

BIBLIOTECA
INSTITUTO DE ECOLOGIA

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

Modelado y Simulación del Sistema Ecológico de la Garrapata.

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a n

Jaime Arau Chavarría

Oscar Flores Pérez

Carlos Gerardo Ruiz de Velasco Gutiérrez

A mis padres

A mi hermana

A Elizabeth

Jaime

A mi madre por el gran apoyo moral que significó su presencia en mi memoria en los días difíciles de mi carrera.

A mi padre por la confianza que tiene depositada en mi y ojala nunca llegue a defraudarlo.

A mis abuelitos

Oscar

A mis padres

A mis abuelitos

A mi tío

A mis hermanos

Carlos

Deseamos hacer patente nuestro agradecimiento al Ing. Rolando Lara y Zavala investigador del Instituto de Biología de la UNAM por su apreciable ayuda y dirección durante el desarrollo de esta tesis.

Deseamos agradecer también la colaboración del Dr. Antonio González Origel subdirector del Centro Nacional de Parasitología Animal por la valiosa información que nos proporcionó, así como a la Srita. Elizabeth Pontones Schneider y a la Sra. Cecilia Pontones de Aragón por su ayuda en la redacción y mecanografía de este trabajo.

C O N T E N I D O

- I. Introducción.
 - II. Modelos Matemáticos de Sistemas Ecológicos
 específicamente Relación Predador - Presa,
 Parásito-Huesped.
 - III. Desarrollo de Modelos Específicos para el
 Control de la Garrapata.
 - IV. Aplicación de los Modelos en Casos Reales.
 - V. Conclusión.
- Apéndice
- Glosario.
- Bibliografía.

I

Introducción

I

Una de las inquietudes más grandes que el hombre ha tenido y que persistirán en él hasta el fin de su existencia, es el conocimiento de los fenómenos de la naturaleza y el encausamiento de éstos en su beneficio. Para ello desde el principio de los tiempos, ha tratado de interpretar los fenómenos naturales y luego sujetarlos a las leyes físicas que él mismo ha postulado.

Una de las razones que lo han obligado a profundizar sobre algún fenómeno, es la importancia que tiene dicho fenómeno en la vida diaria.

Es indudable que la ecología es una de las ramas que más le interesa, dada la íntima relación que existe entre él y su medio ambiente.

La descripción de los fenómenos ecológicos desde un punto de vista matemático y dinámico es un intento relativamente reciente, iniciándose a principios de siglo por el trabajo de algunos biólogos que se han esforzado por describir la dinámica de poblaciones, factor importantísimo en los sistemas ecológicos. Algunos de los aspectos de la epidemiología fueron tratados en la

década de los veinteos por Ross, mientras que -- Pearl y Peed estudiaron el crecimiento de una so la especie. Lotka, casi simultaneamente con Volterra en la década de 1920, estudió los procesos de dos especies interactuando.

Los trabajos clásicos de Lotka y Volterra -- son la razón de la aparición de una nueva fase -- de la ecología: la ecología cuantitativa, rama extraordinariamente fructífera por la gran cantidad de investigaciones teóricas y prácticas -- que han surgido dentro de ella.

Trabajos posteriores y más específicos han venido a establecer una nueva y prometedora perspectiva de la ecología: la ecología de sistemas. Los símbolos y las ecuaciones matemáticas proporcionan una representación útil para describir sistemas ecológicos complejos, permitiendo -- enunciar diversas relaciones acerca de la tendencia de los componentes del ecosistema al actuar reciprocamente entre sí. Al proceso consistente en traducir conceptos físicos y biológicos de -- cualquier sistema en un conjunto de relaciones matemáticas así obtenidos, es lo que se designa

como análisis de sistemas. Esta nueva fase de la ecología se está convirtiendo en una ciencia por derecho propio por dos razones:

- 1).- Disponemos ahora de nuevos instrumentos -- formales sumamente poderosos en términos de teoría matemática, cibernética, procesamiento electrónico de datos, etc.
- 2).- La simplificación formal de ecosistemas -- complejos, proporcionan la mejor esperanza de soluciones de los problemas ambientales del hombre, ya que éstos no pueden seguir estudiándose por procedimientos de tanteo o de una sola solución, en los que se ha venido confiando principalmente en el pasado.

Entre los modernos precursores de este nuevo campo, se encuentran Ken Watt y C. S. Holling creadores de un centro activo de entrenamiento e investigación, donde se han iniciado estudios de modelos de dinámica de población de algunas especies. Estos personajes han revolucionado el campo de la ecología y han proporcionado un enlace vital de ésta con la Ingeniería, donde los proce

dimientos de análisis de sistemas se han estado utilizando desde hace algún tiempo.

La posibilidad de describir la conducta del sistema ecológico mediante el empleo de modelos depende, en gran parte, de la jerarquización de los factores que intervienen en el proceso ecológico, así como la comprensión de las interrelaciones que existen entre dichos factores. Por tanto, construir los modelos presenta grandes ventajas al proporcionar una descripción concreta y simplificada de algún sistema, lo que permite su uso para dirigir esfuerzos de regulación y control.

El fracaso de un modelo, en cuanto a predecir el cambio, es útil en sí mismo porque señala acaso fallas en el marco conceptual a partir del cual el modelo se ha desarrollado. Los modelos pueden valorarse en términos de tres propiedades u objetivos, principalmente: realismo, precisión y generalidad. El realismo se refiere al grado en que los enunciados matemáticos del modelo corresponden al traducirse en palabras, a los conceptos biológicos que presumen representar.

La precisión es la capacidad del modelo para predecir cambios cuantitativos y de imitar datos en los cuales se ha basado, y por último, la generalidad se refiere a la gama de aplicabilidad del modelo (es decir, al número de situaciones distintas en las que se puede aplicar).

A los modelos ecológicos se les juzga a menudo en términos de generalidad y capacidad predictora. Algunos ecólogos matemáticos han concluido, considerando la complejidad inmensa de la acción recíproca entre plantas y animales y la dificultad de identificar y medir estas interacciones, que los modelos no podían ser a la vez veraces y generales. Sin embargo en los problemas de ecología aplicada, en que la predicción y realismo son el objetivo, la generalidad se sacrifica a menudo en beneficio de la precisión.

De acuerdo a esto, hemos considerado conveniente realizar un trabajo lo más práctico posible: el del ecosistema de la garrapata, tomando en cuenta que la garrapata es una de las mayores plagas que azotan a nuestro país, ya que anualmente se pierden 4,400 millones de pesos por con

cepto de pérdidas de leche y carne, manipulación de ganado, daños a los cueros, etc.

La finalidad de esta tesis será entonces la postulación de un modelo que reúna las características básicas de realismo y precisión y que deberá ser capaz de aplicarse al problema económico y ganadero que significa el control de la garrapata en México y proponer con esto, medidas efectivas que permitan una solución satisfactoria de este problema.

II

Modelos Matemáticos de Sistemas Ecológicos:
Relación Predador - Presa; Parásito
- Huésped

CAPITULO I I

- 1) Clasificación de Modelos Matemáticos.
- 2) Modelos con Ecuaciones Diferenciales Ordinarias
- 3) Modelos con Ecuaciones en Diferencias Finitas.
- 4) Modelos con Matrices.
- 5) Modelos Gráficos.
- 6) Modelos Estocásticos.

El objetivo de este Capítulo es el análisis de las ecuaciones o relaciones funcionales que definen - un modelo matemático de las relaciones Predador-Presa y Parásito-Huesped.

Antes de iniciar formalmente el desarrollo del tema, es conveniente tratar algunos aspectos que - - intervienen en la clasificación de los modelos ecológicos de estas relaciones, para poder realizar un - - análisis mas completo de ellos.

II.1. CLASIFICACION DE LOS MODELOS MATEMATICOS.

Los modelos pueden ser estocásticos o -- determinísticos; los modelos estocásticos definen la probabilidad de que cierto evento se -- realice mientras que el determinístico define con certeza la presencia de dicho evento. Los modelos estocásticos son más difíciles de tratar matemáticamente, ya que la mayoría de las veces, incluyen relaciones o ecuaciones probabilísticas bastante complejas.

Los modelos matemáticos pueden adoptar una diversidad de formas y pueden ser abordados desde puntos de vista diferentes, tomando en cuenta el tipo de formalismo matemático que utilizan en su desarrollo; los podemos clasificar -- en:

- a) Modelos con ecuaciones diferenciales ordinarias.
 - b) Modelos con ecuaciones en diferencias finitas.
 - c) Modelos con matrices.
 - d) Modelos gráficos.
-
- a) Modelos con Ecuaciones Diferenciales Ordinarias.

Los modelos que utilizan ecuaciones diferenciales ordinarias, describen en forma continua el modo en que los sistemas cambian con el tiempo.

- b) Modelos con Ecuaciones en Diferencias Finitas.

Estos describen cambios que ocurren en intervalos discretos de tiempo.

c) Modelos con Matrices.

Utilizan el álgebra matricial como instrumento en la descripción y manipulación de las diversas variables -- del sistema en estudio. Las técnicas de manipulación de matrices constituyen la base de numerosos modelos.

d) Modelos Gráficos.

Proporcionan únicamente resultados cualitativos muy generales por lo que su aplicación es bastante reducida.

Una vez definida la clasificación de los - modelos matemáticos, procederemos al análisis - detallado de cada uno de ellos.

II.2. MODELOS CON ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS

El modelo clásico de Lotka y Volterra (1), que fue desarrollado independientemente por estos dos investigadores, es el más sencillo y -- conocido sobre relación Predador-Presa, el cual está basado en las siguientes ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dN_1(t)}{dt} = a_{11}N_1(t) - a_{12}N_1(t)N_2(t) \quad (\text{II.2.1})$$

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = a_{21}N_1(t)N_2(t) - a_{22}N_2(t)$$

En donde $N_1(t)$ y $N_2(t)$ representan respectivamente las poblaciones de Presa y Predador; a_{11} , es la tasa intrínseca de crecimiento de N_1 en ausencia de N_2 , a_{22} es la tasa intrínseca de mortalidad de N_2 en ausencia de N_1 , a_{12} y $-a_{21}$ expresan el beneficio y daño que se causan mutuamente las poblaciones.

Como primer paso del análisis de estas — ecuaciones encontraremos los puntos de equilibrio:

$$0 = a_{11}N_1(t) - a_{12}N_1(t)N_2(t) = \frac{dN_1}{dt} \quad (\text{II.2.2})$$

$$0 = a_{21}N_1(t)N_2(t) - a_{22}N_2(t) = \frac{dN_2}{dt}$$

de donde la solución no trivial es:

$$N_1 = \frac{a_{22}}{a_{21}}$$

(II.2.3)

$$N_2 = \frac{a_{11}}{a_{12}}$$

además de la solución trivial:

$$N_1 = 0 \quad N_2 = 0$$

En base a estos puntos, linealizaremos (2) las ecuaciones alrededor de la solución no - trivial:

$$N_1(t) = N_{01} + n_1(t)$$

(II.2.4)

$$N_2(t) = N_{02} + n_2(t)$$

en donde n_1 y n_2 son las variables linealizadas; y

$$N_{01} = \frac{a_{22}}{a_{21}} \quad N_{02} = \frac{a_{11}}{a_{12}}$$

Sustituyendo II.2.4 en II.2.1, tenemos:

$$\frac{dn_1(t)}{dt} = - \frac{a_{12} a_{22}}{a_{21}} \cdot n_2(t)$$

(II.2.5)

$$\frac{dn_2(t)}{dt} = \frac{a_{11} a_{21}}{a_{12}} \cdot n_1(t)$$

cuya solución es (3):

$$n_1(t) = C_1 \cos \sqrt{a_{11} a_{22}} t + C_2 \operatorname{sen} \sqrt{a_{11} a_{22}} t \quad (\text{II.2.6})$$

$$n_2(t) = \frac{C_1 a_{21} \sqrt{a_{11} a_{22}}}{a_{12} a_{22}} \operatorname{sen} \sqrt{a_{11} a_{22}} t - \frac{C_2 a_{21} \sqrt{a_{11} a_{22}}}{a_{12} a_{22}} \cos \sqrt{a_{11} a_{22}} t$$

Si $n_1(0)$ y $n_2(0)$ son las poblaciones -
iniciales:

$$C_1 = n_1(0) \quad (\text{II.2.7})$$

$$C_2 = - \frac{a_{12} a_{22}}{a_{21} \sqrt{a_{11} a_{22}}} n_2(0)$$

Obteniendo la ecuación característica - -
tenemos que:

$$\lambda^2 + \frac{a_{12} a_{22}}{a_{21}} x \frac{a_{11} a_{21}}{a_{12}} = 0$$

(II.2.8)

$$\lambda^2 + a_{22} a_{12} = 0$$

$$\lambda_1 = \sqrt{a_{11} a_{22}} \quad j$$

(II.2.9)

$$\lambda_2 = -\sqrt{a_{11} a_{22}} \quad j$$

Como ambos son imaginarios, sabemos que el punto de equilibrio es un centro (4).

El valor que adquiere el período cerca del equilibrio, es de $2\pi \sqrt{a_{11} a_{21}}$; mientras que cuando el sistema está alejado del equilibrio, es necesario otro tipo de análisis, dentro del cual Crasman y Veiling (5), han encontrado una fórmula asintótica para determinar el período del sistema.

El análisis de la ecuación linealizada y no linealizada se puede establecer cualitativamente, mediante la simulación de dichas ecuaciones en la computadora analógica.

Estos resultados son los siguientes:

- 1^o.) La ecuación no linealizada presenta amortiguamiento hacia el punto de equilibrio dado por (II.2.3), fig. II.2.1 y cuyo diagrama de fase se representa en la figura II.2.2.

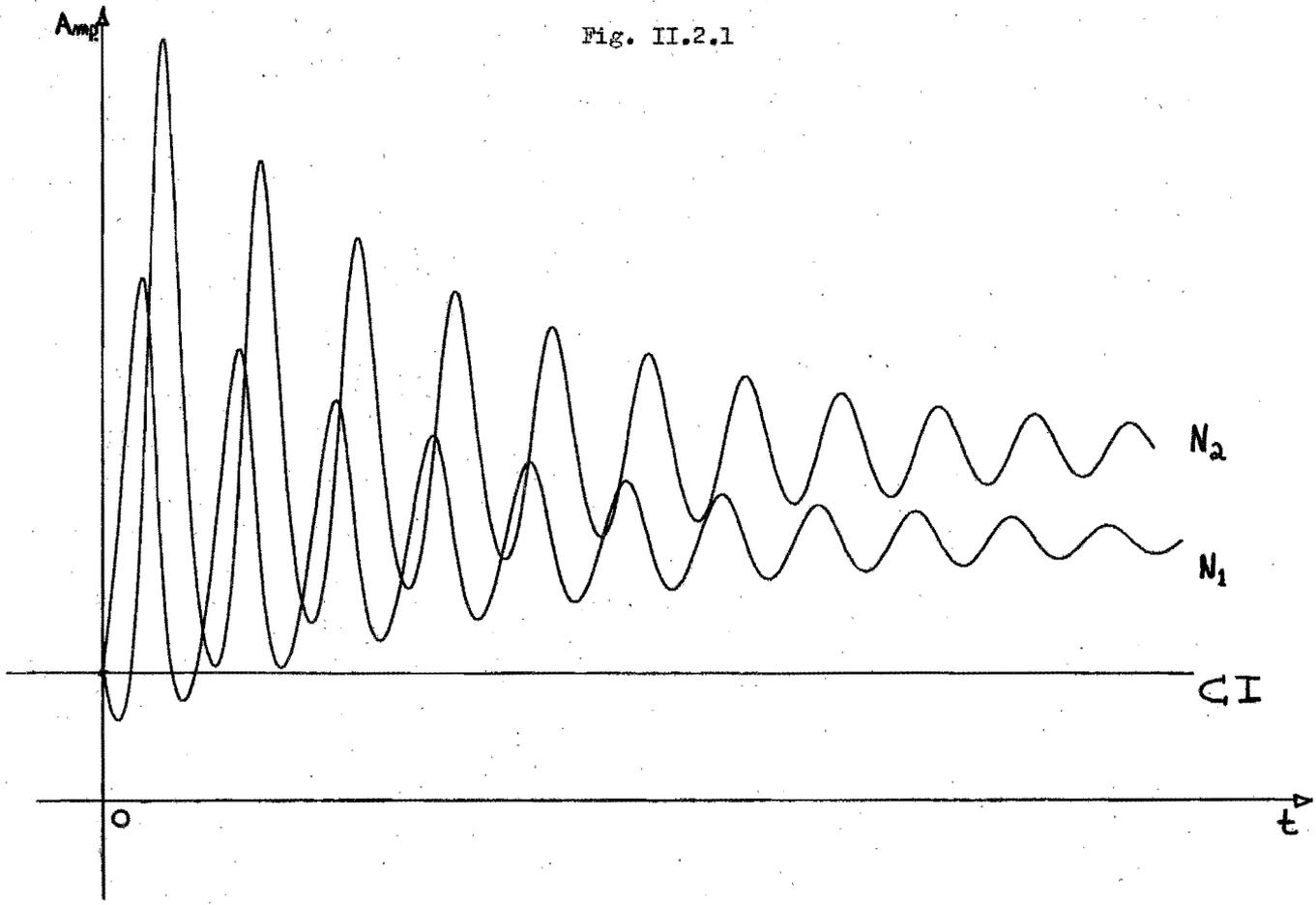
2°. La ecuación linealizada presenta oscilaciones no amortiguadas y su diagrama de fase se muestra en la fig. -- II.2.3. Es interesante notar que la linealización desprecia términos amortiguadores.

Desde el punto de vista biológico, las ecuaciones presentan muchos defectos. Por ejemplo, en la ecuación de la Presa (II.2.1) en ausencia de Predadores ($a_{12} = 0$) se convierte en:

$$\frac{dN_1(t)}{dt} = a_{11}N_1(t) \quad (\text{II.2.10})$$

Lo cual implica que la Presa crecerá sin límite alguno, suposición poco realista, ya que esto implica que se puede elevar la tasa de consumo de alimentos de cualquier individuo, por encima de cualquier límite (6). Además que no se toman en cuenta la estructura de edad de la población ni el retardo que se produce ante diversas respuestas, así como considerar el medio homogéneo, lo cual la limita grandemente para poder reproducir los fenómenos biológicos.

