

Modelo de simulación para el manejo integrado de las plagas de ecosistemas agrícolas

S. T. ACUÑA y G. BARCHINI DE GIMÉNEZ

En los ecosistemas agrícolas el uso indiscriminado de plaguicidas atenta contra la salud, el medio ambiente y la comercialización de los productos.

En este trabajo se propone la Dinámica de Sistemas como metodología alternativa y complementaria para el Manejo Integrado de Plagas y se describe una experiencia realizada en los cultivos de cítricos de la provincia de Tucumán.

Se diseña un modelo de simulación (dinámico, determinístico e histórico proyectado al futuro) para explicar y predecir el comportamiento del ácaro rojo de los cítricos (*Panonychus citri* McGregor) en el sistema bajo estudio. Además, se considera el software respectivo que permite a los profesionales disponer de una herramienta para la toma de decisiones técnicas.

El grado de confiabilidad del modelo es satisfactorio conforme a los análisis cualitativo y estadístico entre los valores reales y simulados de la evolución de *Panonychus citri*.

La metodología utilizada resulta válida para las condiciones y la plaga estudiadas y, por las características que presenta, su aplicación podría extenderse a otros sistemas agrícolas o forestales realizando las modificaciones necesarias para el hábitat y el organismo considerados.

S. T. ACUÑA: Facultad de Ciencias Forestales.

G. BARCHINI DE GIMÉNEZ: Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la UNSE. Avda. Belgrano (Sur) 1912. 4200 Santiago de Estero.

Palabras clave: Enfoque sistémico, modelo dinámico de simulación, fluctuación poblacional, *Panonychus citri*, comportamiento predictivo.

INTRODUCCIÓN

Las plagas que afectan a los cítricos constituyen un problema de graves consecuencias porque incide principalmente en la cantidad y calidad de la fruta y en un incremento considerable de los costos de producción.

Entre los métodos convencionales, el control químico ha sido el principal modo de combatirlas, ya que es el más contundente y a menudo el más accesible para el productor.

Sin embargo, la aplicación frecuente e indiscriminada de plaguicidas provoca serios problemas en el medio ambiente.

Con una tendencia ecologista surge el Manejo Integrado de Plagas (MIP) (1), en el que no se toma como unidad de tratamiento la plaga aislada del ambiente, sino el "agroecosistema" en su conjunto.

Debido a la filosofía sistemática que lo sustenta y a los mecanismos esencialmente realimentados de control con que opera, el

(1) Considera a las plagas como un problema ecológico y usa en forma integrada y adecuada las técnicas de control disponibles (ALTIERI *et al.*, 1983).

MIP necesita de herramientas informáticas para optimizar sus procesos y resultados.

Por lo tanto, en este trabajo se propone a la Dinámica de Sistemas (DS) como metodología alternativa y complementaria para estudiar los problemas inherentes al manejo de plagas, en donde algunas técnicas informáticas (análisis de sistemas, modelización y simulación) juegan un rol preponderante.

La DS se ha empleado en la simulación de procesos industriales, económicos, demográficos, ecológicos, etc., pero no se conocen en la República Argentina trabajos que la utilicen para mejorar el MIP. Hasta el momento se emplearon modelos matemáticos que generalmente no son operables en la toma de decisiones técnicas.

Con la DS se genera una visión macro y micro del sistema considerado más real y comprensible que cualquier modelo analítico.

De los artrópodos claves correspondientes al sistema cítrico (especialmente limoneros) de la provincia de Tucumán, se eligió simular y predecir el comportamiento de *Panonychus citri*, plaga clave en el orden local y mundial, ya que se dispone de la información necesaria para concretar este estudio (2). A partir de la hipótesis general que los sistemas ecológicos pueden ser analizados convenientemente dentro del enfoque de la DS, los objetivos son:

a) Mejorar el manejo integrado de plagas y el conocimiento de los ecosistemas agrícolas.

b) Mantener el equilibrio de los ecosistemas al incrementar los factores de resistencia ambiental y disminuir el uso profuso de plaguicidas.

c) Brindar al profesional dedicado al manejo integrado de plagas una herramienta que le permita tomar decisiones óptimas.

d) Ampliar el dominio de aplicación de la DS incluyendo los sistemas agrícolas. Los objetivos específicos de la experiencia reali-

zada son *diseñar un modelo de simulación* que describa las interacciones *Panonychus citri* y sus enemigos naturales que coexisten en los cítricos de la provincia de Tucumán y *construir el software* respectivo de asistencia en la toma de decisiones referentes a las técnicas de control oportunas y adecuadas.

Los destinatarios de este trabajo se encuadran tanto dentro de la Informática como de las Ciencias Agrícolas; cada uno con la perspectiva de su propia disciplina.

CARACTERÍSTICAS DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA

Basados en el Enfoque Sistémico y la DS la metodología inherente a este trabajo se estructura en las siguientes fases (Figura 1):

1. EXPLORACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN, que consiste en el reconocimiento y formulación del problema y la definición del sistema a modelar.

2. FORMULACIÓN DEL MODELO, que trata de la representación de los elementos intuitivos (fase anterior) por medio de un lenguaje formal.

3. EVALUACIÓN DEL MODELO, consistente en un análisis del modelo de simulación, así como su sometimiento a varios criterios de aceptabilidad.

4. APLICACIÓN, en la cual el usuario, especialista en el sistema real, realiza experimentos sucesivos con el simulador.

La función distintiva y esencial de la Metodología es la construcción de distintos tipos de Modelos: cualitativo, matemático y de simulación, cada uno de ellos correspondientes a las fases específicas de conceptualización, formulación y evaluación-aplicación, respectivamente

Los modelos mencionados son aproximaciones y reelaboraciones sucesivas que se obtienen del sistema real.

