspective. En: Lockwood J. A, A. V. Latchininsky & M. G. Sergeev (eds.), *Grasshoppers and Grassland Health*,. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 145-156.
- PATILLO, C. G., 1992. Guía de Estudio en Percepción Remota. Pontificia Universidad Católica de Chile. Programa Percepción Remota y SIG. Santiago, Chile. pp. 95.
- ROBINSON, V. B., A. U. FRANK & H. A. KARIMI. 1987. Expert systems for geographic information systems in resource management. *Applications in Natural Resource Management*. 1: 47-55.
- SHELL, S. P. & J. A. LOCKWOOD. 1997. Spatial Analysis of Ecological Factors Related to Rangeland Grasshopper (Orthoptera: Acrididae) Outbreaks in Wyoming. *Environmental Entomology*. 26(5), 1343-1353.
- SENDRA, J., F. MARTINEZ, E. HERNÁNDEZ & M. GARCÍA. 1994. *Sistemas de Información Geográfica*





- ca: prácticas con PC Arc/Info e Idrisi, Madrid.
- SMITH, T., D. PEUGUET, S. MENON & P. AGARWAL. 1987. A knowledge-based geographical information system. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.* 2: 149-172.
- TORRUSIO, S. Inéd. Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la dinámica de la distribución espacial y temporal de densidades de Acridios (Orthoptera: Acridoidea) en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Partido de Benito Juárez). Tesis, Universidad Nacional de La Plata, 2003, 152 pp.
- TORRUSIO, S., M. M. CIGLIANO & M. L. DE WYSIECKI. 2002. Grasshopper (Orthoptera: Acridoidea) and plant community relationships in the Argentine Pampas. *Journal of Biogeography.* 29:221-229.
- VOSS F. & U. DREISER. 1997. Mapping of desert locust habitats using remote sensing techniques. *En: S. Krall, R. Peveling y D. Da Diallo (eds), New Strategies in Locust Control*, Birkhauser Verlag Basel. Switzerland, pp. 47- 54.

Recibido: 5-VIII-2003  
Aceptado: 15-VIII-2003