Fig. II.2.1



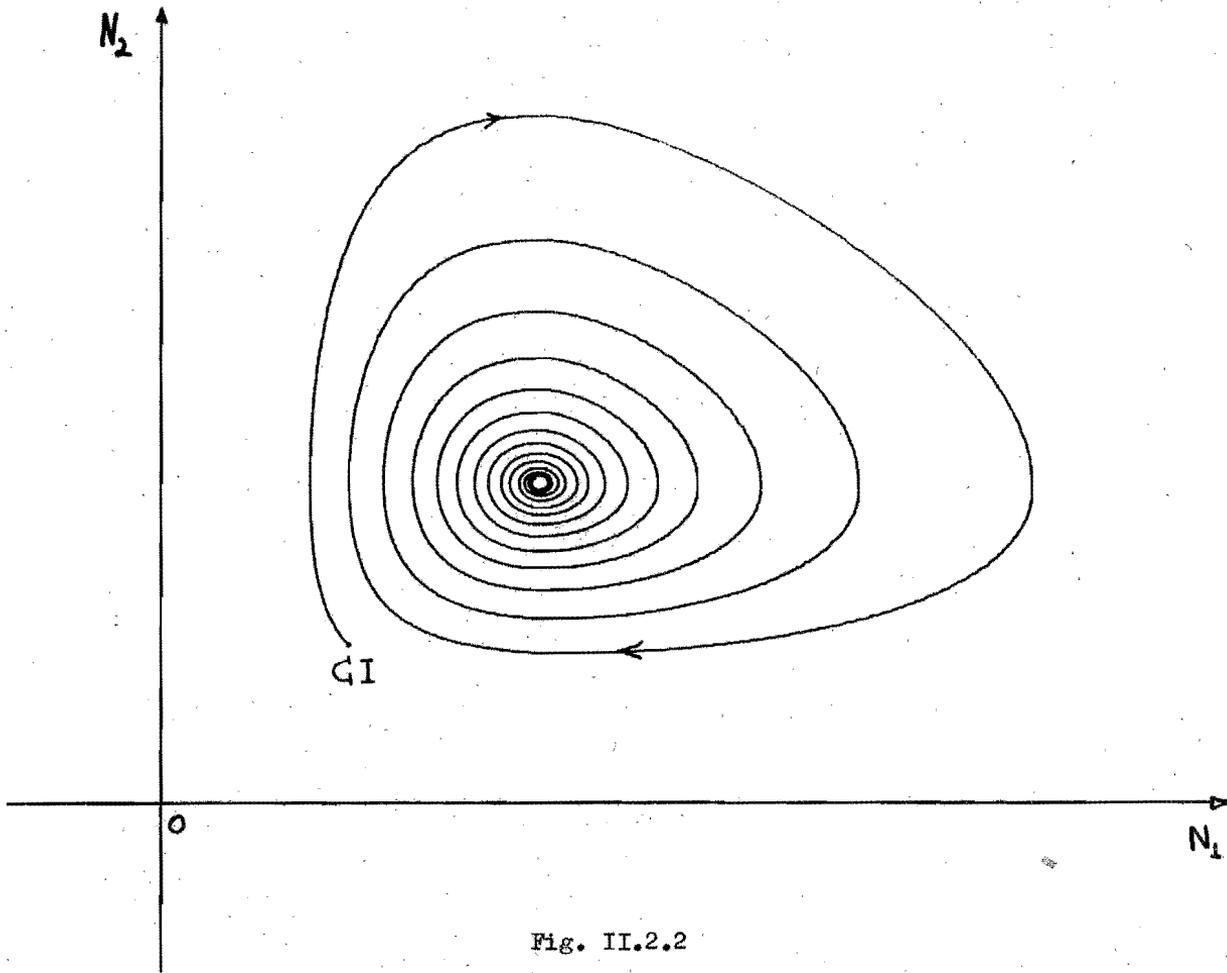


Fig. II.2.2

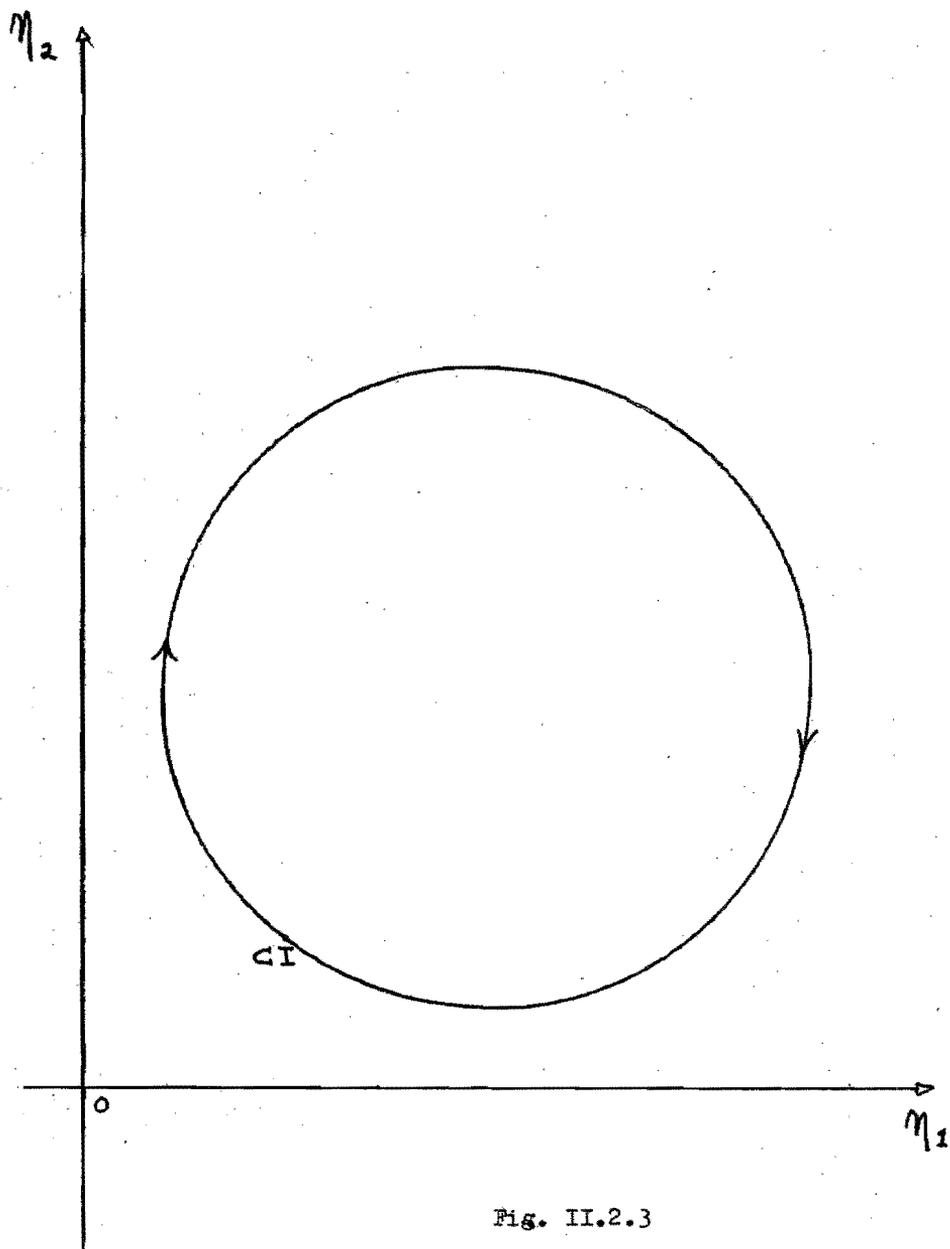


Fig. II.2.3

Este tipo de sistemas, solo se podría aplicar a problemas de protozoarios, ya que estos cumplen con algunos de los supuestos de (II.2.1), por ejemplo: ausencia práctica de edades, -- generaciones supuestas, etc. Para metozoarios, prácticamente ninguno de los supuestos se cumplen.

Modificando el modelo de Lotka y Volterra, se pueden obtener modelos realistas. Por ejemplo el de MacDonald, que incluye un límite para el crecimiento de la población, lo que da a la solución del sistema una forma logística para la Presa:

$$\frac{d}{dt} N_1 = r_1 N_1 (1 - N_1/k_1 - \alpha N_2) \quad (II.2.11)$$

$$\frac{d}{dt} N_2 = r_2 N_2 (\beta N_1 - 1)$$

r_1 es la tasa intrínseca de crecimiento de N_1 ; k_1 es la capacidad de carga del ecosistema para N_1 , esto es, el número máximo de individuos de N_1 que soporta el ecosistema en ausencia de N_2 . r_2 es la tasa intrínseca de mortalidad de N_2 en ausencia de N_1 , y α , β son las -

constantes de interacción. El sistema - - - -
 (II.2.11) presenta un punto de equilibrio no -
 trivial $(\hat{x}, \hat{y}) = (1/\beta, 1/\alpha - 1/k, \beta\alpha)$. Para
 que (II.2.11) tenga sentido biológico, es nece-
 sario que $\hat{x}, \hat{y} > 0$, lo cual implica que $1 > 1/k\beta$,
 ya que todos los parámetros son positivos. --
 Bajo esta restricción, (los valores caracterís-
 ticos de la matriz de linealización son siem-
 pre complejos con parte real negativa, lo que
 implica que (\hat{x}, \hat{y}) es un foco estable) (4). -
 Por otro lado Rilmer (1972), analiza otro mode-
 lo semejante al (II.2.11):

$$\frac{dx_1}{dt} = x_1(c_1 - a_{11}x_1 \pm a_{12}x_2) \quad (\text{II.2.12})$$

$$\frac{dx_2}{dt} = x_2(c_2 \mp a_{21}x_1 - a_{22}x_2)$$

En donde el signo de a_{12} es opuesto al de a_{21} .

Este modelo es un caso más general que el
 propuesto por Gause (7) para la competencia en-
 tre las dos especies (II.2.13).

$$\frac{d}{dt} N_1 = b_1 N_1 (1 - N_1/k_1 - \alpha N_2) \quad (\text{II.2.13})$$

$$\frac{d}{dt} N_2 = b_2 N_2 (1 - N_2/k_2 - \beta N_1)$$

Retardo en la Respuesta

Entre las muchas modificaciones que se le pueden hacer al modelo (II.2.1) se encuentra la de tomar en cuenta el retraso con que responden las poblaciones a los cambios de su medio. -- Básicamente hay dos tipos de modelos con retraso en el tiempo: los de retraso directo y los de retraso continuo. Los primeros, hacen depender la tasa de crecimiento de la población, en función de la densidad de población $N(t)$ en dos puntos discretos en el tiempo, esto es:

$$\frac{d}{dt} N(T) = f[N(T), N(T-2)] \quad (\text{II.2.14})$$

Los modelos de retraso continuo, en cambio, dan la tasa de crecimiento como función de la historia pasada de la población desde un cierto tiempo pasado al instante actual. Son de la forma:

$$\frac{d}{dt} N(T) = f[N(T-2, T)] \quad (\text{II.2.15})$$

en donde $N(T-2, T)$ representa el conjunto de todos los valores de la población dentro del intervalo $(T-2, T)$ (8).

El caso mas sencillo fue, propuesto por Ross (9), el cual es una modificación del sistema clásico (II.2.1):

$$\frac{d}{dt} N_1(T) = a_{11}N_1(T) - a_{12}N_1(T) N_2(T) \quad (\text{II.2.16})$$

$$\frac{d}{dt} N_2(T) = a_{21}N_1(T) N_2(T - 2) - a_{22}N_2(T)$$

El retraso se encuentra incluido en la ecuación para el Predador y puede interpretarse como el tiempo de maduración de los Predadores.

Ross demuestra que para el caso en el que $a_{ij} = 1$ y si $n_1(0)$ y $n_2(0)$ están lo suficientemente cerca del equilibrio (1,1) como para desprestigiar términos cuadráticos, entonces el sistema se acerca asintóticamente y en espirales hacia el equilibrio.

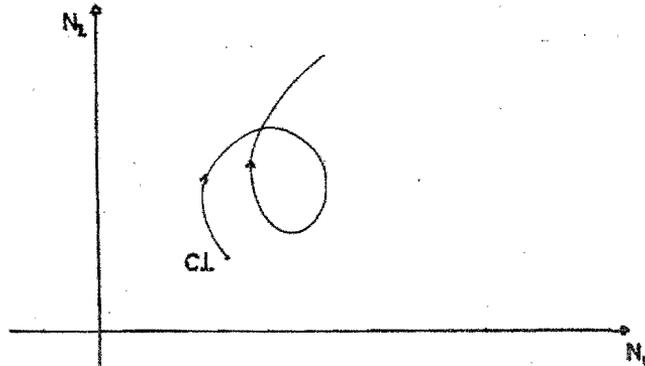


Fig. II.2.4

La trayectoria de la simulación de este sistema en el plano de fase se puede cruzar - debido a la dependencia de una historia en la población, Fig. II.2.4.

Posteriormente Volterra se dió cuenta (10) de que la importancia de considerar el retardo y modificar sus ecuaciones se lograba en la siguiente forma:

$$\frac{dN_1(t)}{dt} = a_{11}N_1(t) - a_{12}N_1(t)N_2(t) \quad (\text{II.2.17})$$

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = -a_{22}N_2(t) + a_{21}N_2(t) \int_{-\infty}^t F(t-z)N_1(z)dz$$

También puede ser conveniente expresar la segunda ecuación como:

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = -a_{22}N_2(t) + a_{21}N_2(t) \int_0^t F(z)N_1(t-z)dz \quad (\text{II.2.18})$$

en donde:

$$z = t - \tau$$

Si F es normalizada o sea que:

$$\int_0^{\infty} F(z)dz = 1$$

el punto de equilibrio aún está dado por:

$$N_{01} = \frac{a_{22}}{a_{21}} \quad N_{02} = \frac{a_{11}}{a_{12}}$$

Volterra no investigó completamente la -- estabilidad de este punto de equilibrio, sin -- embargo, MacDonald encontró que el punto de equi -- librio para este sistema es inestable (10), hay cierta arbitrariedad en la forma en que Volterra introdujo el retardo, ya que se podría argumen -- tar que tanto N_1 como N_2 deberían tener retar -- do.

El sistema de dos ecuaciones integro-dife -- renciales puede ser reducido a un sistema de -- tres ecuaciones diferenciales, para lo cual -- asumiremos que:

$$F(z) = b \exp(-bz)$$

Así que la cantidad:

$$N_3(t) = \int_{-\infty}^t F(t-z) N_1(z) dz \quad (\text{II.2.19})$$

satisface:

$$\frac{dN_3(t)}{dt} = b(N_1(t) - N_3(t)) \quad (\text{II.2.20})$$

así que las ecuaciones (II.2.19), son equivalentes a las tres ecuaciones:

$$\begin{aligned}\frac{dN_1(t)}{dt} &= a_{11}N_1(t) - a_{12}N_1(t)N_2(t) \\ \frac{dN_2(t)}{dt} &= -a_{22}N_2(t) + a_{21}N_2(t)N_3(t) \quad (\text{II.2.21}) \\ \frac{dN_3(t)}{dt} &= b(N_1(t) - N_3(t))\end{aligned}$$

El punto de equilibrio está dado por - - -
(II.2.3) junto con:

$$N_{03} = a_{22}/a_{21}$$

En este caso el punto de equilibrio es inestable. La ecuación característica es:

$$\lambda^3 + b\lambda^2 + ba_{11}a_{22} = 0 \quad (\text{II.2.22})$$

Caswell (1972) por otro lado propone (8) - un modelo continuo de retardo en la respuesta. Este es un modelo de Predador que se alimenta de dos Presas que compiten entre si por los recursos. El modelo es sumamente complicado, pues toma en cuenta retardos en la competencia inter e intra específica y retardos en la actividad - Predadora, el hambre del Predador y la existen-

cia de refugios para las Presas. Este modelo, es bastante realista y tiene una amplia gama de conductas posibles, lo cual no es extraño si se toma en cuenta que hay un total de 19 parámetros con los cuales se puede variar el comportamiento del sistema. Es importante hacer notar que todos estos parámetros tienen significado biológico. El sistema es el siguiente:

$$\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= r_1 N_1(t) f_1(N_1, N_2) - \gamma_1 g_1(N_1) N_3(t) \\ \frac{dN_2}{dt} &= r_2 N_2(t) f_2(N_1, N_2) - \gamma_2 g_2(N_2) N_3(t) \\ \frac{dN_3}{dt} &= r_3 N_3(t) f_3(N_1, N_2, N_3)\end{aligned}\quad (\text{II.2.23})$$

N_1 y N_2 representan a las Presas y N_3 representa a los Predadores. r_1 , r_2 y r_3 son las tasas intrínsecas de crecimiento.

$$f_1(N_1, N_2) = 1 - 1/k_1 1/\beta_1 \int_{t-\tau_1}^t N_1(s) ds + \alpha_1/\beta_1 \int_{t-\tau_1}^t N_2(s) ds \quad (\text{II.2.24})$$

$$f_2(N_1, N_2) = 1 - 1/k_2 1/\beta_2 \int_{t-\tau_2}^t N_2(s) ds + \beta/\beta_2 \int_{t-\tau_2}^t N_1(s) ds$$

$$f_3(N_1, N_2, N_3) = \frac{1 - N_3(t)}{\gamma(N_1(t), N_2(t))}$$

En donde α y β son los coeficientes de competencia de N_2 sobre N_1 y, Z_1 y Z_2 los tiempos de retraso de respuesta; k_1 y k_2 las capacidades de carga para N_1 y N_2 . Las funciones (II.2.24) se obtienen por analogía del sistema de competencia sin retraso (II.2.13).

Las integrales $1/t \int_{t-Z}^t N(Z) dZ$ son los promedios de la densidad de población en el intervalo de tiempo de $t-Z$ a T .

Se define el "hambre" de la población -- como:

$$h = 1/E_3 \int_{t-Z}^t N_3(S) dS / 1/E_3 \int_{t-Z}^t F(S) dS \quad (\text{II.2.25})$$

en donde $F(T)$ es la cantidad de alimento ingerido por la población Predadora en el tiempo T .

Los dos parámetros de interacción γ_1 y γ_2 se dan como funciones del hambre en la siguiente forma:

$$\gamma_1(h) = \phi_1(1 - e^{-a_1 h})$$

(II.2.26)

$$\gamma_2(h) = \phi_2(1 - e^{-a_2 h})$$

ϕ_1 y ϕ_2 representan el daño que causa N_3 a N_1 y a N_2 como función de su hambre de a_1 y a_2 , donde a_1 y a_2 determinan las preferencias alimenticias del Predador. El modelo incluye una cierta cantidad de refugios para las Presas, quedando entonces las funciones g_1 y g_2 definidas por:

$$g_i(n_i) = \begin{cases} N_i(T) - H_i & N_i(T) > H_i \\ 0 & N_i(T) \leq H_i \end{cases} \quad (\text{II.2.27})$$

Con H_i número de refugios para la especie i .

Puesto que el Predador se nutre de N_1 y N_2 , la capacidad de carga del ecosistema (q) para N_3 está dada como función de las Presas, y se define de la siguiente forma:

$$q(N_1, N_2) = 1/b_4 \int_{t-2_4}^t b_1 g_1(N_1(S)) + b_2 g_2(N_2(S)) dS \quad (\text{II.2.28})$$

en donde 4 expresa la memoria del Predador con respecto a su suministro de alimento y b_1 y b_2 son los valores nutritivos de N_1 y N_2 con respecto a N_3 . La ecuación del Predador queda entonces:

$$\frac{dN_3}{dt}(t) = r_3 N_3(t) (1 - N_3(t) / q(N_1, N_2)) \quad (\text{II.2.29})$$

Caswell (8) determinó que para que las especies persistan, hace falta un cierto número de refugios. Cuando estos se proporcionaban, las tres especies persistían indefinidamente. El número mínimo de refugios depende de las características amortiguadas a no amortiguadas, con considerable variación en la amplitud. Con este modelo se encontró además, que los principales factores que determinan el grado de amortiguamiento de las oscilaciones, son las dos constantes b_1 y b_2 de las ecuaciones (II.2.28) que determinan la capacidad de carga del ecosistema para N_3 . Cuando b_1 y b_2 son grandes, las oscilaciones se sostienen mucho más tiempo.