Se parte de una descripción simple y pri-

(2) El desarrollo teórico y empírico de la experiencia realizada se detalla en el Proyecto de Investigación "Modelo de Simulación para el Control de un Artrópodo Clave en los Cítricos de la Provincia de Tucumán" presentado en el Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CICyT) de la UNSE.

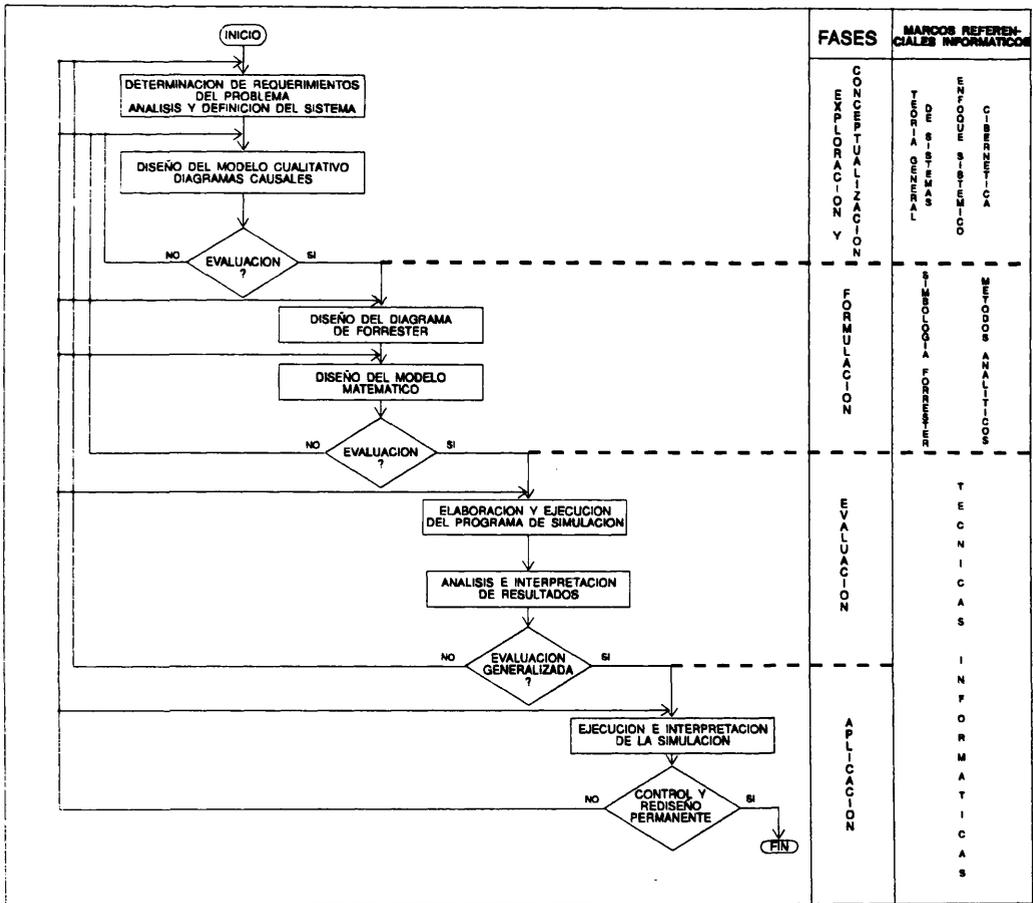


Fig. 1.- Diagrama de flujo de la metodología

maria del problema en cuestión (Diagrama-Causales) hasta obtener un modelo más complejo (Diagrama de Forrester) formalizado matemáticamente (ecuaciones diferenciales) para construir el Modelo de Simulación, producto final de la aplicación metodológica. Este último tiene la característica de ser fácil de programar y ejecutar en computadoras convirtiéndose en una herramienta útil para los decisores técnicos.

El carácter iterativo y perfeccionable de la metodología se observa en cada fase, en donde los procesos de formulación y evaluación de los distintos modelos se refinan progresivamente tantas veces como sea necesario

hasta satisfacer los criterios de aceptabilidad de los especialistas involucrados tanto en la disciplina usuaria como en el área sistémica.

Aún cuando cada una de las fases tiene su propio objetivo no son independientes ,sino secuenciales, iterativas y están interrelacionadas en virtud de las evaluaciones parcial, generalizada y total.

FASE DE EXPLORACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN

Esta fase consiste en un estudio, análisis y diagnóstico de situación que permita la