Hasta ahora solo hemos analizado algunos modelos representados por ecuaciones diferenciales sin considerar un mecanismo para el establecimiento de dichos modelos, respecto a esto, es interesante postular un posible algoritmo que nos ayude a establecer un modelo para un problema determinado.

Watt propuso en 1959, un método que consiste fundamentalmente en encontrar la forma en que depende la derivada de las variables

independientes. Por ejemplo:

¿Es dy/dx proporcional a x ?

¿Es dy/dx proporcional a y ?

¿Es dy/dx inversamente proporcional
a x ?

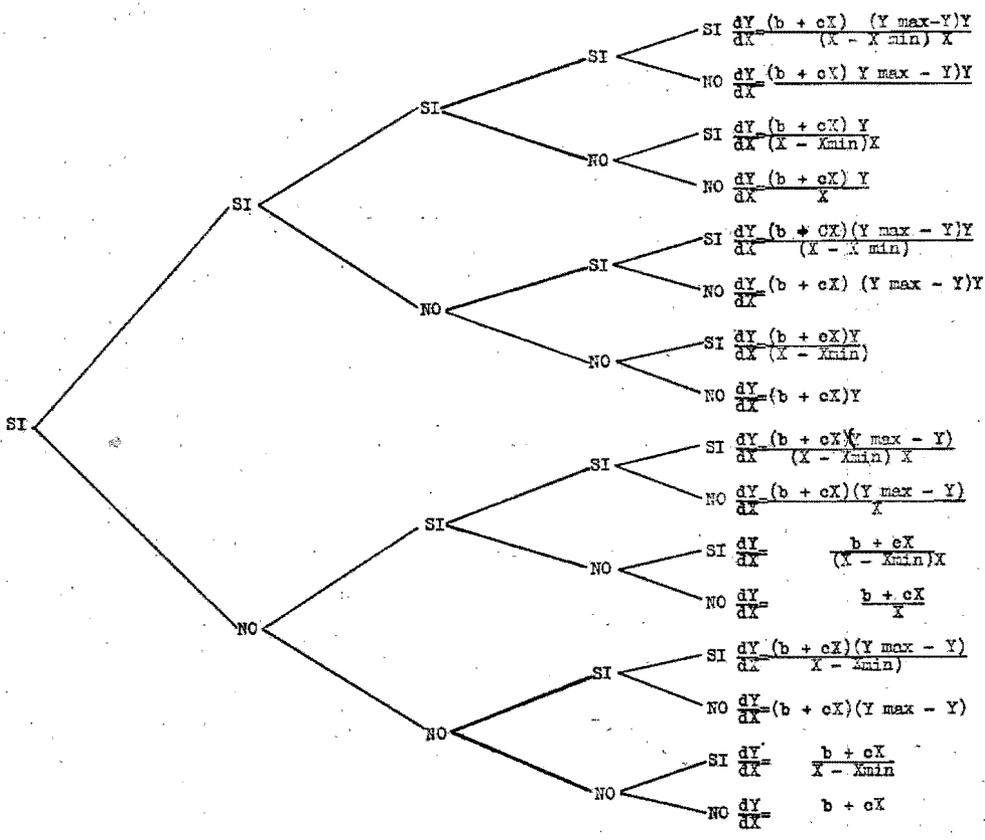
etc.

Lo cual se puede resumir en la tabla - -
II.1.1.

Para poder hacer uso de esta tabla, es --
necesario disponer de mucha información, parti-
cularmente en forma gráfica para poder deducir
de ella, el modo en que se relacionan las va--
riables de nuestro problema.

Por otra parte, extrapolar esta informa--
ción nos puede llevar a cometer errores en - -
aquellos puntos muy alejados del rango en que
se efectuó la experimentación.

Del análisis anterior concluiremos que, a
pesar de la gran valía histórica y matemática
de los modelos con ecuaciones diferenciales, -
estos son bastante difíciles de manipular, ya
que si se desea que se ajusten a la realidad,



1. dY/dx es proporcional a X .
2. El crecimiento de Y respecto a X es compuesto.
3. dY/dX es inversamente proporcional a X .
4. dY/dX se aproxima a cero cuando Y se aproxima asintóticamente a Y_{max} .
5. dY/dX crece sin límite cuando X se aproxima a X_{min} .

Tabla II.I.I.

1

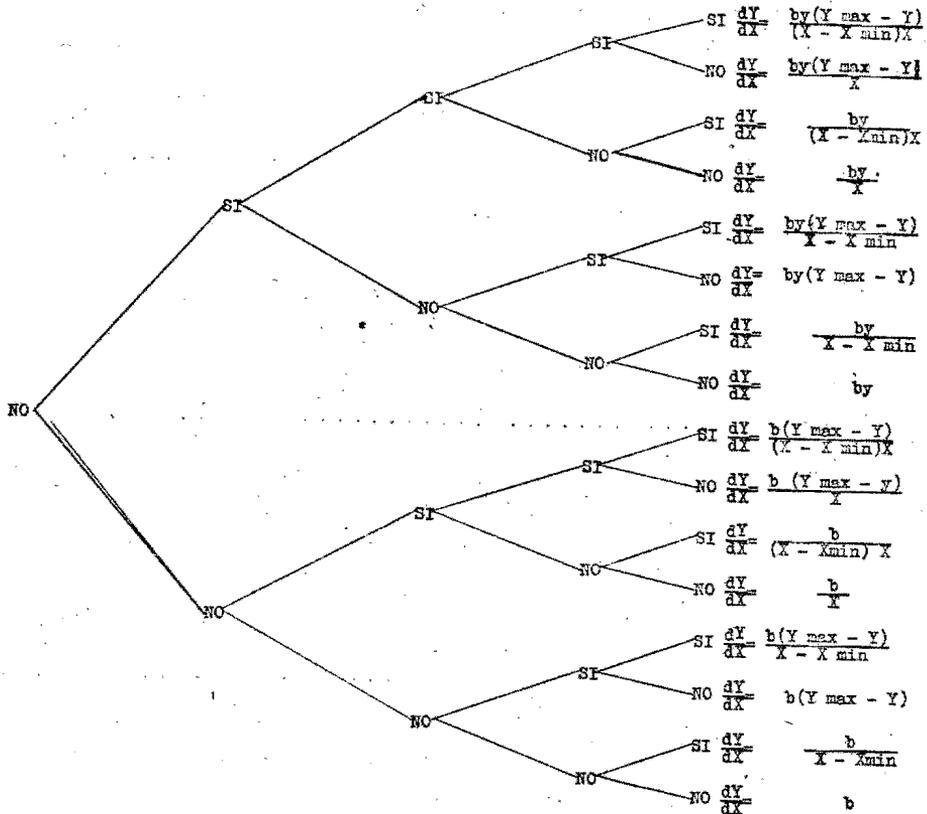
2

3

4

5

Ecuación



Continuación

las complicaciones crecen. Si por el contrario, tratamos de simplificarlo para una más fácil -- manipulación, no representará adecuadamente al sistema real, haciendo de poca utilidad el análisis de estos modelos.

Es indudable que la aplicación de las computadoras analógica y digital es de gran utilidad en la interpretación cualitativa y cuantitativa de las ecuaciones diferenciales. Sin -- embargo, la complejidad del ecosistema puede -- ser de tal magnitud como para que una computadora analógica resulte insuficiente, para lo cual sería necesario la aplicación de computadoras -- digitales.

II.3. MODELOS CON ECUACIONES EN DIFERENCIAS FINITAS

Los modelos con ecuaciones en diferencias finitas son más adecuados para representar poblaciones con generaciones separadas. En general este tipo de ecuaciones son más difíciles de resolver analíticamente que las ecuaciones diferenciales, por lo que casi siempre se utilizan computadores digitales para tratarlos.

Analizaremos inicialmente un modelo donde se estudie la población en generaciones separadas, en las cuales miembros de una generación nunca procrea con miembros de otra. La formulación matemática apropiada para tales casos es una relación recurrente de la forma:

$$X_{n+1} = RX_n \quad (\text{II.3.1})$$

donde R es la tasa de reproductividad.

Esta es una ecuación de recurrencia que nos indica cual será la población en el año en trante en términos de la población actual.

Esta ecuación puede ser escrita de diferentes maneras, expresando el cambio en la población de un año:

$$\Delta X_n = X_{n+1} - X_n$$

por lo tanto: (II.3.2)

$$\Delta X_{n+1} = RX_n \quad (\text{II.3.3})$$

"Resolver" esta ecuación, significa que será obtenida X como una función de la generación n y de las "condiciones iniciales"; en este caso X_1 es el tamaño de la población en -

la primera generación. Encontrar una solución de una ecuación de recurrencia significa proponer una posible solución y luego mostrar si la respuesta se ajusta a la ecuación. En nuestro caso el primer intento es:

$$X_n = a \lambda^n \quad (\text{II.3.4})$$

donde a y λ son constantes desconocidas. Entonces sustituyendo en la ecuación tenemos:

$$R = \frac{X_{n+1}}{X_n} = \frac{a \lambda^{n+1}}{a \lambda^n} = \lambda \quad (\text{II.3.5})$$

de aquí:

$$X_n = a R^n \quad (\text{II.3.6})$$

y encontramos a de las condiciones iniciales.-

Entonces:

$$X_1 = aR \quad \text{ó} \quad a = \frac{X_1}{R}$$

De aquí la solución es: (II.3.7)

$$X_n = X_1 R^{n-1}$$

Si, de esta ecuación conocemos la magnitud de la primera población, la tasa de reproductividad R y el número de generaciones, podemos encontrar el tamaño de la población en cualquier tiempo.

Regresando a (II.3.7), es claro que si $R > 1$ la población se incrementará sin límite; si $R < 1$ decrecerá a cero.

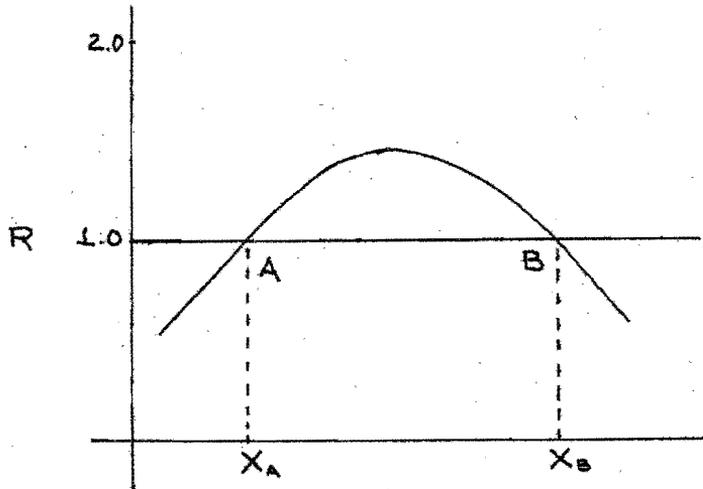


Fig. II.3.1

En general R depende de X . Una posible dependencia es mostrada en la Fig. II.3.1. En la cual se observa que cuando la población es pequeña, la tasa es menor que 1, esto probablemente se debe a que las hembras no encuentran compañeros, por otro lado, si X es muy grande también $R < 1$ debido probablemente a que se excede la capacidad de ecosistema.

Cuando $R = 1$ (puntos A y B), la población se reproducirá constantemente, X_A o X_B son los puntos de equilibrio.

Nos interesa saber más acerca del comportamiento de la población en la región de equilibrio estable X_B , debido a que este es un punto crítico.

Linealizando, alrededor del punto de equilibrio - lo cual se ilustra en la Fig. II.3.2:

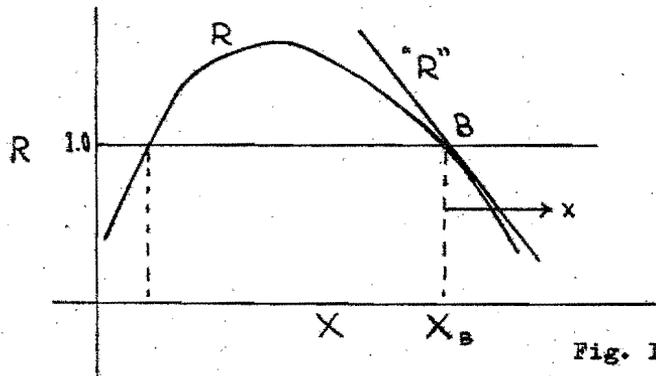


Fig. II.3.2

tenemos:

$$X = X_B + x$$

No se considera la densidad de población (x) en forma absoluta, sino una separación del equilibrio. Nótese que aquí X es necesariamente positiva, x puede ser positiva o negativa.

Cuando $x = 0$, $R = 1$ entonces la ecuación de la recta será:

$$R = 1 - bx$$

donde $-b$ es la pendiente de la recta.

La ecuación (II.3.3) será:

$$X_{n+1} = (1 - bx_n) X_n$$

entonces:

$$\begin{aligned} X_B + x_{n+1} &= (1 - bx_n) (X_B + x_n) \\ &= X_B + x_n - BX_B x_n - bx_n^2 \end{aligned} \quad (\text{II.3.8})$$

Para pequeños desplazamientos, x_n^2 puede ser despreciado en comparación con x_n . De aquí:

$$x_{n+1} = (1 - k)x_n \quad (\text{II.3.9})$$

$$\Delta x_n = -K x_n$$

en donde:

$$K = bX_B$$

Una consideración de la ecuación (II.3.9), muestra que:

Si K es negativa (R se incrementa con X), separándose del equilibrio sin límite; es decir es inestable.

Si $0 < K < 1$, la población alcanza el equilibrio sin oscilaciones (es amortiguado).

Si $1 < K < 2$, hay oscilaciones de amplitud — decreciente alrededor del punto de equilibrio (subamortiguado).

Si $K > 2$, hay oscilaciones de amplitud creciente (inestable).

Estas consideraciones se deberán tratar solamente para pequeñas variaciones.

Comparando (II.3.1) y (II.3.7) vemos que la solución de (II.3.9) es:

$$x_n = x_1 (1 - K)^n - 1 \quad (\text{II.3.10})$$

Regulación Retrasada

Es posible que la tasa de reproductividad R dependa, no solamente de la densidad de población en el presente, sino que también en la del pasado. Por ejemplo, la reproducción de las — especies herbívoras dependerá de la vegetación

ingerida el año anterior por sus predecesores.

Para tener una idea de cual será el efecto de dicho retardo en el incremento de la densidad de población, se considerará un ejemplo. Se asumirá que R depende únicamente de la densidad de población en el año anterior.

Entonces:

$$X_{n+1} = RX_n$$

donde:

$$R = f(X_n - 1) \quad (\text{II.3.11})$$

que será:

$$X_{n+2} = X_{n+1} f(X_n)$$

Si conocemos la forma de $f(X)$ esta ecuación puede ser fácilmente resuelta por interacciones. En general, una solución analítica de la ecuación II.3.11, no puede ser encontrada. Por lo que --- linealizaremos. Entonces podemos escribir:

$$X_n = X_E + x_n$$

donde para pequeños desplazamientos

$$f(X_n) \approx 1 - bx_n$$

cuando

$$x_n = 0, f(X_n) \approx 1$$

$$X_E + x_{n+2} = (X_E + x_{n+1}) (1 - bx_n)$$

Ignorando $x_n \cdot x_{n+1}$ y escribiendo $bX_E = k$

$$x_{n+2} - x_{n+1} + kx_n = 0$$

Esto es equivalente a:

$$x_{n+1} = x_n - kx_n - 1 \quad (\text{II.3.12})$$

Por analogía con (II.3.3) la solución es:

$$x_n = A\lambda^n$$

$$A\lambda^{n+2} - A\lambda^{n+1} + kA\lambda^n = 0 \quad (\text{II.3.13})$$

$$\lambda^2 - \lambda + k = 0$$

esta ecuación tiene dos soluciones:

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{(1-4k)}}{2}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{(1-4k)}}{2}$$

La solución completa de (II.3.12) es:

$$x_n = A \left[\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{1-4k}}{2} \right]^n + B \left[\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{1-4k}}{2} \right]^n \quad (\text{II.3.14})$$

donde A y B son constantes debidas a las condiciones iniciales.

Comparando el comportamiento de (II.3.3) y (II.3.12) tenemos lo siguiente:

	<u>Sin Retraso</u>	<u>Con Retraso</u>
inestable	K negativo	k negativo
amortiguado	$0 < K < 1$	$0 < k < 1/4$
subamortiguado	$1 < K < 2$	$1/4 < k < 1$
inestable	$K > 2$	$k > 1$

Regresando a la ecuación (II.3.1) buscaremos ahora una nueva relación entre R y X que nos permita reproducir mas fielmente el comportamiento del sistema. Asumiremos que existe un punto de equilibrio X_E y tambien asumiremos que:

$$\frac{X_n + 1 - X_n}{X_n} \propto (X_E - X_n) \quad (\text{II.3.15})$$

El miembro izquierdo de esta relación mide el crecimiento de la población en un año, - como porcentaje del tamaño de la población en ese año; mientras que el derecho mide la diferencia entre la población real y el punto de equilibrio. La suposición de que estas dos - cantidades son proporcionales la una a la otra nos lleva a la ecuación "lógica", aunque - este término es generalmente confinado al caso continuo.

La relación (II.3.15) puede ser escrita:

$$X_{n+1} - X_n = c(X_E - X_n)X_n \quad (\text{II.3.16})$$

$$X_{n+1} = (cX_E + 1 - cX_n)X_n$$

de donde la tasa máxima de crecimiento es:

$$R = (cX_E + 1) \text{ max.}$$

cuando X_n es pequeño.

En este caso la tasa de crecimiento es --
proporcional a la diferencia de la población --
real al punto de equilibrio.

Como antes, sea

$$X_n = X_E + x_n$$

entonces:

$$\begin{aligned} \Delta x &= c(X_E - X_n) X_n = -cX_n \cdot x_n \\ &= -cX_E x_n - cx_n^2 \end{aligned} \quad (\text{II.3.17})$$

o para pequeños desplazamientos:

$$\Delta x = -cX_E x_n \quad (\text{II.3.18})$$

si:

- | | |
|----------------|-------------------|
| $cX_E > 2$ | es inestable |
| $1 < cX_E < 2$ | es subamortiguado |
| $0 < cX_E < 1$ | es amortiguado |

Con estos elementos es posible analizar la relación entre las especies de Predador y Presa.

Sean X_n y Y_n el número de Presas y Predador respectivamente, la Presa cumple con la ecuación (II.3.17).

En presencia del Predador, la ecuación -- (II.3.17) debe ser modificada por un término -- que tome en cuenta a los individuos destruidos por el Predador. Este término puede tomar varias formas, por ejemplo, si hay una cantidad de refugios capaz de proteger un número limitado de Presas, y observar si esas Presas que no son capaces de ocupar esos refugios, resultan muertas. O suponiendo que haya pocos Predadores y estos son limitados por otros factores, no es considerado. En este caso el término relevante sería $-CY_n$ en donde C es una constante y Y_n es el número de Predadores.

Un caso más interesante es aquel en el -- cual la abundancia del Predador es limitada por la abundancia de la Presa. Esto requiere que el número de Presas tomadas por cada Predador, decrezca en función del decremento de Presas; (una alternativa es que cada Predador tome una

cantidad fija de Presas, pero cuando la Presa es menos abundante, el Predador pasa más tiempo buscándola y así tiene menos tiempo para reproducirse).

Una suposición simple es que cada Predador mata un número de Presas proporcional a la abundancia de ellas, entonces:

$$\Delta x_n = cX_E X_n - cX_n^2 - CX_n Y_n \quad (\text{II.3.19})$$

Esta suposición sería cierta si cada Predador buscara en un area constante, suponiendo - que las areas correspondientes a cada Predador no se cruzan con la de otros Predadores.

Para encontrar una ecuación que introduzca Y_n , se puede suponer que el número de descendientes producidos por cada Predador es proporcional al número de Presas muertas por él mismo; esto es, asumir una "eficiencia de conversión" constante que cambia el alimento ingerido en descendencia. Ahora, el número de Presas muertas por cada Predador es CX_n , y así el número de descendientes por cada Predador será - igual a:

$$CX_n = KX_n$$

de donde:

$$Y_{n+1} = (KX_n) Y_n \quad (\text{II.3.20})$$

donde KX_n es la tasa de reproductividad de los Predadores .

Es más facil interpretar la solución de las ecuaciones (II.3.19) y (II.3.20) si las expresamos en términos de R y r , las tasas máximas de reproducción de la Presa y Predador respectivamente.

De la ecuación (II.3.16)

$$R = cX_E + 1$$

entonces:

$$c = (R - 1)/X_E$$

Sustituyendo en (II.3.19) nos dá:

$$\Delta X_n = (R-1)X_n - (R-1)X_n^2/X_E - cX_n Y_n \quad (\text{II.3.21})$$

$$X_{n+1} = RX_n - (R-1)X_n^2/X_E - cX_n Y_n$$

Supongamos ahora que la Presa está en su densidad de equilibrio X_E y además inicialmente no hay Predador, pero estos empiezan a introducirse posteriormente con una tasa r de crecimiento (II.3.20):

$$r = Y_{n+1} / Y_n = KX_E$$

y así (II.3.20) se convierte en:

$$Y_{n+1} = rX_n Y_n / X_E \quad (\text{II.3.22})$$

Las ecuaciones (II.3.21) y (II.3.22) pueden ser investigadas algebraicamente linealizando:

$$x_{n+1} = x_n \left(1 - \frac{R-1}{r}\right) - \frac{CX_E}{r} y_n \quad (\text{II.3.23})$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{r}{CX_E} \left(R - 1 - \frac{R-1}{r}\right) x_n \quad (\text{II.3.24})$$

en donde X_E es el punto de equilibrio de la Presa en ausencia del Predador.

Para el sistema anterior, se han tomado como puntos de equilibrio, las ecuaciones (II.3.22) y (II.3.21).

$$X_S = \frac{X_E}{r}$$

(II.3.25)

$$Y_S = \frac{1}{C} \left(R - 1 - \frac{R-1}{r}\right)$$

Ahora tenemos que eliminar una de las variables x_n y y_n de (II.3.23):

$$x_n = \frac{y_{n+1} - y_n}{\alpha}$$

y de aquí:

$$x_{n+1} = \frac{y_{n+2} - y_{n+1}}{\alpha}$$

en donde:

$$\alpha = \frac{r}{CX_E} \left(R - 1 - \frac{R-1}{r} \right)$$

sustituyendo en (II.3.23), nos da:

$$\frac{y_{n+2} - y_{n+1}}{\alpha} = \frac{y_{n+1} - y_n}{\alpha} \left(1 - \frac{R-1}{r} \right) - CX_E y_n$$

después de reducir:

$$y_{n+2} - y_{n+1} \left(2 - \frac{R-1}{r} \right) + y_n \left\{ R - \frac{2(R-1)}{r} \right\} = 0 \quad (\text{II.3.26})$$

Esta es una relación de recurrencia que nos da y_n en términos de las tasas de reproducción R y r . Es más fácil de manipular si hacemos $-(R-1)/2r = \beta$

entonces:

$$y_{n+2} - 2(1-\beta)y_{n+1} + (R-4\beta)y_n = 0 \quad (\text{II.3.27})$$

La solución de esta ecuación es:

$$y_n = A \lambda_1^n + B \lambda_2^n \quad (\text{II.3.28})$$

en donde;

$$\lambda_1 = 1 - \rho + \sqrt{(1 + \rho)^2 - R}$$

$$\lambda_2 = 1 - \rho - \sqrt{(1 + \rho)^2 - R}$$

A y B son constantes.

Procederemos como sigue:

1.) Si

$$R > (1 + \rho)^2 \quad \cdot \quad \lambda_1 \text{ y } \lambda_2 \quad \text{(II.3.29)}$$

son complejos.

En este caso, (II.3.28) describe una oscilación, la cual diverge si:

$$R > 1 + 4\rho \quad \text{(II.3.30)}$$

2.) Si $R < (1 + \rho)^2$. λ_1 y λ_2 son reales.

a.) Si $\lambda_1 > 1$, Y_n crece sin límite --- cuando n crece. Esto pasará si:

$$1 - \rho + \sqrt{(1 + \rho)^2 - R} > 1$$

lo que se reduce a $1 + 2\rho > R$, o - sustituyendo ρ , a $r < 1$.

Pero si $r < 1$ el Predador se extinguiría rápidamente y no existiría el equilibrio.

b.) Si $\lambda_2 < 0$ el sistema oscilará, o sea si:

$$1 - \beta - \sqrt{(1 + \beta)^2 - R} < 0$$

6

$$\sqrt{(1 + \beta)^2 - R} > 1 - \beta$$

Ya que si $R < (1 + \beta)^2$, esto será --
cierto si $\beta > 1$.

Si $\beta > 1$, entonces:

$$(1 + \beta)^2 - R > (1 - \beta)^2$$

6

$$R < 4\beta$$

entonces el sistema oscilará si:

$$\beta > 1$$

6

(II.3.31)

$$R < 4\beta$$

c.) Si $\lambda_2 < -1$, la oscilación será di-
vergente o sea si:

$$1 - \beta - \sqrt{(1 + \beta)^2 - R} < -1$$

y procediendo como antes, la oscila-
ción diverge si:

$$\beta > 2 \quad 6 \quad R < 6\beta - 3 \quad (\text{II.3.32})$$

Las desigualdades (II.3.29) y (II.3.30) son
resumidas en la Fig. II.3.3:

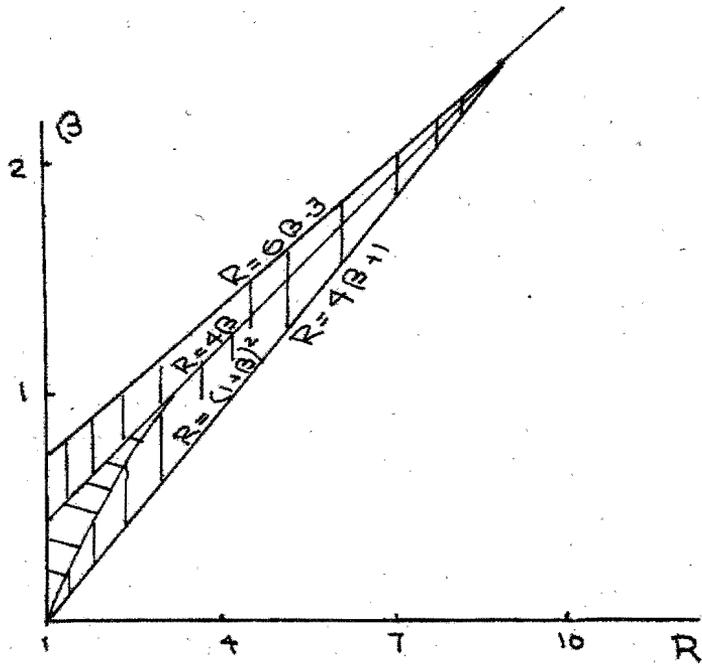


Fig. II.3.3

Recordando que $r = (R-1)/2r$, la figura anterior puede convertirse en la siguiente figura (II.3.4)

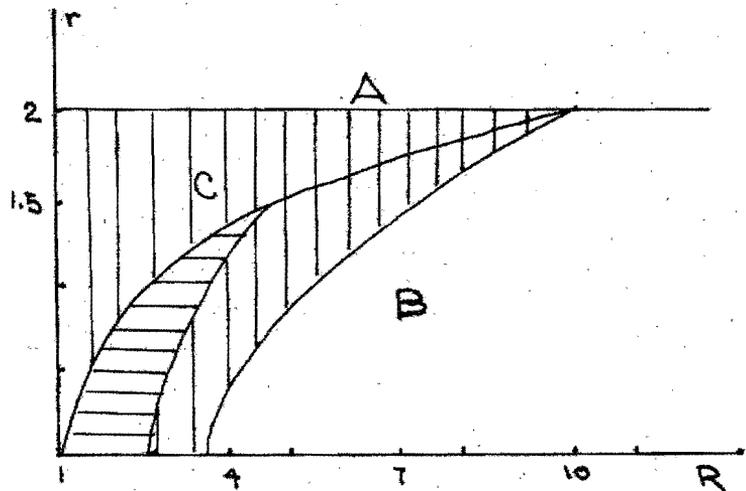


Fig. II.3.4

La figura anterior nos permite predecir el comportamiento del sistema Predador - Presa teniendo conocimiento de R y r . Cuando estas dos variables son pequeñas, el sistema oscila con amplitud creciente.

En la región B (R grande, r pequeña) la Presa oscilaría en ausencia de Predador. El Predador oscila porque la Presa oscila.

En la región C, las oscilaciones son amortiguadas, sin embargo, si el Predador no está presente se vuelven divergentes.

En la región A (r grande y R pequeña) el Predador puede ser considerado como responsable de las oscilaciones, ya que sin su presencia, las oscilaciones desaparecerían. Las oscilaciones divergentes llevarían a la extinción de la Presa y por consecuencia a la del Predador,

A continuación se discutirá el modelo propuesto por Holling (1965) de número de Presas atacadas por Predador. Este modelo se discutirá aquí, porque es un magnífico ejemplo de la técnica de fragmentar un proceso y analizarlo detalladamente por partes. Según este tipo de

enfoque, se determinan primero los componentes básicos del fenómeno, se postulan hipótesis -- para explicar su acción y entonces se comprueban experimentalmente. Cuando un conjunto de hipótesis se considera adecuado, se expresa matemáticamente. Las ecuaciones se combinan para formar un modelo preliminar del fenómeno, que se complica posteriormente de acuerdo a los resultados de nuevos experimentos, que fueron sugeridos por el modelo.

Holling parte de la siguiente hipótesis:

$$N_a = a T_t N_o \quad (\text{II.3.33})$$

en donde N_a representa el número de Presas ata cadas; N_o , número de Presas totales; a , tasa de búsqueda exitosa y T_t , tiempo que la Presa -- está expuesta al Predador (por ejemplo), si el Predador es nocturno, la noche).

Sin embargo, los experimentos muestran -- que los predadores pasan bastante tiempo buscan do, persiguiendo, devorando y digiriendo a su Presa; por lo tanto, (II.3.33) debe transfor-- marse en:

$$N_a = a N_o (T_t - T_n N_a) \quad (\text{II.3.34})$$

T_n representa el tiempo que tarda un Predador en manejar a su Presa (buscarla, perseguirla, etc.). La ecuación anterior se transforma en:

$$N_a = aT_t N_o / (1 + aT_n N_o)$$

con

$$T_n = T_d + T_s + T_p + T_e$$

donde:

T_d = Tiempo de digestión

T_s = Tiempo de la búsqueda

T_p = Tiempo de la persecución

T_e = Tiempo que tarda el Predador en digerir a una Presa.

Cada una de estas componentes se subdivide en muchas otras, por ejemplo, T_s depende de la densidad de la Presa, de las velocidades relativas de las dos especies, del hambre del Predador, que a su vez es función del tiempo transcurrido desde la última comida, de la palatabilidad de la Presa, etc.

Después de buen número de experimentos (con invertebrados), Holling fué capaz de determinar expresiones para cada uno de los componentes de (II.3.34) y construir un modelo. El modelo de Holling se puede utilizar como subcompo

nente de modelos más complejos.

Para la solución de ecuaciones en diferencias finitas se cuenta, como un auxiliar, con la transformada Z. La cual tiene la misma relación con los sistemas discretos invariantes en el tiempo que la relación que conserva la transformada de Laplace con los sistemas continuos invariantes con el tiempo.

II.4. MODELOS CON MATRICES

En esta sección se examinará un solo modelo, que incluye la estructura de edad de las poblaciones. El modelo fue propuesto por Pennyquick, Compton y Beckingham (1968), y está basado en las técnicas para representar poblaciones por medio de matrices que desarrolló Leslie (1945 - 1948). El modelo consta de una matriz de la siguiente forma:

$$[A] = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & \cdot & \cdot & \cdot & F_{n-1} & F_n \\ P_{1a1} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & P_{2a3} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & P_{(n-1)a,n} & 0 \end{bmatrix} \quad (II.4.1)$$

En donde F_i representa la fecundidad de la especie en cuestión durante la etapa i y P_i a j es la probabilidad de pasar de la etapa i a la etapa j .

Además se tiene un vector de población:

$$[V] = \begin{pmatrix} N_{I1} \\ N_{I2} \\ N_{I3} \\ \dots \\ N_{In} \end{pmatrix} \quad (\text{II.4.2})$$

en el que N_{I1} es la cantidad de individuos de la etapa i en el tiempo I .

De lo anterior se ve que del producto $A \cdot V$ se obtiene la población en el tiempo $t + 1$.

$$\begin{pmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & \cdot & \cdot & \cdot & F_{n-1} & F_n \\ P_{12} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & P_{23} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & P_{n(n-1)} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_{O1} \\ N_{O2} \\ N_{O3} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ N_{O(n-1)} \\ N_{Onc} \end{pmatrix}$$

(II.4.3)

$$\begin{bmatrix} F_{10}^{N1} + F_{20}^{N2} + \dots + F_{n0}^{Nn} \\ P_{1a2}^{N1} \\ P_{2a3}^{N2} \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{(n-1)a_n}^{N(n-1)1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} \\ N_{12} \\ N_{13} \\ \cdot \\ \cdot \\ N_{1n} \end{bmatrix}$$

(Cont. de II.4.3)

$$N_{I1} = \sum_{i=1}^n F_i^{N1} \quad (II.4.4)$$

$$N_{Ij} = P_{(j-1)a_j}^{N1} \quad (II.4.5)$$

Si se tiene el conjunto de vectores de población que corresponden a los tiempos 0, 1, 2, 3, n, se pueden determinar los elementos de la matriz de la siguiente manera:

De (II.4.5):

$$P_{(j-1)a_j}^{N1} = \frac{N_{Ij}^{N1}}{N_{I-1}^{N1}(j-1)} \quad (II.4.6)$$

de (II.4.1):

Si $I = 1, 2, 3, \dots, n$:

$$N_{I1}^{N1} = \sum_{i=1}^n F_i^{N1} \quad (II.4.7)$$

(II.4.7) representa un sistema de n ecuaciones con n incógnitas.

(II.4.7) se puede expresar como:

$$\begin{bmatrix} N_{1i} \\ \vdots \\ N_{hi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{i(i-1)} \\ \vdots \\ N_{hx(i-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_i \\ \vdots \\ P_i \end{bmatrix} \quad (\text{II.4.8})$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

de (II.4.8):

$$\begin{bmatrix} F_i \\ \vdots \\ P_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{i(i-1)} \\ \vdots \\ N_{hx(i-1)} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} N_{1i} \\ \vdots \\ N_{hi} \end{bmatrix} \quad (\text{II.4.9})$$

De las ecuaciones (II.4.5) y (II.4.9) se obtienen los elementos de la matriz A .

Si de algún modo se pueden controlar los valores de las F 's y P 's se plantearía el siguiente problema: Dada una población inicial, determinar el valor de la F 's y P 's que mantienen constante a la población total.

La solución se puede lograr manteniendo constante la población en cada etapa, o dejando que estas varíen, lo cual implica que la población de una etapa compensará las variaciones en otra.

Analizando el primer caso, se requiere que:

$$N_i = N_{i-1} \quad (\text{II.4.10})$$

como:

$$\frac{N_i}{I^i} = P_{(j-1)aj} \cdot \frac{N_{(j-1)}}{I^{(j-1)}} \quad (\text{II.4.11})$$

de donde se obtienen las $n - 1$ P's:

$$P_{(j-1)aj} = \frac{\frac{N_j}{I^j}}{\frac{N_{(j-1)}}{I^{(j-1)}}} \quad (\text{II.4.12})$$

Por otra parte, de la ecuación (II.4.4) se tiene

$$\sum_{i=1}^n F_i \frac{\frac{N_{(i-1)}}{I^{(i-1)}}}{\frac{N_i}{I^i}} = 1 \quad (\text{II.4.13})$$

ecuación que se puede poner en función de las probabilidades, quedando:

$$F_1 + \sum_{j=2}^n \left[F_j \left(\prod_{i=1}^{j-1} P_{ia(i+1)} \right) \right] = 1 \quad (\text{II.4.14})$$

Como se planteó inicialmente el problema, se tienen $2n - 1$ incógnitas (n F's y $n - 1$ P's) con sólo n ecuaciones.

De (II.4.12) se obtienen $n - 1$ ecuaciones que determinan las P's, de la ecuación (II.4.13) (ó (II.4.14)), se puede determinar una F si se han escogido arbitrariamente las $n - 1$ F's restantes.

La selección de valores de F se pueden hacer en base a factores económicos, característicos de la especie, ecológicos, etc.

Tanto las probabilidades de paso de una etapa a otra como las fecundidades, pueden ser submodelos de la forma:

$$P_{(j-1)a_j} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$F_i = \varphi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

con las restricciones:

$$0 \leq P \leq 1 \quad \text{y} \quad F_i \geq 0$$

así, por ejemplo:

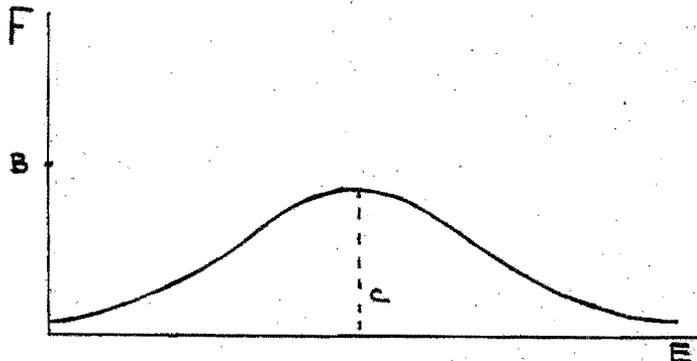
$$F(E) = B e^{-A^2 (E-c)^2}$$

E = Etapa

c = Edad de máxima fecundación

B = Determina el valor máximo

A = Determina el ancho de la curva



$$\begin{pmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & \cdot & \cdot & \cdot & F_n \\ P & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & P & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & P & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & P \end{pmatrix}$$

A, B y C pueden ser a su vez, funciones de otras variables como temperatura, humedad, densidad de población, etc.