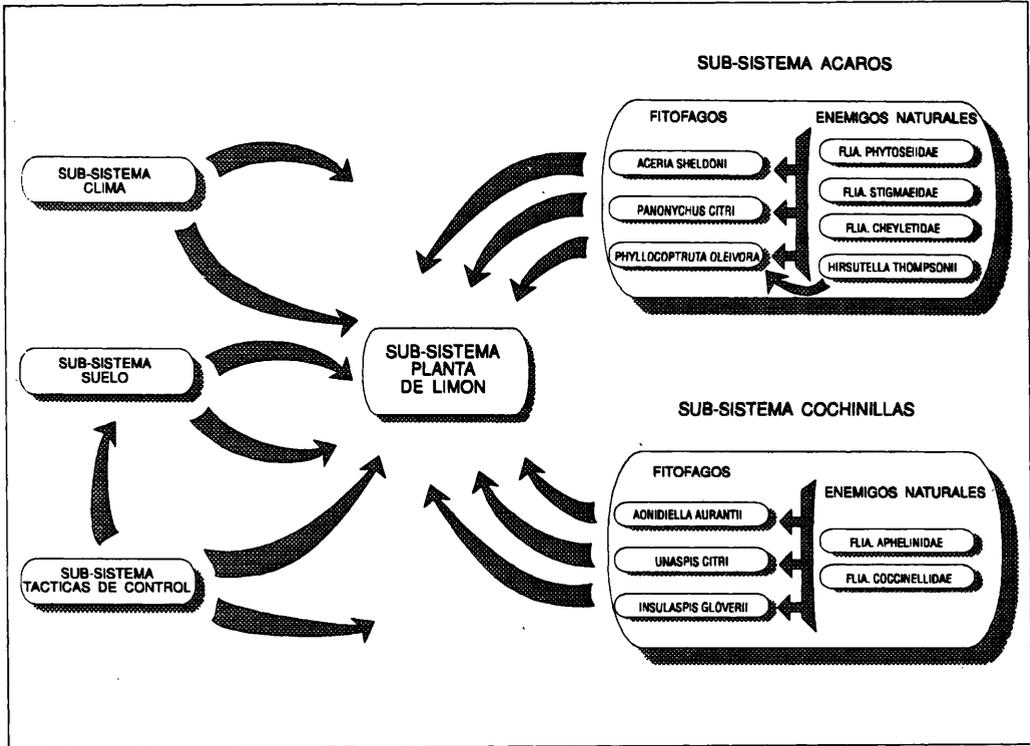


Fig. 2.-Modelo gráfico del sistema del cultivo de limón

obtención de una perspectiva y una comprensión mental de un fenómeno del mundo real.

En este caso, se inició con una familiarización del problema a través del tratamiento de la bibliografía específica, entrevistas con los especialistas y el análisis de un agroecosistema similar al estudiado (Video “El ácaro rojo de los cítricos-Valencia, España”).

Análisis y Definición del Sistema

En el agroecosistema cítrico se observa que el limón es un cultivo perenne y posee una gran variedad de especies plagas y enemigos naturales, por lo que el sistema presenta características de estabilidad, permanencia y complejidad (Figura 2).

Los fitófagos se comportan como plagas cuando sus densidades alcanzan un nivel

capaz de realizar daño sobre la producción. El MIP, con un enfoque ecológico, realiza un control natural, biológico y eventualmente químico sobre las plagas de los sistemas.

Entre los subsistemas considerados, los Acaros son los que más perjudican al cultivo del limón y dentro de ellos *Panonychus citri* es el que tiene mayor importancia económica.

Para delimitar el sistema en estudio se determina la estructura que genera el principal comportamiento dinámico, a través de los siguientes subsistemas (Figura 3).

Entre los factores externos que afectan al desarrollo de *P. citri* se encuentran el clima y la acción de los enemigos naturales (GARCÍA MARÍ *et al.*, 1983) Cuando los factores de resistencia ambiental no son suficientes para evitar los brotes del ácaro rojo, la herramienta de mayor eficacia que dispo-

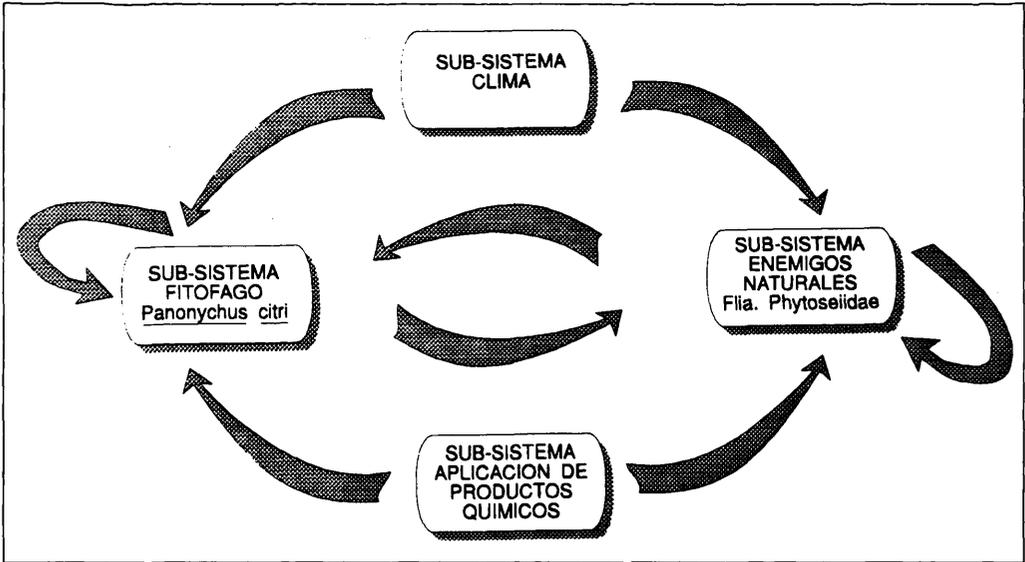


Fig. 3.-Modelo gráfico del sistema de la dinámica de *P. Citri*

nel productor es la aplicación de productos químicos.