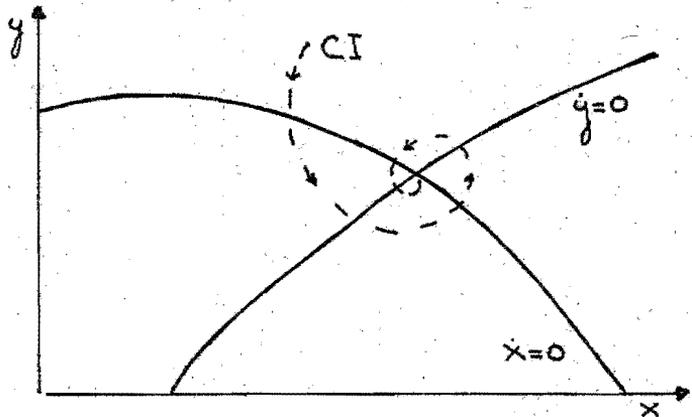


Fig. II.5.1

Adoptando cierto tipo de medidas como, incluir protección para las Presas, bajando la intensidad de la Predación, haciendo al Predador dependiente de la densidad o con combinación de ciertas restricciones podemos llegar a

estabilizar el sistema. Además se puede estudiar como afecta la selección natural a la forma y posición de las isoclinas.

Consideramos que el principal defecto de este método es la dificultad en la obtención de datos, debido al problema de reproducir las condiciones experimentales, fundamentales en el análisis gráfico.

II.5. MODELOS GRAFICOS

Rosenzweig y Mc Arthur (1963) y Rosenzweig (1968) han propuesto un método para estudiar sistemas de Predador y Presa cuando importa únicamente obtener resultados cualitativos generales. En esencia, su método consiste en dibujar en el plano X-Y las isoclinas de las ecuaciones de la Presa y el Predador. La conducta del sistema puede obtenerse a partir de un análisis gráfico. Lo importante del método de estos autores, radica en que, en lugar de plantear primero las ecuaciones para obtener las isoclinas a partir del análisis del fenómeno biológico. El estudio del problema nos dirá si las curvas poseen máximos, mínimos, puntos de inflexión, etc., constituyéndose las isoclinas directamente del

análisis. Los puntos de intersección de las curvas son los puntos de equilibrio del sistema y es bastante fácil determinar geoméricamente — que tipo de equilibrio representa. Por ejemplo, el equilibrio en el siguiente sistema es estable: (Fig. II.5.1).

II.6. MODELOS ESTOCASTICOS

Hasta aquí hemos estado relacionados con modelos matemáticos determinísticos en los cuales las predicciones generadas, son valores exactos, es decir determinísticos.

Ya que los valores usados como variables de entrada, valores iniciales y constantes del modelo son derivados de mediciones físicas, cada valor es realmente un elemento de una distribución de probabilidades. Por lo cual para generar predicciones con un modelo deberíamos introducir distribuciones de probabilidad, en lugar de valores específicos. Las predicciones generadas por el modelo, por consecuencia, serán también distribuciones de probabilidad y no valores exactos.

Un ejemplo de modelo estocástico es el de cadenas de Markov que a continuación se presen-

ta:

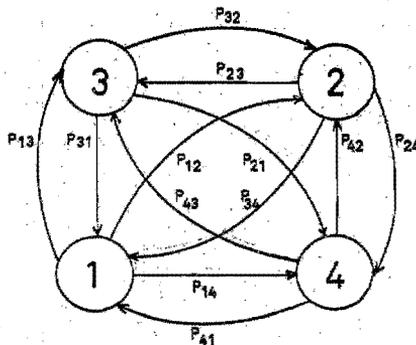
Podemos concebir una cadena de Markov como un proceso que atraviesa sucesivamente una serie de estados S_1, S_2, \dots, S_r . Supondremos $r \geq 2$ (para el caso que analizaremos $r = 5$).

P_{ij} será la probabilidad de encontrarse en el estado S_j si anteriormente estaba en el estado S_i . Las probabilidades las podemos disponer en un matriz de transición de la siguiente forma:

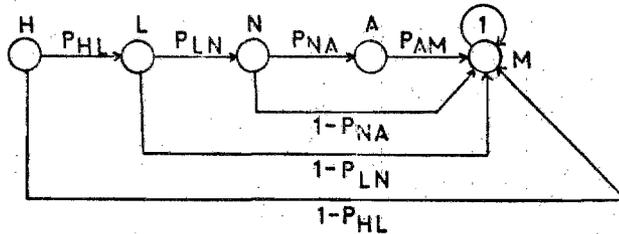
$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & \cdot & \cdot & \cdot & S_r \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ S_r \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} P_{11} & P_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{1r} \\ P_{21} & P_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{2r} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{r1} & P_{r2} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{rr} \end{array} \right] \end{matrix}$$

lo cual define una red de estados de la forma:

para $r = 4$



Para el caso en que los estados son:
 H (huevo), L (larva), N (ninfa), A (adulto), M
 (muertos), se tiene la siguiente red de estados:

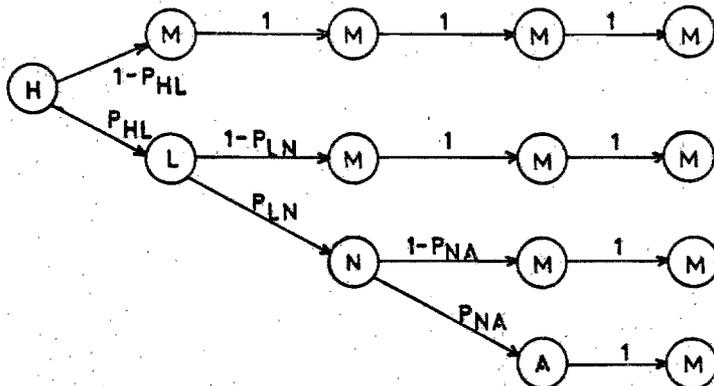


La matriz de transición será:

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} H & L & N & A & M \end{matrix} \\ \begin{matrix} H \\ L \\ N \\ A \\ M \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & P_{H-L} & 0 & 0 & 1 - P_{HL} \\ 0 & 0 & P_{L-N} & 0 & 1 - P_{LN} \\ 0 & 0 & 0 & P_{N-A} & 1 - P_{NA} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Tenemos una cadena de Markov absorbente ya que al llegar al estado M, no se puede salir de él.

De la matriz anterior se puede obtener el siguiente árbol:



Del árbol vemos que la probabilidad de llegar a adulto es: $(P_{HL}) (P_{LN}) (P_{NA})$. Sea la matriz de transición A .

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} H & L & N & A & M \end{matrix} \\ \begin{matrix} H \\ L \\ N \\ A \\ M \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & a & 0 & 0 & b \\ 0 & 0 & c & 0 & d \\ 0 & 0 & 0 & e & f \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Calculando las potencias de esta matriz -
tenemos:

$$A^2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} H & L & N & A & M \end{matrix} \\ \begin{matrix} H \\ L \\ N \\ A \\ M \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & ac & 0 & ad+b \\ 0 & 0 & 0 & ce & cf+d \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e+f \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A^3 = \begin{matrix} & \begin{matrix} H & L & N & A & M \end{matrix} \\ \begin{matrix} H \\ L \\ N \\ A \\ M \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & ace & 1-ace \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A^4 = \begin{matrix} & \begin{matrix} H & L & N & A & M \end{matrix} \\ \begin{matrix} H \\ L \\ N \\ A \\ M \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

De lo anterior vemos que la matriz A da - las probabilidades (a_{ij}^n) de encontrarse en el estado S_j después de n espacios de tiempo, habiendo empezado en el estado S_i .

CONCLUSIONES

Del análisis de los modelos anteriores podemos concluir que para que un modelo sea realista, debe ser muy complicado, lo cual no quiere decir que se desprecie a los modelos sencillos, ya que estos se pueden tomar como una primera aproximación y de ellos se pueden obtener conclusiones importantes.

Debe observarse que para la creación de un modelo de un proceso ecológico complejo, este puede ser separado en un gran número de subsistemas, relativamente pequeños, aunque estos subsistemas pueden ser aún complejos.

La utilidad de los modelos radica, en que una vez representado el ecosistema se pueden tomar medidas de control en base a la simulación de dichos modelos, evitándose así, el gran derroche económico que significaría la toma de decisiones basada en la experimentación directa. En el campo de la simulación se ha tenido una gran contribución por parte de las computadoras electrónicas, las que cuentan con una gran capacidad de memoria y velocidad de procesamiento de datos, lo -

que permite hacer un gran número de cambios y pruebas en muy poco tiempo, aún en modelos bastante complejos.

III

Desarrollo de Modelos Especificos para el
Control de la Garrapata

CAPITULO I I I

- 1) Relación Garrapata - Bovino
- 2) Simulador DYNAMO
- 3) Modelo Matricial Modificado

I I I

En este capítulo intentaremos definir algunos modelos específicos que representen el eco - sistema en el cual se desenvuelve la garrapata, así como los diversos factores que la afectan; - dicho modelo deberá manejar gran cantidad de información relativa a estos factores y en base a ellos se podrán establecer diversos criterios de control con un cierto rango de confiabilidad.

III.1. RELACION GARRAPATA - BOVINO.

Debido a que la característica primordial de nuestros modelos en su aplicación al sistema garrapata - bovino y sus implicaciones económicas, es fundamental el conocimiento de las características - de la garrapata y el medio ambiente en - que se desenvuelve. Por lo cual, como - primer paso, estudiaremos dichas caracte - rísticas y luego estableceremos nuestros modelos.

III.1.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA GARRAPATA

Existen numerosos tipos de garrapatas, pero la especie *Boophilus microplus* es la garrapata que causa mayores daños a la industria ganadera de los países tropicales y subtropicales, entre los que se encuentra México. Debido a esto, el enfoque de nuestros modelos versará básicamente sobre esta especie.

Boophilus microplus es un ácaro perteneciente a la familia de los ixódidos, siendo parásitos preferentemente de bovinos, caninos, venados y hombre, no obstante que en estas especies es accidental.

La hembra de esta garrapata hematófaga, puede alimentarse hasta con 3 ml de sangre (.5 a 3ml) en toda su vida. El macho y otras formas inmaduras, por otro lado, se alimentan de líquidos linfáticos y no de sangre.

La fijación y nutrición de este áca

ro es debida a un órgano quitinoso denominado hipostoma, el cual perfora la piel, lo que origina lesiones y secuela de las mismas, con lo que la industria de la ganadería y curtiduría sufre grandes pérdidas.

Esta garrapata inocula toxinas -- que conducen a un estado anoréxico e interfieren con el cuadro hematopoyético (disminución de la capacidad sintetizadora de hemoglobina y albúmina aumentando las globulinas y ácidos grasos y disminución de proteínas).

Otro aspecto importante de este ectoparásito es su papel como transmisor mecánico y vector de enfermedades por virus y protozoarios.

Esta garrapata tiene dos tipos de vida: una libre y otra parásita.

Fase de vida libre. La hembra fecundada e ingurgitada, debido al movimiento de animal y la acción de la gravedad, se desprende y cae al suelo en -

trando a un periodo de pre - postura -- que de acuerdo con la temperatura y la humedad (27°C y 70% de humedad relativa) puede ser desde un mínimo de dos a tres días hasta un máximo de 98 días. Iniciando posteriormente un periodo de oviposición que en las condiciones climatológicas citadas puede variar de 10 a 12 días pudiendo ovopositar cada hembra una cantidad de 100 mg. en promedio, que representan entre 2000 y 4000 huevecillos teniendo en cuenta que cada hembra de *Boophilus microplus* pesa en promedio, 230 mg. teniendo una longitud de 4.5 a 7 mm.

En condiciones adversas, la garrapata puede inhibir su oviposición hasta que las condiciones sean más favorables, pudiendo inclusive inhibirla una vez que ésta se ha iniciado y posteriormente reiniciarla.

Después de 6 o 7 días ocurre la eclosión, la que corresponde a un 40 o --

60% de los 100 mg. de huevecillos. Esta se realiza bajo las condiciones climáticas antes citadas, surgiendo una larva (neo-larva), la cual necesita de 3 a 6 días para ser infestante y poder parasitar, pudiendo permanecer hasta -- 232 cerca de raíces, de pastos o entre uniones de hojas y tallos. Las larvas caminan hacia arriba (geotropismo negativo) y pueden hacerlo hacia los lados cuando los tallos son gruesos. La altitud a la que están las larvas en los pastos, depende de la humedad relativa y de la gravedad, colocándose por lo general a las dos terceras partes de la longitud total del pasto, en caso de -- que lleguen a la punta, suben y bajan tramos cortos constantemente, hasta llegar a un punto donde se inmovilizan, -- quedando en actitud de espera.

Esta posición la puede conservar -- desde 10 minutos hasta varios días, en nuestro medio, no se observa una estan-



cia mayor de dos días, sin que la larva vuelva a la parte inferior de la planta. Estas "migraciones", en el vegetal están influidas por la intensidad de los rayos solares, ya que se ha observado que durante el día, hay más movimiento que por la noche.

Por lo general las larvas están sobre el tallo, procurando dos situaciones: protegerse del sol y protegerse del viento.

El huésped es percibido, aparentemente, pero las siguientes causas:

- a). Vibraciones que ocasiona el huésped al caminar (diferenciadas de las ocasionadas por el viento)
- b). La disminución de la intensidad lumínica provocada por la presencia del huésped, motivan a desplazarse hacia el extremo superior del pasto.
- c). Percepción de objetos más calientes que el medio, siempre que su temperatura sea menor de 40°C, provocando esto, una condic

ta similar a la del punto anterior.

- d). Por un quimiotactismo positivo al CO₂ y algunos olores (ácidos grasos) propios de cada animal, siempre y cuando exista además una temperatura de más de 37°C ya que a menos de 20°C, la larva no responde al estímulo del olor animal.

Las larvas, aunque en el laboratorio se han observado por 232 días; no se han observado por más de 218 en el campo, sin embargo, hay reportes en el campo australiano, por 280 días.

Fase de vida parásita. Las larvas infestantes se colocan en el cuerpo del animal, en especial en las zonas donde el animal no se las puede desprender. Las zonas preferidas son: base de la cola, región perineal, región inguinal, cuello y cabeza; las larvas, una vez fijadas por su hipostoma

se alimentan por tres días y se empieza a transformar en un nuevo individuo (ninfa) con cuatro pares de patas.

La larva se convierte en ninfa y ésta se vuelve a fijar en la piel convirtiéndose posteriormente en los individuos sexuados macho y hembra.

Se ha observado que las ninfas -- que se transformarán en macho, tienen un periodo de transformación más corto que las que se transformarán en hembras, además de que son de menor tamaño por lo que los machos aparecen antes -- que las hembras e inmediatamente se ponen a buscarlas.

Las hembras se vuelven a fijar a la piel y se llenan de sangre paulatinamente, hasta estar completamente ingurgitada y luego desprenderse del bovino para ovipositar y posteriormente morir completando así su ciclo de vida.

Las hembras que caen en verano --

tienen un periodo de pre-oviposición y eclosión corto (los valores mínimos de los ya citados). En cambio las que -- caen en invierno tienen periodos de vida más largos pero las larvas de estas garrapatas viven menor tiempo.

Para la completa descripción del ciclo se utiliza la siguiente nomenclatura:

Larva	Larva
Metalarva	Estado en el cual ya está la ninfa con -- cuatro patas bajo la cutícula a mudar
Ninfa	Ninfa
Metaninfa	Estado en el cual ya está el individuo -- con sexo bajo la cutícula a mudar
Neandro	Macho recién emergido de la metalarwa
Gonandro	Macho capaz de copu-

	lar (queratinizado)
Neogina	Hembra recién emergida de la metalarva
Partenogina	Hembra semi-ingurgitada
Teleogina	Hembra totalmente ingurgitada

De acuerdo con esta clasificación tenemos los siguientes valores:

ESTADO	SUB-ESTADO	1er DIA	Mo	ULTIMO DIA
Larva	Larva	1	1	2
	Metalarva	4	4	6
Ninfa	Ninfa	5	7	13
	Metaninfa	9	10	16
Macho Maduro	Neandro	12	12	25
	Gonandro	15	15	33
Hembra	Neogina	13	15	20
	Partenogina	13	15	20
	Teleogina	18	21	35

Mo - Moda

Cabe hacer una observación sobre un punto de lo antes descrito en lo referente a mudas; el paso de larva a metalarva y de ninfa a metaninfa, es una situación en la cual hay un individuo

neoformado bajo una cutícula que corresponde al estado anterior, esta cutícula protege al nuevo individuo contra la acción de los baños de acaricidas ya que proporciona cierta impermeabilidad. De esta forma el orden de resistencia a los fosforados se aumenta de la larva que es la más susceptible a la teleogina que es la menos susceptible. Estos datos son importantes ya que en ellos se basa la estrategia de control por medio de baños.

III.1.2. EL ECOSISTEMA DE LA GARRAPATA.

Para el análisis de los factores que afectan la vida de las garrapatas dentro de su medio ambiente, es conveniente establecer un esquema de distribución de dichos factores dentro de su ecosistema. La figura III.2.1 muestra esta distribución.

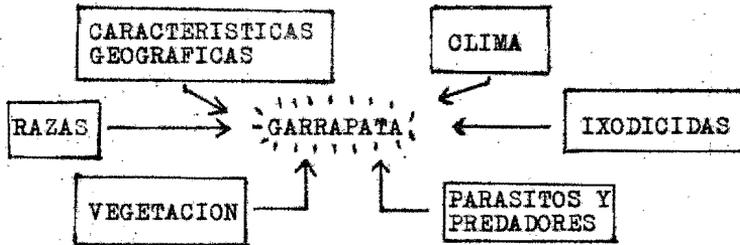


fig. III.2.1

De la distribución anterior podemos establecer el análisis siguiente:

Características geográficas.- Las características geográficas determinan la presencia de ganado en un área determinado, lo que a su vez limita la existencia de la garrapata en estos lugares.

Clima.- Dentro del área compatible con la vida de la garrapata, las variaciones del clima son factores limitantes primarios de su población, -- siendo sus condiciones óptimas de temperatura de 26°C a 27°C y una humedad relativa mayor a 70% mientras que a bajas temperaturas (menos de 5°C) no hay

oviposición ni eclosión, por otro lado las altas temperaturas también limitan a la población, ya que el frío aumenta el tiempo de pre-oviposición, oviposición y eclosión y las larvas de otros huevos tienen una vida menor.

Las larvas infestantes que soportan temperaturas más elevadas tienen una vida más corta debido al aumento de la tasa metabólica.

Vegetación.- Las plantas son importantes ya que protegen a las hembras ingurgitadas y a las etapas posteriores proporcionando una temperatura y humedad adecuada. Es de importancia mencionar que en estas circunstancias podrán implantarse el sistema de "vacas policía", o la introducción de ovicaprinos los cuales comen otro tipo de vegetales que los bovinos, pudiendo limpiar de esta forma los campos.