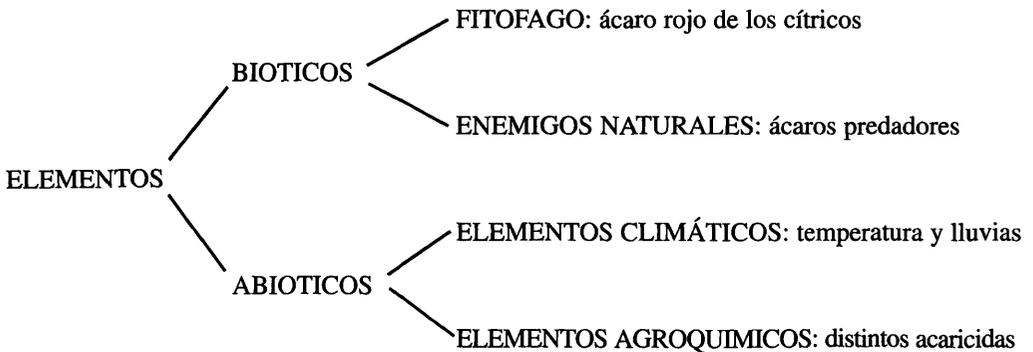
Además de sus influencias directas, el clima y el uso de acaricidas actúan de forma indirecta sobre las poblaciones del fitófago por sus acciones sobre los enemigos naturales.

Estos factores permitirán simular las fluctuaciones poblacionales y predecir la incidencia en las plantaciones cítricas del

ácaro rojo, a través de un modelo de simulación.

Diseño del Modelo Cualitativo - Diagramas Causales (DC)

Una vez definidos los subsistemas (Figura 3) se determinan los elementos que intervienen en el modelo cualitativo y se clasifican en:



Los elementos abióticos considerados son exógenos, representan el medio en el que está inmerso el sistema. Los bióticos son endógenos, es decir, su funcionamiento está completamente determinado por la estructura del sistema.

Además, se definen las variables necesarias para la modelización y se construyen los Diagramas Causales que permiten conocer la estructura y el comportamiento global del sistema.

En base a los bucles elementales existentes entre las variables definidas, a partir de los elementos bióticos y abióticos, se construye el siguiente DC Simplificado, Figura 4.

Los bucles considerados son los siguientes:

– **Bucle población del fitófago-postura:** Ambos elementos se encuentran interrelacionados a través de un bucle positivo; a más población más posturas, a más posturas más población (tendencia a un comportamiento explosivo). Las posturas aumentan a medida que aumenta la temperatura.

– **Bucles población del fitófago-muertes y población de enemigos naturales-muertes.** Las muertes de la población del fitófago aumentan con el incremento de la temperatura, con las lluvias y con la aplicación de plaguicidas. Existe un bucle fitófago-muertes de signo negativo; a más población más muertes, a más muertes menos población (tendencia al equilibrio). Lo mismo sucede

en el bucle enemigos naturales-muertes, excluyendo el elemento lluvia

– **Bucles población del fitófago-inmigración y población de enemigos naturales-inmigración.** La población del fitófago inmigra de las plantas infectadas a las que no lo están. La inmigración actúa sobre ambas poblaciones. Sus densidades son un índice del número de fitofagos y predadores inmigrantes. Los bucles resultantes son positivos.

– **Bucle población del fitófago-inmigración.** La emigración del ácaro rojo en los cítricos está directamente relacionada con la temperatura. Es un bucle negativo que tiende a equilibrar el crecimiento sin límites causado por el bucle positivo población del fitófago-inmigración.

– **Bucle población del fitófago-población de enemigos naturales-**, denominado bucle presa-predador. El número de enemigos naturales depende de la población fitófaga y viceversa. El predador mata y consume miembros de la presa, la que a su vez influye sobre la reproducción del primero. Es un bucle de realimentación negativa, pues tiende a equilibrar el crecimiento de ambas poblaciones.

Ya que el DC Simplificado es una primera aproximación del sistema real, se deben realizar reelaboraciones del mismo con el fin de perfeccionarlo. El resultado es el DC Detallado. Para su construcción se considera lo siguiente:

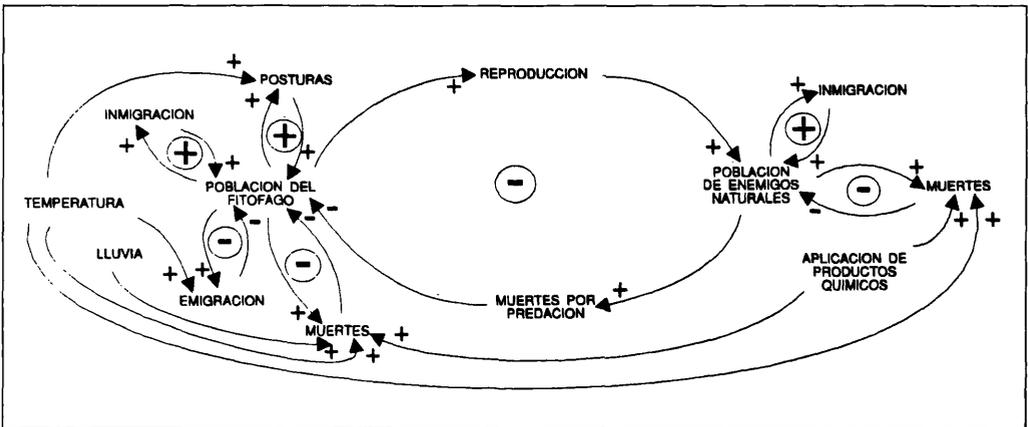
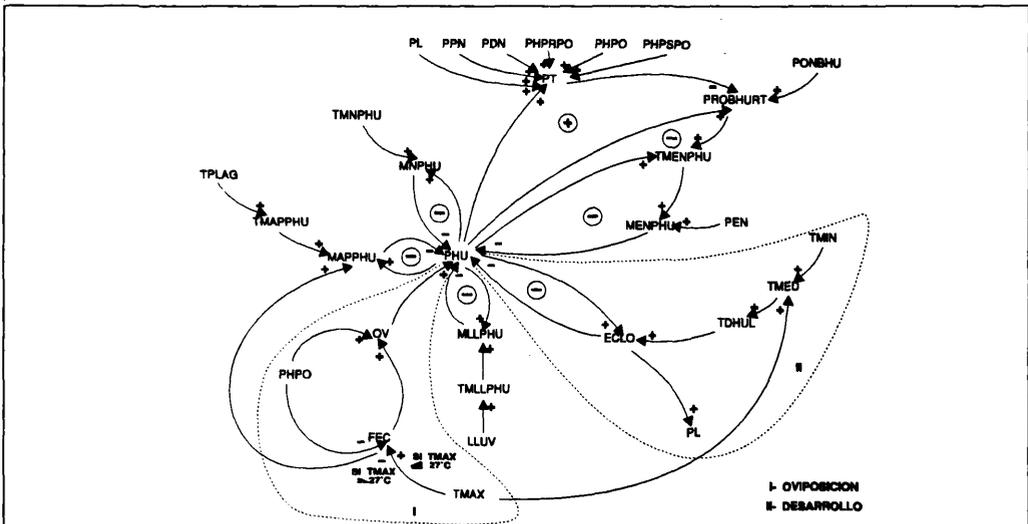


Fig. 4.-Diagrama casual del modelo simplificado de la dinámica de *P. Citri*



Nombre	Descripción	tipo según Forrester
PHU	POBLACION DE HUEVOS. Número de huevos	NIVEL (N)
OV	OVIPOSICION. Cantidad de huevos depositados efectivamente por PHPO.	DE FLUJO (F)
FEC	FECUNDIDAD. Número de huevos por hembra por día.	AUXILIAR (A)
TMAX	TEMPERATURA MAXIMA. Diaria en °C.	EXOGENA (E)
PHPO	POBLACION DE HEMBRAS EN PERIODO DE POSTURA. Número de hembras en período de postura.	NIVEL (N)
ECLO	ECLOSION. Número de ácaros que pasan del estado de huevo al de larva.	DE FLUJO (F)
TDAHUL	TASA DE DESARROLLO DE HUEVOS A LARVAS.	AUXILIAR (A)
TMED	TEMPERATURA MEDIA. Diaria en °C.	EXOGENA (E)
TMIN	TEMPERATURA MINIMA. Diaria en °C.	EXOGENA (E)
MNPHU	MUERTES NATURALES DE LA POBLACION DE HUEVOS. Número de uevos que mueren por causas naturales.	DE FLUJO (F)
TMNPHU	TASA DE MORTALIDAD NATURAL DE LA POBLACION DE HUEVOS.	CONSTANTE (C)
MLLPHU	MUERTES POR LLUVIAS DE LA POBLACION DE HUEVOS. Número de huevos que mueren debido a las lluvias.	DE FLUJO (F)
TMLLPHU	TASA DE MORTALIDAD POR LLUVIAS DE LA POBLACION DE HUEVOS.	AUXILIAR (A)
LUV	LLUVIA. Diaria en mm.	EXOGENA (F)
MAPPHU	MUERTES POR APLICACION DE PLAGUICIDAS DE LA POBLACION DE HUEVOS. Número de huevos que mueren debido a la aplicación de productos químicos.	DE FLUJO (F)
TMAPPHU	TASA DE MORTALIDAD POR APLICACION DE PLAGUICIDAS DE LA POBLACION DE HUEVOS.	AUXILIAR (A)
TPLAG	TIPO DE PLAGUICIDA.	EXOGENA (E)
MENPHU	MUERTES POR ENEMIGOS NATURALES DE LA POBLACION DE HUEVOS. Número de huevos que mueren debido a la predicación.	DE FLUJO (F)
TMEPHU	TASA DE MORTALIDAD POR ENEMIGOS NATURALES DE LA POBLACION DE HUEVOS	AUXILIAR (A)
PEN	POBLACION DE ENEMIGOS NATURALES. Número de enemigos naturales del ácaro rojo.	NIVEL (N)
PROBHURT	PROPORCION DE LA BIOMASA DEL ESTADO HUEVO CON RESPECTO A LA POBLACION TOTAL	AUXILIAR (A)
PONBHU	PONDERACION DE LA BIOMASA DEL ESTADO HUEVO. POBLACION TOTAL.	CONSTANTE (C)
PT	Número de ácaros presentes considerando todos los estados de desarrollo.	AUXILIAR (A)
PL	POBLACION DE LARVAS. Número de larvas.	NIVEL (N)
PPN	POBLACION DE PROTONINFAS. Número de protoninfas.	NIVEL (N)
PDN	POBLACION DE DAUTONINFAS. Numero de deutoninfas.	NIVEL (N)
PHPRPO	POBLACION DE HEMBRAS EN PERIODO DE PRE-POSTURA. Número de hembras en período de prepostura.	NIVEL (N)
PHPSPO	POBLACION DE HEMBRAS E PERIODO DE POST-POSTURA. Número de hembras en período de post-postura.	NIVEL (N)

Las variables axiliares se expresan en tato po uno y las variables de nivel y de flujo e número de individuos por hoja y por día.

Fig. 5.-Diagrama causal: Dinámica de la población de huevos - Tabla de variables.

a) Sobre la población del fitófago se determinan las variables: huevo, larva, protoninfa, deutoninfa, hembras en los períodos de pre-postura, postura y post-postura. Se conforma un modelo desagregado de ocho niveles considerando, además, la población de enemigos naturales.

b) Para cada uno de los estados de desarrollo del ácaro se definen las funciones de Oviposición, Desarrollo, Mortalidad Natural, por Lluvias, por Aplicación de Plaguicidas, Predación, Dispersión e Inmigración.

c) Para la población de enemigos naturales las funciones son Reproducción, Inmigración, Mortalidad Natural, por Aplicación de Plaguicidas y por Predación (consumidores terciarios).

d) El desarrollo de un estado del ácaro rojo al siguiente (demora) está en función de la temperatura.

e) La unidad de tiempo es un día y la unidad espacial es una hoja.