Parásitos y Predadores.- Existen

parásitos y predadores de las garrapatas aunque éstos no se han cualificado y cuantificado en México, sin embargo existen estudios preliminares sobre la garza garrapatera, la cual come 20 garrapatas diariamente, aunque no es su alimento exclusivo ni el más importante. La garrapata también sufre infecciones debidas a bacilos y hongos los cuales ocasionan gran mortalidad en -- las larvas.

Hospedero (Razas).- Unas razas de bovinos son más susceptibles a la garrapata que otras, encontrándose las cebui nas entre las más resistentes debido - al mayor grosor de su piel, a la mayor irritabilidad nerviosa, a la secreción de sustancias repelentes y una mayor - capacidad para presentar reacciones de hipersensibilidad retardada.

Ixodicidas.- Los ixodicidas (baños con productos químicos), son un --

factor importante en el ecosistema de la garrapata, ya que por medio de éstos, el hombre ha intentado controlarla.

El desequilibrio del sistema garrapata - huésped - medio ambiente, -- conduce a dos extremos: la desaparición de la garrapata con sus consecuentes trastornos ecológicos, o bien, la superpoblación de ellas. La combinación adecuada de los diversos factores que afectan al ecosistema mediante la utilización de los modelos, nos ayudará a evitar caer en cualquiera de estos dos extremos, estableciéndose por lo tanto, un equilibrio adecuado en el ecosistema, de tal forma que éste no afecte a la ganadería, - recurso indispensable en la vida del hombre -, y -- tampoco origine trastornos en la naturaleza.

III.2. SIMULADOR DYNAMO

En el capítulo precedente, estableci

mos la viabilidad de cada uno de los modelos ecológicos desarrollados hasta ahora. Para poder establecer un modelo específico para el control de la garrapata, es necesario ajustar los modelos existentes en la medida en que éstos pueden llevarse a la práctica. Sin embargo, es muy común que sea difícil o imposible experimentar con el mundo real, a veces porque se requieren enormes recursos, ya sean éstos humanos, de tiempo o de dinero otras veces por el riesgo de desequilibrar e incluso destruir el sistema real. En casos como estos, cuando se dispone de un mínimo de información, puede organizarse y programarse en la computadora y así estudiar el efecto de cambios que sería imposible estudiar de otra manera.

Los resultados de la simulación proveen al investigador de una gran cantidad de valiosa información en numerosos aspectos. Pero en nuestra opinión son tres los más importantes:

1).- Nos demuestra cuales son las principales lagunas en nuestros conocimientos acerca de los procesos que se estudian.

2).- Se puede evaluar la importancia relativa de las diferentes variables del programa que se está investigando.

3).- Se pueden hacer predicciones sobre lo que sucedería si se dan una serie de condiciones que se interesa evaluar.

En base a lo anterior existen diferentes programas útiles en la simulación de modelos y análisis de sistemas, de los cuales hemos encontrado que el DYNAMO es el que presenta mayores ventajas en el análisis de sistemas ecológicos por sus características intrínsecas (ver apéndice).

El DYNAMO en su principio de funcionamiento lo podríamos representar como un fluido circulando en diferentes tan -

ques y entre cada tanque una llave que controla el gasto en magnitud y en sentido.

En nuestro caso los tanques (niveles), representarán las diferentes edades de la población y las llaves (tasas), las tasas de natalidad, mortandad, fecundidad, promedio de vida y otras. El gasto será equivalente al flujo de la densidad de población.

En la primera aproximación para la creación del modelo de garrapata, se llegó a la conclusión de dividir la población en sus diferentes edades, donde el flujo de individuos promedio está regulado por la tasa de natalidad - tasa de mortandad - tasa de promedio de vida o cambio de edad como se muestra en la figura III.2.1.

Para poder establecer el valor de las tasas necesitábamos encontrar una relación que cumpliera con la realidad, además que ésta se pudiese obtener facil-

mente.

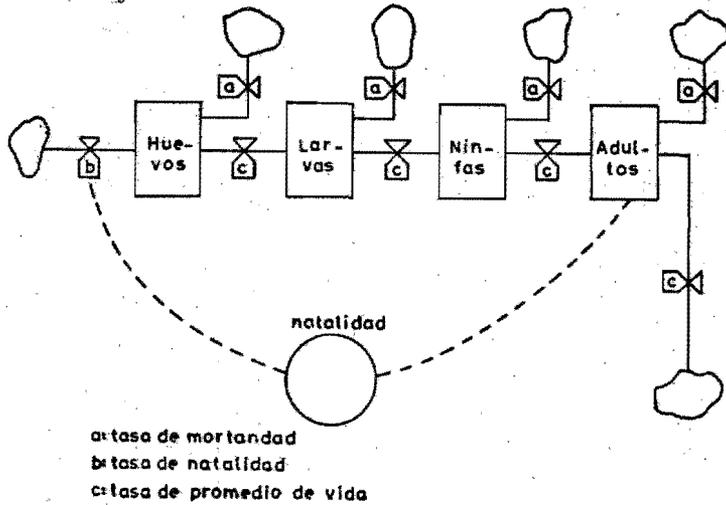


fig. III.2.1

La tasa de natalidad, después de va-
 rios intentos se definió de la siguiente
 forma:

$$tn = (HC) (HCT) (HE)$$

donde:

tn	-	tasa de natalidad
HC	-	$\frac{\text{huevos}}{\text{camada}}$
HCT	-	$\frac{\text{camada}}{\text{hembra x año}}$
HE	-	hembras

Lo que nos da como resultado el número de huevos al año. La tasa de natalidad definida en esta forma, es de gran utilidad por la facilidad de obtener experimentalmente HC y HCT ya que la garra pata ovoposita sólo una vez en su vida.

La tasa de mortandad la hicimos depender principalmente de la densidad de población, pensando incluir otras variables como insecticidas, predación, vegetación, temperatura y cualquier variable que influya en ésta; para ello el uso de tablas, constituye un elemento auxiliar importante ya que se pueden obtener relaciones altamente no lineales. En el caso de la densidad de población, la tasa de mortandad podría tener una relación - como la mostrada en la figura III.2.2. -

pudiéndose obtener:

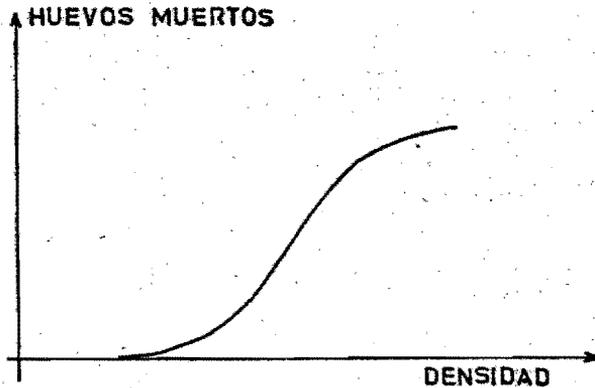


fig. III.2.2

cualquier otra, dependiendo del lugar donde se localice el sistema ecológico a estudiar.

La tasa de promedio de vida fue la que más problemas causó, ya que se supuso que sería igual a $(\text{Número de individuos})/(\text{Tiempo de vida})$, sin embargo, después de varias pruebas, descubrimos que se estaba cometiendo un error; ya que la tasa de promedio de vida por ser constante, no correspondía a la realidad, por -

el hecho de que se modificaba en función de la densidad de población, es decir, - cuando la población era grande, tardaba más en pasar a otro estado y si era pequeña sucedía lo contrario. Además de acuerdo a la notación en el DYNAMO, el valor del nivel en el tiempo t es igual al valor del nivel en el tiempo $(t - 1)$ menos la tasa de paso, cuando el valor en $(t - 1)$ era menor que la tasa, teníamos un valor negativo del nivel en el tiempo t .

Posteriormente hicimos variar la ta sa de promedio de vida, de acuerdo a la densidad de población como se muestra en la figura III.2.3:

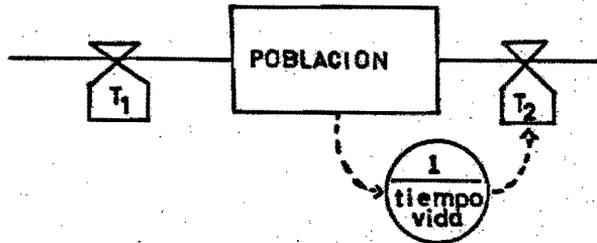


fig. III.2.3

donde $T_2 = \text{población}/\text{tiempo de vida}$

Pero tampoco resultó correcta, ya - que en algunas ocasiones cuando el tiempo era menor que la unidad, la tasa era mayor que la población y existía un flujo negativo y como consecuencia, los resultados que se obtenían eran densidades de poblaciones negativas. Otra posible solución fue considerar que la tasa de promedio de vida era igual a la de la natalidad pero retrasada (delay, ver apéndice), sin embargo, al intervenir la tasa de mortandad, el valor de la tasa de promedio de vida debería ser la diferencia de las otras dos, atrasada, pero como el delay en DYNAMO no se puede expresar en base a una diferencia no fue posible simularlo.

Como no fue posible encontrar una solución más adecuada a nuestro problema, se concluyó que era necesario cambiar en su estructura el modelo anterior.

Después de analizar diferentes alternativas, llegamos a la conclusión de

que la forma más adecuada era dividir -- los diferentes estados de la garrapata -- en días, donde cada nivel corresponde a un día; por lo tanto hicimos $DT = 1$ (incremento de tiempo - 1 día) en esta forma la población se trasladará de "nivel a nivel" cada día.

De esta manera resultó más fácil observar a la población en sus diferentes edades y así, poder actuar directamente sobre ella en un momento determinado, -- siendo posible con ésta, aplicar distintas políticas que tuvieran efectos directos o indirectos sobre esta población. Con respecto a las tasas, se propuso definir las en forma de probabilidad. De esta manera la suma de las tasas para cada estado de la población es igual a la unidad.

En la figura III.2.4 se ha diagramado la forma en la cual se llevó a cabo -- la partición de la población del *Boophilus microplus*. Por ser un ácaro con di-

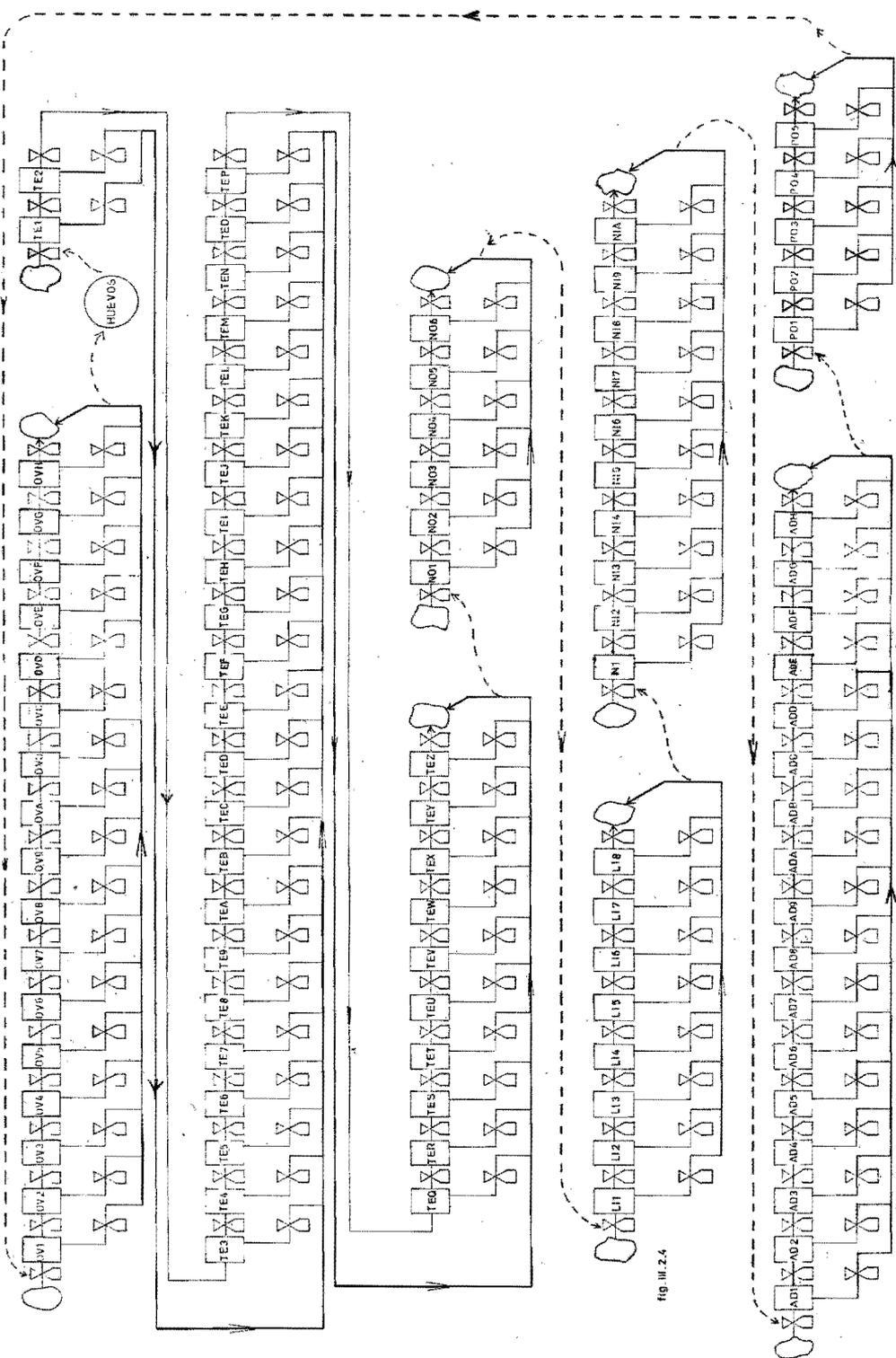


Fig. III. 2.4

ferentes edades, la partición se realizó de la siguiente forma: oviposición 17 - niveles, tiempo de eclosión 35 niveles, neolarva 6 niveles, larva infestante 10 niveles, adultos 17 niveles y pre-oviposición 5 niveles, donde el número de niveles de cada estado representa la información estadística obtenida experimentalmente sobre la duración de cada una de ellas. No obstante, es posible hacer una estructuración tan grande como se --- quiera, limitado esto solamente, por la capacidad de la computadora en la que se va a trabajar.

En el momento en que la población - llegue a la edad de adulto, se puede hacer una clara distinción de sexo y se -- puede optar por tener un nivel para hembras y otro para machos, o tener un solo nivel que corresponda al de adultos del cual se obtiene un porcentaje de hem -- bras y el resto de machos.

Para los efectos de simulación lo esencial es determinar sus reglas, es de-

cir, como se entra y como se sale de cada nivel, lo cual está indicado por las flechas que van de un nivel a otro y por las tasas que controlan su magnitud. Dichas tasas, que representan las funciones de transición son de tres tipos: la de mortandad, la de promedio de vida y la de cambio de estado. Las tasas de mortandad conectan un nivel con un "pozo" (ver apéndice), las de promedio de vida, un nivel con otro en un mismo estado, y las de cambio de estado, un nivel de un estado con un nivel de otro estado.

Realmente estas últimas tasas están conectadas a un pozo y lo que sucede es, que éstas mandan información a las tasas de entrada del otro estado, esto se hizo para disminuir el número de tasas y de esta manera, una sola tasa podría ser igual a la de paso de estado más la de mortandad.

En cada nivel existe un cierto número de individuos con características que

lo definen (estado y edad).

Debido a que la temperatura es uno de los factores que afectan a la tasa de promedio de vida, ésta se ha introducido en forma de tabla en la cual se establece la relación de la temperatura con respecto a la probabilidad de paso de un nivel de un estado al nivel de otro estado. Esta información es obtenida en experimentos de laboratorio y de esta forma se realizan histogramas y curvas que relacionan a un estado de la población con otro estado de la misma. A continuación se muestra un ejemplo para clarificar estos conceptos: supondremos que ha sido obtenido un histograma del porcentaje diario de la puesta de huevos (relativa al total de la puesta), a una temperatura de 36°C , como se muestra en la fig. III.2.5

El primer paso sería obtener el número de niveles de las hembras y el de los huevos, los cuales son en este caso, los dos estados que están relacionados entre sí:

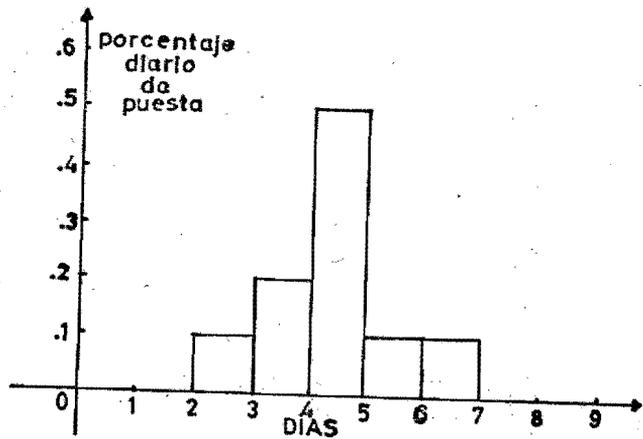


fig. III.2.5

Si suponemos que el número de niveles de las hembras es igual a 8, tendremos que las hembras empiezan a ovopositar a partir del tercer día de que se convierten en adultos y después de haber ocurrido un apareamiento; el diagrama correspondiente se observa en la figura III.2.6.

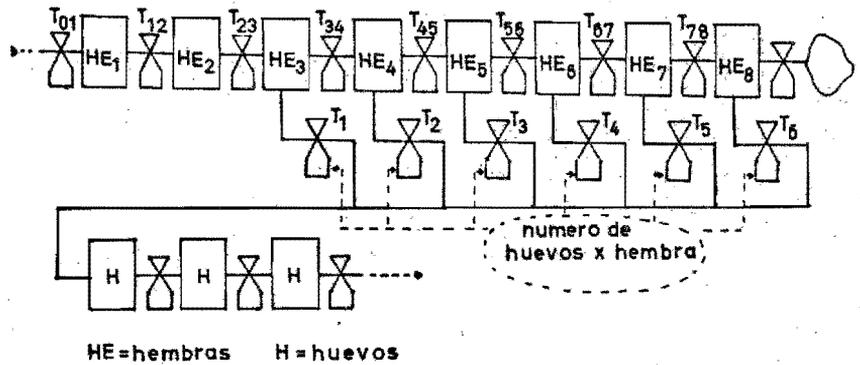


fig. III.2.6

Las tasas T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 y T_6 - serían las que están relacionadas con el primer nivel de los huevos. Es importante indicar que en este ejemplo es necesario introducir un factor que represente al número de huevos que una hembra es capaz de poner.

A continuación mostraremos un ejemplo sencillo, de lo anterior. El resultado obtenido se muestra en la figura III.2.7 en donde observamos los niveles de ovoposición y tiempo de eclosión, así como la suma de ambos para los histogramas de la figura III.2.8.

TIME	OVIP	TECLO	TOTAL
E+00	E+00	E+03	E+03
0,000	99,000	0,00	0,10
1,000	99,000	0,00	0,10
2,000	99,000	0,00	0,10
3,000	99,000	0,00	0,10
4,000	99,000	0,00	0,10
5,000	99,000	0,00	0,10
6,000	99,000	0,00	0,10
7,000	99,000	0,00	0,10
8,000	99,000	0,00	0,10
9,000	99,000	0,00	0,10
10,000	99,000	0,00	0,10
11,000	99,000	0,00	0,10
12,000	99,000	0,00	0,10
13,000	99,000	0,00	0,10
14,000	99,000	0,00	0,10
15,000	79,200	59,40	59,48
16,000	29,700	207,90	207,93
17,000	0,000	297,00	297,00
18,000	0,000	297,00	297,00
19,000	0,000	297,00	297,00
20,000	0,000	297,00	297,00

TIME	OVIP	TECLO	TOTAL
E+00	E+00	E+03	E+03
0,000	99,000	0,00	0,10
1,000	99,000	0,00	0,10
2,000	99,000	0,00	0,10
3,000	99,000	0,00	0,10
4,000	99,000	0,00	0,10
5,000	99,000	0,00	0,10
6,000	99,000	0,00	0,10
7,000	99,000	0,00	0,10
8,000	99,000	0,00	0,10
9,000	99,000	0,00	0,10
10,000	99,000	0,00	0,10
11,000	99,000	0,00	0,10
12,000	99,000	0,00	0,10
13,000	99,000	0,00	0,10
14,000	79,200	59,40	59,48
15,000	29,700	207,90	207,93
16,000	0,000	297,00	297,00
17,000	0,000	297,00	297,00
18,000	0,000	297,00	297,00
19,000	0,000	297,00	297,00
20,000	0,000	297,00	297,00

Fig. III. 2.7

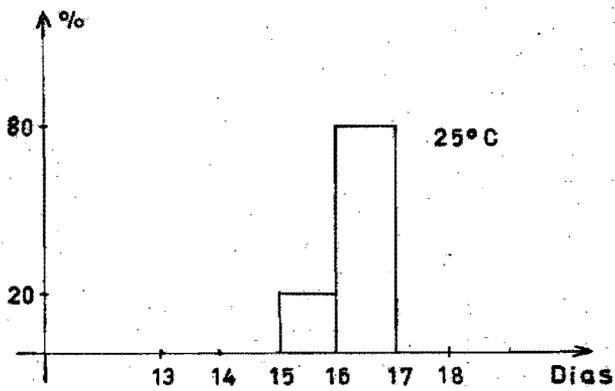
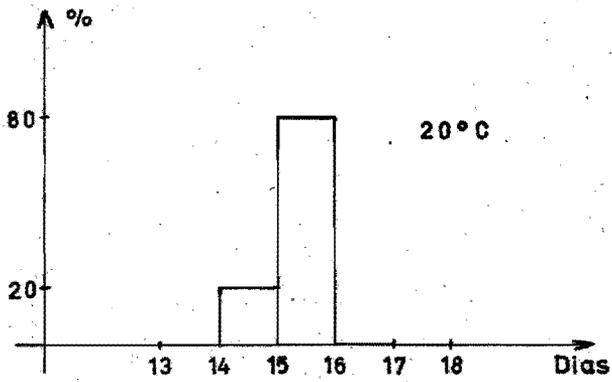


fig.III.2.8

Se ha supuesto que el 100% de las hembras serán capaces de poner huevos y que ninguna es estéril. T_1 será la probabilidad de que el número total de hembras ponga un cierto porcentaje de huevos en el tercer día que al ser multiplicada por el número de huevos que pone una hembra, dará como resultado el número de huevos puestos ese día. La forma de definir las siguientes tasas no será igual que la anterior, ya que se definió que pasaría al nivel de huevos, un porcentaje de la población inicial de hembras definidas por el histograma antes mencionado. Así para nuestro caso T_2 sería igual al 20% del número inicial de hembras ($HE_1 = HE_2 = HE_3$) pero como $T_1 = .1HE_3$, $HE_4 = .9HE_3$, $T_2 = .2HE_3$ en función de HE_4 , tendremos $T_2 = \frac{.2}{.9}$ y T_{45} sería igual a $1 - \frac{.2}{.9}$ y así se continuaría de la misma forma para obtener las tasas restantes.

De acuerdo a lo anterior se conclu-

yó que era necesario definir una tabla - por cada nivel, en donde se tendría la - relación de las tasas de paso de estado. La ventaja que se obtuvo es que con una sola tarjeta correspondiente a la temperatura era posible observar sus diferentes efectos sobre la población.

En el estado de oviposición se supuso, unas condiciones iniciales de 99 hembras, las cuales empiezan a ovipositar - hasta el 14^o día de acuerdo al primer - histograma, tomado a una temperatura de 20^oC, en el segundo histograma a 25^oC de temperatura, las hembras comienzan a ovipositar hasta el 15^o día. En el estudio de tiempo de eclosión, la población es igual a $99 \times 3000 = 297 \times 10^3$ debido a -- que cada hembra pone 3000 huevos. Con - esto logramos simular el efecto de la - temperatura.

En forma similar podremos simular - los diferentes efectos sobre los diferentes estados de la garrapata ocasionados

por la temperatura, humedad, vegetación, etc. Una vez establecido lo anterior sería poco práctico valorarlos en forma arbitraria por lo que reservaremos estos efectos para la aplicación directa de nuestro modelo al problema real del sistema garrapata - bovino, lo cual se analizará en el siguiente capítulo.

III.3.B MODELO MATRICIAL MODIFICADO

Dado que, como ya lo hicimos notar en un capítulo anterior, los modelos basados en matrices son de fácil manejo en una computadora digital, decidimos implementar un pequeño programa que nos permitiera simular el crecimiento de una población de garrapata.

Al método que aquí seguimos lo hemos llamado matricial modificado ya que éste no es más que una variación del que presentamos al final del capítulo II.

Su fundamento es que el producto matricial de $[A][N]$ nos da la población en el tiempo $T+1$, en donde $[A]$ es una $n \times n$ matriz cuyo primer renglón es la fecundidad

en cada etapa (F's) y sus elementos $a_{k,k-1}$ ($k=2,3,\dots,n$) son las probabilidades (P's) de pasar de una edad a la siguiente; y la $n \times 1$ matriz $[N]$ es el vector de población en el tiempo T. Como se puede ver la mayor parte de la matriz $[A]$ son sólo ceros.

Si se tiene el caso en el que forzosamente se pasa de un estado al siguiente durante un periodo ΔT , el modelo se podría reducir a un conjunto de vectores es decir, si:

$$\begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & \dots & F_n \\ P_{12} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P_{23} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_{n-1,n} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

podemos eliminar los ceros y obtener:

$$\begin{aligned} \bar{F} &= [F_1 \ F_2 \ F_3 \ \dots \ F_n] \\ \bar{P} &= [P_{12} \ P_{23} \ P_{34} \ \dots \ P_{n-1,n}] \\ & \quad [P_1 \ P_2 \ P_3 \ \dots \ P_m] \quad m=n-1 \end{aligned}$$

lo que representa una gran disminución en la memoria necesaria para el almacenamiento de dicha información.

Los problemas surgen cuando al hacer una descripción más detallada del ecosistema se toman períodos de tiempo menores, por lo que se obtiene una matriz [A] de dimensiones muy grandes y, con elementos no-cero diferentes a los antes citados. Estos nuevos elementos no-cero se deben a que al tomar un período de tiempo menor el ciclo de vida de la garrapata queda dividido en más partes, esto es, si inicialmente sólo se consideraban los estados de HUEVO, LARVA, NINFA, ADULTO, ahora debemos tomar en cuenta las subdivisiones de éstos, es decir, HUEVO, NEOLARVA, LARVA, METALARVA, NINFA, etc. los cuales tienen, generalmente, una duración de varios días, lo que implica las siguientes posibilidades:

- a).- seguir uno o varios días más en ese estado o,
- b).- pasar al estado siguiente o,
- c).- morir.

III.3.2 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

El programa realizado para la simulación fué codificado en ALGOL. Se le puede dividir en tres partes fundamentales:

- a).- programa principal
- b).- rutina de cálculos
- c).- rutina de impresión y graficación.

El programa principal tiene como función leer la duración máxima de cada subestado para dimensionar así todas las matrices y vectores necesarios. Además se encarga de leer los datos para la formación de tablas de "probabilidad de paso entre estados" y las de "fecundidad"; hace los llamados a las rutinas de cálculo y graficación y, efectúa el cálculo del valor de la temperatura, la cual puede variar según una de las tres siguientes formas:

- a).- aleatoriamente entre un valor mínimo y un valor máximo que se proporcionen,

b).- senoidalmente, también entre -
valores mínimo y máximo, con un
período y defasamiento propor-
cionados como datos o,

c).- de acuerdo con una tabla dada.

También efectúa la lectura de condi-
ciones iniciales, "tiempo" total de cál-
culo y graficación, intervalo entre pun-
tos e indicadores de salida.

El tiempo total de cálculo y grafi-
cación (TTCG) es el número de días simu-
lados. Los cálculos se realizan para ca-
da día pero sólo se imprimen y grafican
según la duración del intervalo (paso),
la que puede ser mayor o igual a 1 día.

Los indicadores de salida son pare-
jas de números que sirven para determi-
nar que variables se deben graficar. El
primer número indica el subestado y el
segundo la edad dentro de ese subestado.
Por ejemplo, si los subestados son: hue-
vo, larva, metalarva, ninfa, ... la pa-
reja 4,3 representa a las ninfas de 3
días.

La rutina de cálculo (PROCEDURE CALCULO) tiene por objeto determinar la can-
tidad de individuos en cada subestado, -
se divide en:

- a).- cálculo de subtotales,
- b).- cálculo de vectores de fecundi-
dad y probabilidad de paso se-
gún la temperatura.
- c).- cantidad de huevos en el primer
día,
- d).- individuos en el primer día de
cada subestado,
- e).- número de adultos y,
- f).- cálculo del rest de la población

Esta rutina crea dos archivos tempo-
rales en disco, en los que se almacenan -
los resultados (subtotales y variables de
salida).

La rutina de graficación (PROCEDURE
GRAFI) lee los archivos (FILSUB y FILSAL)
creados por el PROCEDURE CALCULO, deter-
mina un factor de escala apropiado, impr-
me y grafica los resultados.

```

100 BEGIN
200 FILE
300 UNDCRIND=DISK,MAXRECSIZE=14,BLOCKSIZE=14,TITLE="DATOS."),
400 COMCRIND=REUGTE,RYUSE=10),
500 CINCOCRIND=PRINTER),
600 DISTEFCRIND=DISK,MAXRECSIZE=14,BLOCKSIZE=420),
700 FILSALCRIND=DISK,MAXRECSIZE=22,BLOCKSIZE=220),
800 FILSUBCRIND=DISK,MAXRECSIZE=22,BLOCKSIZE=220);
900 FORMAT F5(*C10E13.4), F6(6E13.4)
1000 REAL MAXIM,LIMIT;
1100 ARRAY LETRERC(0:13);
1200 INTEGER TOTD1;
1300 ARRAY MINMAX(1:11,1:2),SALIDAS(1:6);
1400 INTEGER TOT,1,NETAPAS,TICG,PASO,K,J,M,LSUSU,LSUSA;
1500 REAL FT,TMIN,TMAX,PERIODO,DEFA,SFMT,TFHP;
1600
1700 % LECTURA DE DURACIONES MAXIMA Y MINIMA %
1800 READ(COHO,/,MINMAX(1,*));
1900 TOT1=MINMAX(1,2);
2000 FOR I=2 STEP 1 WHILE
2100 (I LSS 12) AND (MINMAX(I,2) NEQ 0) DO
2200 BEGIN
2300 READ(COHO,/,MINMAX(I,*));
2400 TOT1=**+MINMAX(I,2);
2500 END;
2600 TOTD1:=TOT DIV 13;
2700 IF TOT MOD 13 NEQ 0 THEN TOTD1:=**+1;
2800 NETAPAS:=1-2;
2900 LSUSU:=NETAPAS+1;
3000
3100 BEGIN
3200 ARRAY PCB1,PCB2,FEC,PROB(1:TOT1),SUBTOT(1:NETAPAS+1),LSP(1:NETAPAS),
3300 TABFECH(MINMAX(NETAPAS,1):MINMAX(NETAPAS,2):-1:10),
3400 TABPRJ(1:TOT,-1:10),LIMSUP(1:NETAPAS);
3500
3600 PROCEDURE CALCULO(ARR1,ARR2);
3700 ARRAY ARR1,ARR2(1);
3800 BEGIN
3900 % CALCULO DE SUBTTALES %
4000 FOR J:=1 STEP 1 UNTIL NETAPAS+1 DO SUBTOT(J):=0;
4100 NI:=0;
4200 FOR J:=1 STEP 1 UNTIL NETAPAS DO
4300 BEGIN
4400 FOR K:=M+1 STEP 1 UNTIL LIMSUP(J) DO
4500 SUBTOT(J):=**+ARR1(K);
4600 NI:=LIMSUP(J);
4700 END;
4800 % PARA REG
4900 LIMITE:=0;
5000 FOR J:=LIMSUP(2)+1 STEP 1 UNTIL LIMSUP(5) DO
5100 LIMITE:=**+ARR1(J);
5200
5300 FOR J:=3 % ESCRITURA DE SUBTTALES %
5400 STEP 1 UNTIL NETAPAS-1 DO
5500 SUBTOT(NETAPAS+1):=**+SUBTOT(J);
5600 IF (I MOD PASO) EQL 0 THEN
5700 WRITE(CILSUB,F5,TOTD1,SUBTOT);
5800 % CALCULO DE VECTORES DE FEC. Y PROB. Y CANTIDAD DE HUEVOS FN %

```



```

12000 IF K GTR 1 THEN PDB2(IJ):=**+LIMSUP(K-1);
12100 END;
12200 READ(CUNO,/,FOR J:=1 STEP 1 UNTIL I DO PDB1(PDB2(J)));
12300
12400 READ(CUNO,/,LECTURA DE INDICADORES DE SALIDA %
12500 READ(CUNO,/,I,SALIDAS(I)); %
12600 KI:=0;
12700 IF I NEQ 1 THEN
12800 FOR J:=1 STEP 1 UNTIL I-1 DO
12900 KI:=+MINMAX(J,2);
13000 SALIDAS(I):=+K;
13100 FOR M:=2 STEP 1 WHILE
13200 (M LEQ 6) AND (SALIDAS(M-1) NEQ 0) DO
13300 BEGIN
13400 KI:=0;
13500 READ(CUNO,/,I,SALIDAS(M));
13600 IF M GTR 1 THEN
13700 FOR J:=1 STEP 1 UNTIL I-1 DO
13800 KI:=+MINMAX(J,2);
13900 SALIDAS(M):=+K;
14000 END;
14100
14200 LSUSA:=0;
14300 FOR I:=1 STEP 1 WHILE (I LEQ 6) AND (SALIDAS(I) NEQ 0) DO
14400 [LSUSA:=+I;
14500 % LECTURA DE TABLAS DE FEC. Y PROB. %
14600 FOR J:=MINMAX(I,NETAPAS,1) STEP 1 UNTIL MINMAX(I,NETAPAS,2) DO %
14700 READ(CUNO,/,TABFEC(I,J)); %
14800 KI:=0;
14900 FOR I:=1 STEP 1 UNTIL NETAPAS-1 DO
15000 BEGIN
15100 FOR J:=K+MINMAX(I,1) STEP 1 UNTIL MINMAX(I,2)+K DO
15200 READ(CUNO,/,TABPROB(I,J));
15300 KI:=+MINMAX(I,2);
15400 END;
15500
15600 % FORMA DE VARIACION DE LA TEMPERATURA %
15700 WHILE NOT READ(CCON,14,LETRERO) DO %
15800 WRITE(CCON,14,LETRERO);
15900 READ(CUNO,<A3>,FT);
16000 WRITE(CCON,<A3>,FT);
16100 IF FT EQL "RAN" THEN
16200 BEGIN
16300 FT:=1;
16400 READ(CUNO,/,THIN,TMAX);
16500 WRITE(CCON,<TMAX = ",F6.2,X5,"THIN = ",F6.2>,TMAX,TMIN);
16600 END ELSE
16700 IF FT EQL "SEN" THEN
16800 BEGIN
16900 FT:=2;
17000 READ(CUNO,/,THIN,TMAX,PERIODO,DEFA);
17100 WRITE(CCON,<TMAX = ",F6.2,X5,"THIN = ",F6.2,X5,"PERIODO = ",F6.2,X5,
17200 DEFA = ",F6.2>,TMAX,THIN,PERIODO,DEFA);
17300 END ELSE
17400 BEGIN
17500 FT:=3;
17600 THRU TTCC DO
17700 BEGIN
17800 READ(CUNO,/,TMIN);
17900 WRITE(CCON,/,TMIN);
18000 END;

```

```

18100 REWIND(DISTEN);
18200 END;
18300
18400 % PRG. PRINC.
18500 SEMI:=TIME(4);
18600 DEFA:=ARCSIN(DEFA);
18700 TMAX:=TMAX*TIMIN;
18800 FOR I:=1 STEP 1 UNTIL TTCG DO
18900 BEGIN
19000 CASE FT OF BEGIN ;
19100 TEMP:=TIMIN+TMAX*RANDOM(SEMI);
19200 TEMP:=TIMIN+(TMAX/2)*(1+SIN(6.2832/PERIOD0*I+DEFA));
19300 READ(DISTEN,TEMP);
19400 END CASE;
19500 CASE (I MOD 2) OF BEGIN
19600 CALCULO(POB2,POB1);
19700 CALCULO(POB1,POB2);
19800 END CASE;
19900 END;
20000 END;
20100
20200 REWIND(FILSUB); REWIND(FILSAL);
20300 BEGIN
20400 PROCEDURE GRAFI(LSU,ARCHI);
20500 VALUE LSU,ARCHI; INTEGER LSU,ARCHI;
20600 BEGIN
20700 FILE ESCR(KIND=PRINTER), ESC2(KIND=PRINTER);
20800 SWITCH FORMAT SWE1=F5,F6;
20900 SWITCH FILE SFI1=FILSUB,FILSAL;
21000 INTEGER ULTI;
21100 READC(FIARCHI,/,TIMIN); ULTI:=SFI1ARCHI1.LASTRECORD;
21200 REWIND(CFIARCHI);
21300 BEGIN
21400 ARRAY CONTEK(ULTI+1,LSU),MAXX(1:LSU),GRAF(0:16);
21500 LIST LUND(1:ULDI),CONTEK(*), LDOST(CONTEK,*);
21600 SWITCH LIST SLI:=LUND,LDOS;
21700 EBCDIC ARRAY LETR(1:12);
21800 POINTER PGR;
21900 REPLACE LETR BY "ABCDEFGHIJKL" ;
22000 PGR:=POINTER(GRAF);
22100 FOR J:=1 STEP 1 UNTIL LSU DO MAXX(J):=0;
22200 KT:=0;
22300 WHILE NOT READ(SFI1ARCHI),SWFIARCHI,SLI(ARCHI) DO
22400 BEGIN
22500 FOR J:=3 STEP 1 UNTIL LSU DO
22600 BEGIN IF CONTEK(J) LSS 1.0 THEN CONTEK(J):=0;
22700 IF MAXX(J) LSS CONTEK(J) THEN
22800 MAXX(J):=CONTEK(J);
22900 END;
23000 MAXIM:=0;
23100 FOR J:=1 STEP 1 UNTIL LSU DO
23200 IF MAXIM LSS MAXX(J) THEN MAXIM:=MAXX(J);
23300 IF K LSS ULTI THEN
23400 K:=K+1;
23500 END;
23600 FOR I:=0 STEP 1 UNTIL ULTI DO
23700 BEGIN
23800 REPLACE PGR BY "X" FOR 1, " " FOR 100;
23900 FOR J:=3 STEP 1 UNTIL LSU DO
24000 REPLACE PGR+(CONTEK(J)/MAXIM*100) BY LETR(J) FOR 1;
24100 WRITE(ESCR,415,X2,A10Y,I*PASO,PGR);

```

```

00018100
00018200
00018300
00018400
00018500
00018600
00018700
00018800
00018900
00019000
00019100
00019200
00019300
00019400
00019500
00019600
00019700
00019800
00019900
00020000
00020100
00020200
00020300
00020400
00020500
00020600
00020700
00020800
00020900
00021000
00021100
00021200
00021300
00021400
00021500
00021600
00021700
00021800
00021900
00022000
00022100
00022200
00022300
00022400
00022500
00022600
00022700
00022800
00022900
00023000
00023100
00023200
00023300
00023400
00023500
00023600
00023700
00023800
00023900
00024000
00024100

```

```
24200 WRITE(ESC2,215,*(E11.4,X1)>>I*PASO*LSU*CONTE[I,*]);
24300 END;
24400 END;
24500 END GNAFI ;
24600 GRAFI(LSUSU,G);
24700 GRAFI(LSUSA,I);
24800 END;
24900 END.
```

```
00024200
00024300
00024400
00024500
00024600
00024700
00024800
00024900
```

IV

Aplicación de los Modelos en Casos Reales

CAPITULO I V

- 1) Aplicación del Simulador DYNAMO
- 2) Aplicación del Modelo Matricial Modificado

I V

En este capítulo enfocaremos nuestros esfuerzos al estudio del comportamiento real de la garrapata. El primer problema fue conseguir toda la información disponible en nuestro país, acerca del *Boophilus microplus*. Adquirida tal información a través de la Campaña Nacional contra la Garrapata, se realizó un plan general que sirviera de guía al desarrollo de nuestro modelo, -- basado en los trabajos experimentales realizados por esta Campaña donde se estudiaron diferentes aspectos del comportamiento de esta especie, -- principalmente en condiciones controladas.