Para cada población se obtiene un DC Detallado; se representa uno de ellos, el correspondiente a la Población de Huevos (Figura 5).

En el mismo se observan, entre otras, las siguientes funciones:

OVIPOSICION: Se considera que sólo ponen huevos las hembras en período de postura (PHPO). La oviposición (OV) está determinada por la cantidad de huevos que puede poner una hembra por día (fecundidad-FEC) y por PHPO; aumentando la población de huevos (PHU) La FEC está en función de la temperatura máxima (TMAX) y de PHPO, y aumenta a medida que se incrementa la temperatura hasta un máximo de 27°C a partir del cual comienza a disminuir. Con el aumento de PHPO disminuye la fecundidad (FURUHASHI *et al.*, 1981) (I - Figura 5).

DESARROLLO: La eclosión (ECLO) está determinada por la tasa de desarrollo de la población de huevos (TDHUL) que, a su vez, depende de la temperatura media (TMED) (FURUHASHI *et al.*, 1981) (II - Figura 5).

FASE DE FORMULACIÓN

A partir del DC total del sistema se construye el Diagrama de Forrester (DF) que facilita la formulación de las ecuaciones correspondientes al modelo.

Para el diseño del DF se clasifican las distintas variables en: niveles, tasas o de flujo, auxiliares exógenas y constantes (FORRESTER, 1981)

Elaborado el DF, se definen las ecuaciones correspondientes a cada tipo de variable (modelo matemático) que describe formalmente la estructura y el comportamiento del sistema; el cual presenta características de amplificación (reacción exagerada de una variable en respuesta a la acción de otras) y de demora (tiempo insumido para la transmisión de materia o información entre doselementos).

Diseño del Diagrama de Forrester y del Modelo Matemático

La clasificación de las variables que intervienen únicamente en la Dinámica de la Población de Huevos se detalla en la Tabla de la Figura 5.

El Diagrama de Forrester resultante es la figura 6.

El modelo matemático, en este caso, se define mediante un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden y se resuelve a través del método de integración de Euler.

La ecuación correspondiente al ejemplo considerado (Población de Huevos - Figuras 5 y 6) es la siguiente:

$$PHU(K) = PHU(J) + [OV(JK) - (ECLO(JK) + MNPHU(JK) + MLLPHU(JK) + MAPPHU(JR))] \times DT \quad (1,N)$$

Las letras J, K, JK y DT son indicadores de tiempo.

J representa al instante inmediato anterior (precedente).

K representa al instante presente (que se está considerando).

JK representa al intervalo precedente.

DT es el intervalo de tiempo entre las soluciones de las ecuaciones.

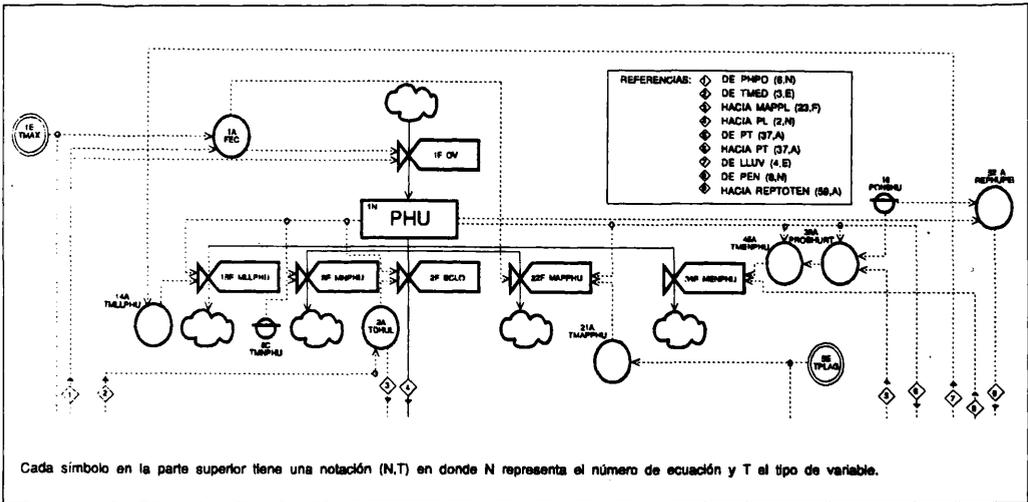


Fig. 6.-Diagrama de Forrester de la dinámica de *P. Citri* (parcial)

La (I,N) es una de las ocho ecuaciones de nivel. A su vez, cada variable de flujo tiene una ecuación específica; el sistema completo de ecuaciones (diferenciales o no) correspondiente a la Dinámica de *P. citri* supera la centena.

FASE DE EVALUACIÓN

Se realiza la programación del modelo matemático y se obtiene el modelo de simulación, que se caracteriza por ser determinístico y dinámico (por propiedades inherentes al sistema modelado), histórico (usa datos históricos en la validación) y proyectado al futuro (tiene función predictiva).

La evaluación del modelo, que no tiene un carácter permanente y definitivo, depende de su objetivo y del grado de utilidad.

Elaboración y Ejecución del Programa de Simulación

En la etapa de programación se utilizó el lenguaje FOXPRO.

El Software de Aplicación desarrollado permite simular la dinámica poblacional del ácaro rojo de los cítricos y sus enemigos naturales.

Los datos de entrada (archivos históricos) son: temperatura máxima y mínima y lluvias diarias (3) y tipo de producto químico (opcional). Además, se ingresan las densidades iniciales del ácaro rojo y sus enemigos naturales (4).

En cada corrida se pueden utilizar distintas condiciones climáticas y analizar el efecto de aplicaciones químicas.

Los principales resultados son los informes analítico y sintético de la evolución diaria de *P. citri* y sus enemigos naturales para la toma de decisiones del usuario. Además, se emiten listados de control de archivos.

(3) Los datos climáticos utilizados en la simulación se obtuvieron de la Estación Experimental Agro-Industrial "Obispo Colombes" (Tucumán)
 (4) Obtenidas del Centro de Investigaciones para la Regulación de Poblaciones de Organismos Nocivos (CIRPON - Tucumán) para los años 1988 y 1989.

Análisis e Interpretación de los Resultados y Evaluación Generalizada

Para demostrar la robustez, validez y utilidad del modelo se realizó:

1. Una evaluación generalizada de los resultados de las pruebas de simulación por parte de los especialistas del CIRPON.

2. Análisis comparativo y estadístico de los resultados de las simulaciones con los datos históricos observados en las plantaciones cítricas.

En esta etapa, como en toda la evaluación del modelo, la opinión del experto en el sistema real juega un rol trascendental ante aspectos cualitativos y descriptivos como son el análisis de las tendencias de las gráficas, la interpretación de los resultados ante la variación de los parámetros, etc.

FASE DE APLICACIÓN

La validez final del modelo se comprobará a medida que el usuario, especialista en el sistema real, realice experimentos sucesivos

con el simulador; modificando, alternativa o simultáneamente, los parámetros del modelo para interpretar los diversos comportamientos del sistema.

Resultados de la Simulación

En la experiencia realizada se analizaron los resultados de dos pruebas de simulación para los años 1988 y 1989.

Para el primero se consideraron las condiciones climáticas que imperaron y para el segundo año además de las condiciones climáticas correspondientes se simularon tres aplicaciones de tottradifón+dicofol en cítricos.

La tendencia estacional del ácaro rojo en el campo revela un único pico poblacional en el año que ocurre en invierno-primavera (agosto-septiembre).

Las fluctuaciones simuladas de las poblaciones de huevo se comparan con las observadas en las plantaciones cítricas de la localidad de Horco Molle, Tucumán, para los años mencionados (Figuras 7 y 8).

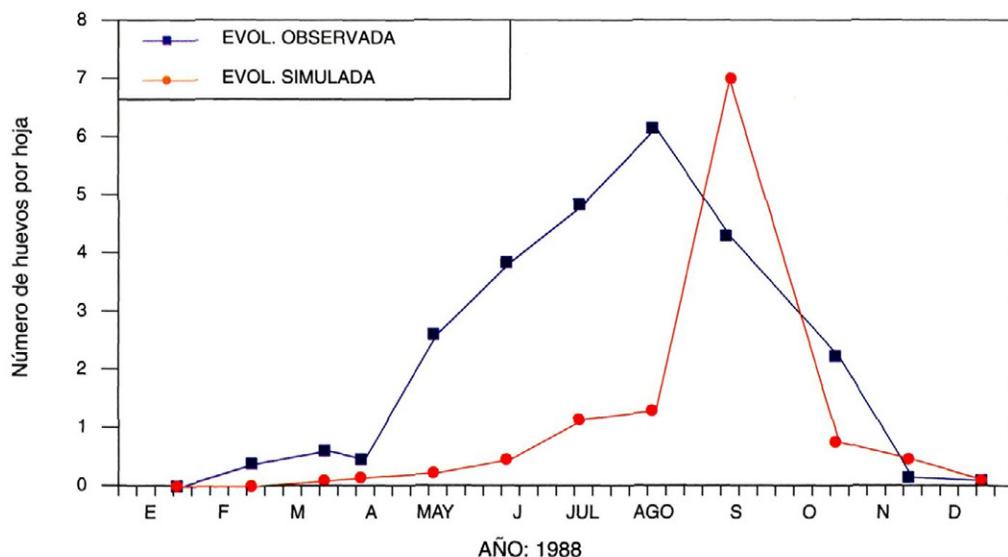


Fig. 7.- Evolución mensual histórica y simulada de huevos de 1988

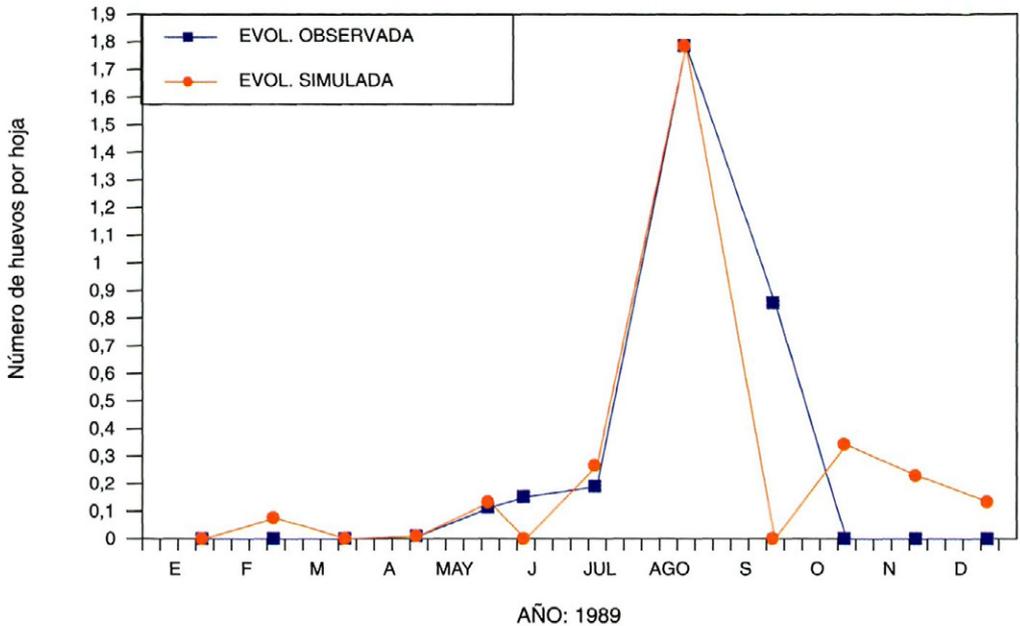


Fig. 8.—Evolución mensual histórica y simulada de huevos en 1989

El modelo refleja la tendencia (forma) general observada de evolución de la población de huevos; notándose un adelanto en aproximadamente un mes del valor máximo. En cuanto a la magnitud de los valores la estimación es aceptable. Los tests de t indica que no existen diferencias significativas entre valores reales y simulados. Sin embargo, la secuencia de signos de las diferencias según orden cronológico evidencian el desplazamiento del máximo poblacional indicado.

En el año 1989 se aplicaron plaguicidas en las plantaciones de cítricos.

La población simulada de huevos describe con gran aproximación la tendencia y magnitud de la población real. Las pruebas de t y alternancias de signos indican como satisfactorios los resultados obtenidos.

Conclusión de la Experiencia

El grado de confiabilidad del modelo es satisfactorio conforme a los análisis comparativos y pruebas estadísticas que se realizaron entre los valores observados y simulados de la evolución de la población de huevos de *P. citri* (5). El modelo de simulación desarrollado depende principalmente de los factores ambientales. Se evidencia que algunos factores adicionales son necesarios a fin de mejorar la capacidad del modelo para predecir las fluctuaciones del ácaro rojo en los cítricos de la región.

El software de simulación construido permite disponer de niveles y tendencias de la población del ácaro rojo ante distintas situaciones. Por lo tanto, es factible mantener el equilibrio del agroecosistema cítrico y utilizar de una manera integral y oportuna las distintas tácticas del MIP.

(5) De la misma forma se validaron las restantes poblaciones del ácaro rojo y de sus enemigos naturales. Ver (4) - página 3.

CONCLUSIONES

1. Si bien existen otros métodos y técnicas para el control de plagas, la metodología (de carácter iterativo, perfeccionable y predictivo) ofrece las ventajas de permitir:

- Describir explícitamente el comportamiento dinámico (estructura y función) del sistema ecológico.

- Reproducir alternativas imposibles de realizar directamente sobre el sistema considerado logrando ventajas en la relación costo-beneficio.

- Disponer de modelos transparentes, operativos, comunicables y de fácil validación cuali y cuantitativa por parte de los expertos en el tema.

- Definir condiciones ambientales óptimas de estabilidad dinámica dentro del sistema, es decir, tender al equilibrio mediante las regulaciones de las fluctuaciones poblacionales de la plaga bajo estudio.

- El diálogo interdisciplinario que a partir del interés y de la experiencia compartida posibilitará avanzar en la elaboración de proyectos concretos.

2. El Modelo de Simulación, producto esperado de la metodología, en sus distintas

representaciones (DC, DF, Modelo Matemático y Software de Simulación) permitió a los especialistas consultados:

- Verificar las hipótesis formuladas.

- Mejorar el conocimiento del sistema, la oportunidad de control y la aplicación de las técnicas adecuadas para su manejo.

- Advertir sobre las investigaciones que se requieren realizar, a corto y mediano plazo.

- Disponer de un simulador confiable, interactivo, rápido y de fácil uso que los asista en la toma de decisiones técnicas.

- Determinar los requerimientos para la modificación y adaptación del modelo en el tiempo (rediseño y permanente).

3. Con este trabajo se logra reafirmar positivamente algunas de las conclusiones obtenidas en otras experiencias realizadas con la DS a nivel mundial (FURUHASHI *et al.*, 1981). Con la metodología utilizada se dispone de técnicas adecuadas para modelar los sistemas agrícolas que se caracterizan por ser complejos y dinámicos. Con la DS se dispone de una metodología de gran valor práctico, heurístico y de factible adaptación a otros sistemas biológicos.

REFERENCIAS

- ALTIERI, M.; MARTÍN, P., y LEWIS, W., 1983: A quest for ecologically based pest management systems. *Environmental Management*. 7. (1): 91-100.
- ARACIL, J., 1977: *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. ALIANZA, Madrid. 303 pp.
- FORRESTER, J. W., 1981: *Dinámica Industrial*. 2ª ed. ATENEO, Buenos Aires. 442 pp.
- FURUHASHI, K.; NISHINO, M.; MURAMATSU, Y., y SHIYOMI, M., 1981: Simulation model for forecasting of occurrence of citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) in citrus orchards. *Proc. Int. Soc. Citriculture*. 2: 653-655.
- GARCÍA MARÍ, F.; SANTABALLA, E.; FERRAGUT, F.; MARZAL, C.; COLOMER, P., y COSTA, J., 1983: El ácaro rojo *Panonychus citri* (McGregor): Incidencia en la problemática fitosanitaria de nuestros agríos. *Bol. Serv. Plagas*. 9: 191-218.
- ROSNAY, J. DE, 1977: *El Macroscopio*. AC, Madrid, 289 pp.

(Aceptado para su publicación: 29 mayo 1996)