IV.1. APLICACION DEL SIMULADOR DYNAMO

Para lograr un mejor entendimiento del modelo, explicaremos cada estado independientemente y, posteriormente, la forma en que se desarrolló la codificación, para lo cual nos basaremos en el diagrama de la figura III.2.4.

OVIPOSICION.

El estado de oviposición, el cual comprende el intervalo que media entre el comienzo y el fin de la puesta, tiene como período máximo 21 días, pero debido a que en el 17° día ya ocurrió el 99% de la puesta, se escogió a este número como el máximo de niveles en este estado. Lo anterior se hizo con el fin de disminuir el número de niveles y de esta manera ahorrar tiempo y memoria en la computadora y ocupar menos tarjetas, así se facilita el manejo de éstas y se disminuye el trabajo de perforación.

La duración de esta fase o estado disminuye al aumentar la temperatura. Se encontró que la curva representativa de esta relación (fig. IV.1.1) es una exponencial decreciente.

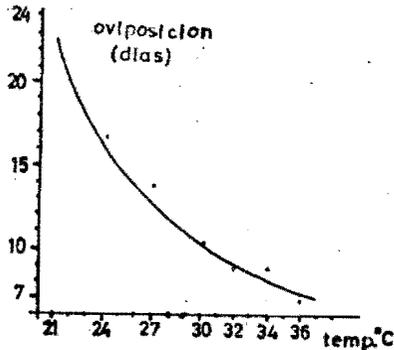


fig. IV.1.1

La distribución de los huevos a lo largo de la puesta sigue como los ixódidos un patrón común. Como se representa en los histogramas obtenidos (fig. IV.2). Es de notar que a medida que la temperatura aumente, el número de columnas disminuye, siendo su altura mayor; también observamos que el día de máxima puesta se presenta más precozmente cuando la temperatura se eleva.

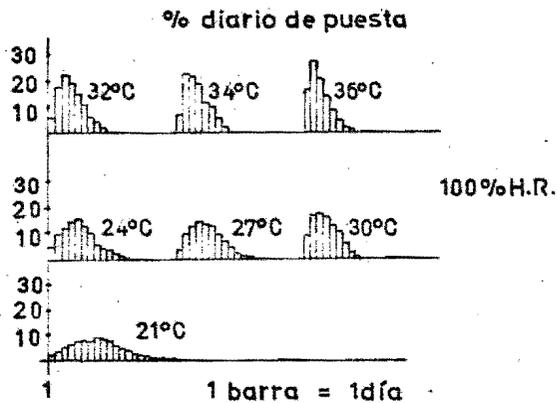


fig. IV.1.2

Por otro lado, la acumulación de huevos se produce rápidamente a medida que la temperatura alcanza valores supe-

riores (fig. IV.1.3).

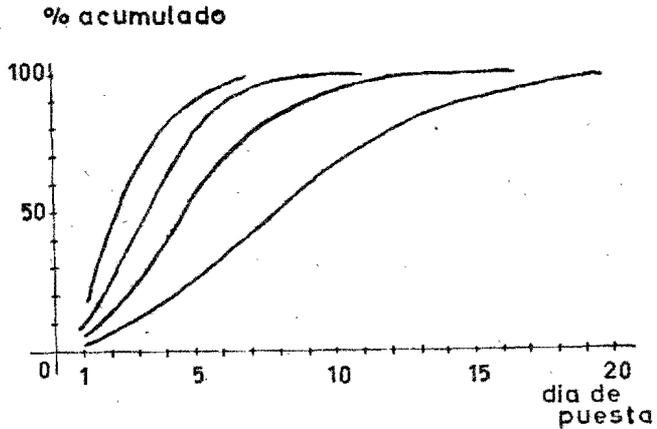


fig. IV.1.3

Se intentó encontrar una relación entre el peso inicial de las garrapatas y el tiempo de puesta, pero los resultados obtenidos no fueron significativos.

Una relación importante para la realización del modelo, es estudiar si el peso medio de los huevos varía o no en relación con la temperatura, o con el día de puesta, ya que el número de huevos se determina en la mayoría de los casos utilizando el peso medio como índice de conver

sión; relacionado con lo anterior se encontró que una garrapata pone 3000 huevos en promedio.

Gracias a lo anterior se encontraron los valores de las tasas que relacionan el estado de oviposición con el tiempo de eclosión. Estas tasas se encontraron en forma de probabilidad y como se explicó en el capítulo anterior.

TIEMPO DE ECLOSION.

Le damos este nombre al lapso entre la puesta de los huevos y su completa transformación en larva.

El tiempo mínimo de eclosión varió siguiendo una recta con una pendiente negativa de 24 a 34°C mientras que de 34 a 36°C está representado por una recta con pendiente positiva como se muestra en la figura IV.1.4:

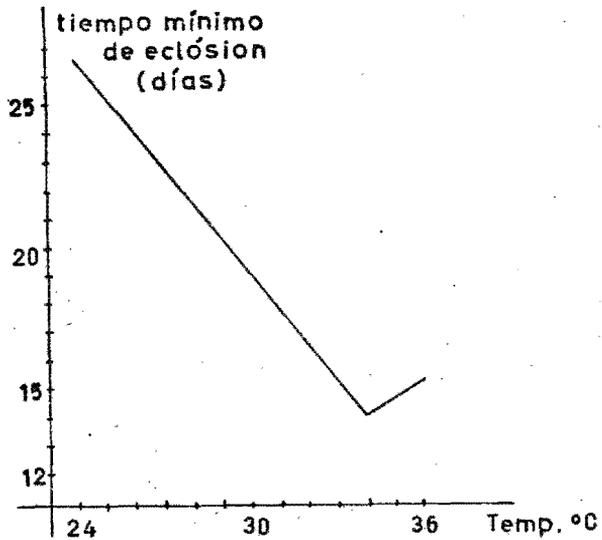


fig. IV.1.4

Los datos experimentales mostraron - que el tiempo mínimo de eclosión varía de acuerdo con el día en que fueron ovipositados los huevos, como se muestra en las siguientes tres curvas características -- (fig. IV.1.5), en donde se observa que existe una primera porción en la cual los tiempos de eclosión disminuyen linealmente, seguida de una etapa también lineal - pero de pendiente cero y la parte final -

de la curva que tiende a inclinarse hacia arriba:

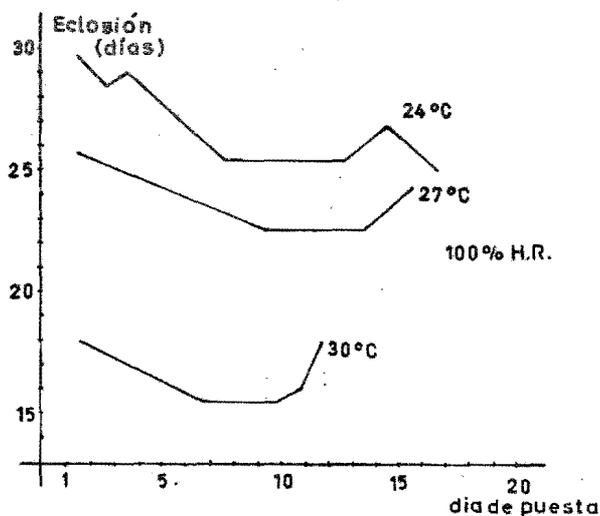


fig. IV.1.5

Otro dato de interés es que el tiempo mínimo de eclosión no se correlaciona con el peso inicial de la garrapata.

La fertilidad es otro factor que es necesario tomar en cuenta, por consiguiente se estudió el porcentaje de los huevos puestos cada día que son capaces de dar lugar a una larva. Dicho estudio se realizó a diferentes temperaturas. En la fi

gura IV.1.6, se muestra la relación entre la temperatura y la fertilidad.

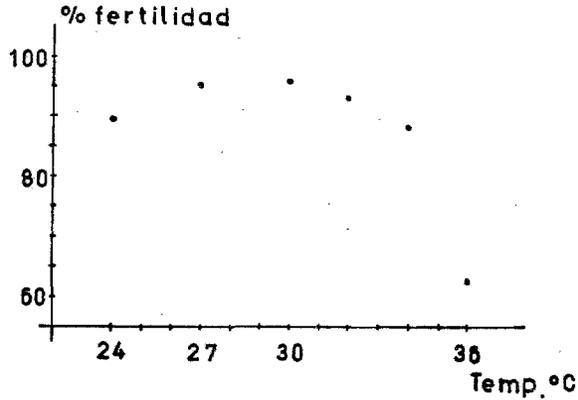


fig. IV.1.6

En esta figura se ve que de 24 a 34°C la fertilidad fue alta, por encima de -- 85%; además no se encontraron diferencias significativas en relación con el día de puesta. A 36°C, el porcentaje de fertilidad está por debajo de 70% a esta temperatura se observa que la fertilidad es alta en los tres primeros días de la puesta, -- (alrededor del 90%), disminuyendo marcada

damente en días posteriores. En el caso de la humedad relativa no se encontraron datos críticos, ya que se observó que aún a 45% de humedad relativa la fertilidad - se mantiene alta.

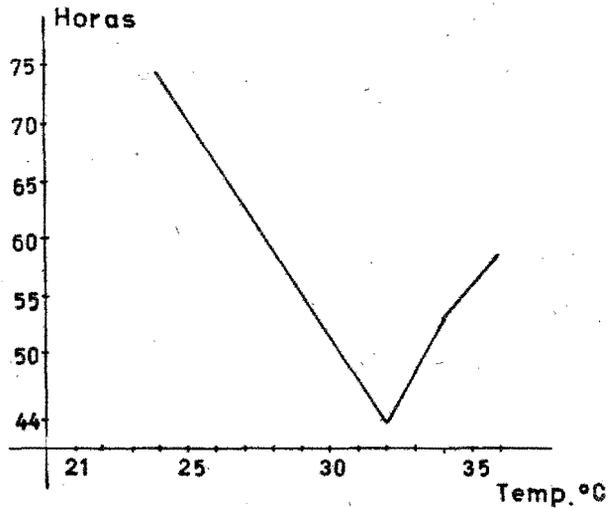


fig. IV.1.7

NEO - LARVA.

Este estado comprende el lapso entre el primer día de nacimiento y el momento en el que se convierte en larva infestante. Se encontró que el promedio de vida es de aproximadamente 6 días. La neo - -

larva presenta un geotropismo negativo -- del segundo al cuarto día después de la e closión, notándose que son escasas, las - que lo pueden mostrar. Otro dato de inte-rés es que la mayor parte de neo - larvas mueren a los pocos días de nacidas.

FASE PARASITARIA.

La fase parasitaria comprende los es-tados de larva infestante, ninfa infestan-te y adulto. Los datos sobre la fase pa-rasitaria de *Boophilus microplus* no se -- pueden considerar como definitivos, ya -- que el número de observaciones es aun in-suficiente. De todos modos consideramos de interés hablar de alguno de ellos.

TABLA I

Cambio de estado	X	S	N
Larva - ninfa	6.45	0.76	20
Ninfa - adulto	8.11	0.99	13
Larva - adulto	14.56	1.25	18

Donde X media de la duración en días,

S, desviación típica, N, tamaño de la muestra.

En la fase parasitaria la sobrepoblación es un factor importante ya que en un nivel superior de 200 garrapatas por vaca, éstas no encuentran lugar donde hospedarse ya que la mayoría de los lugares posibles para hacerlo se encuentran ocupados y por lo tanto, mueren las restantes. Además se encontró que el número máximo de garrapatas, que no afecta al ganado, es de 100 garrapatas por vaca. Por arriba de ese número ésta empezará a enfermar pudiendo morir por consecuencia.

PREOVIPOSICION.

La preoviposición o protoquia es la fase que media entre la repleción de la hembra, seguida por la separación del hospedero y el comienzo de la puesta. Este periodo varía en dependencia de la temperatura existente durante este estado como se muestra en la fig. IV.1.7.

CODIFICACION

En el estado de oviposición, H1, H2, H3, - H4, H5, H6, H7, H8, H9, HA, HB, HC, HD, HE, HG, HH, representan el número de niveles correspondiente a este estado, cada uno con sus respectivas condiciones iniciales.

TPO es la suma de las tasas de paso de estado (OP1, OP2, OP3, OP4, OP5), entre el estado de pre-oviposición y el de oviposición.

Cada nivel tiene una tasa de paso de estado, una de mortandad y una de paso de vida; las dos primeras corresponden a T1, T2, T3, etc. y la última a T12, T23, etc.

A la tasa de paso de estado la definimos como la probabilidad de que la población (en el nivel que ella actúa), pase a otro estado y para esto nos auxiliamos del uso de tablas, ya que ésta no permanece constante con la variación de temperatura. Se utilizó un rango de temperaturas - entre 19 y 37°C porque entre estas dos existe el mayor número de datos experimentales.

Las variables VEG, PRED, INS, MOM, RET que se incluyen en la tasa de paso de estado, corresponden a la influencia de variables como vegetación, predadores, insecticidas, humedad, etc., y en este caso específico, intervienen en forma de producto ya que se considera que son independientes una de otra. En el caso que fueran dependientes sería necesario aplicar la teoría de la probabilidad para encontrar dichas relaciones. En este estado se consideró que no existía mortalidad ya que su nivel es bastante bajo, sin embargo es posible simular esta variable, simplemente considerando que la población total que va a pasar de estado será de un cierto porcentaje y no de 100% como se considera en este caso.

Ecloción : aquí como en el caso de oviposición, los niveles están indicados con su nombre: "TIEMPO DE ECLOSION". En este estado, la variable que se introdujo fue (HUEV), la cual significa el número de huevos promedio que pone una hembra, que puede ser variable o constante. Como variable se puede tomar una distribución estadística utilizando la función llamada NORM que el simulador DYNASO nos facilita, para utili -

zarla sólo es necesario conocer la media y la -- desviación típica del fenómeno que se está estudiando.

La estructura general de este estado permanece en la misma forma que el anterior.

En el estado de neo-larva se simuló la tendencia de no presentar geotropismo negativo. -- Se supuso que unicamente pasarían el 30% de la - población al estado siguiente. La tabla se en - contró de la manera siguiente:

Existen 6 niveles por lo que si la tasa es constante para todos los días, cada día pasarán el 5% de la población inicial. Así $T1NO = .05$ - $T2NO = .053$, $T3NO = .0556$, $T4NO = .058$ - - - $T5NO = .062$, $T6NO = .0658$, obtenidas tal y como se explicó en el capítulo anterior.

En el estado de "larva infestante" se introdujo el fenómeno de mortandad debido a la sobrepoblación. Para explicar esto y para lograr una mejor comprensión, haremos el análisis del nivel H6LI que representa al nivel 6 del estado de larva infestante. La codificación de este nivel es:

$T6LI.KL = (TFPLI.K) (H6LI.K)$
 $TFPLE.K = SOBRE6.K + NI6.K$
 $NI6.K = BIM6.K - ZOL6.K$
 $ZOL6.K = (TFPLIS.K) (SOBRE6.K)$
 $SOBRE6.K = TABHL (SOB6, H6LI.K, 0, 1000, 100)$
 $SOB6 = 0/0/0/.33/.5/.6/.5/.43/.375/.8/.8$
 $TFPLIS = TABLE (TULI, T.K, 19, 37, 3)$
 $TULI = .2/.2/.2/.2/.625/.625/.625$
 $T67LI.KL = H6LI.K - FYWZ.K$
 $FYWZ.K = (TFPLI.K) (H6LI.K)$

donde:

T6LI es la tasa que define mortandad y pa--
so de estado.

TFPLI es la probabilidad correspondiente al
paso de estado y mortandad.

SOBRE6 es la probabilidad de que exista mor-
tandad debida a la sobreproducción y se define --
con una tabla llamada TABHL la cual extrapola pa-
ra valores definidos dentro del límite de la ta-
bla.

TFPLIS es la probabilidad de que se pase a
otro estado en un día determinado, en este caso
corresponde al 6^o día. Aquí sólo se hizo depen-
diente de la temperatura.

TFPLIS, igual a la probabilidad de que muera

la población más la probabilidad de que pase a otro estado, dependiendo ésta de la anterior de la siguiente forma:

Probabilidad de paso de vida igual a la probabilidad de paso de vida anterior (1 - probabilidad de mortandad) y quedó en la codificación - como:

$$NI6.K = BIM6.K - ZOL6.K$$

$$BIM6.K = TFLLIS.K$$

$$ZOL6.K = (TFLLIS.K) (SOBRE6.K)$$

BURROUGHS B6700/B7700 DYNAMD LEVEL DYN454: 9/ 8/76

INPUT PHASE BEGIN AT 8148 39

DYNAMD NOZIP
RUN 1

H1.K=H1.J+(DT)(TPD.JK-T12.JK-T1.JK) QVIPOSICION
TPD.KL=OP1.K+OP2.K+OP3.K+OP4.K+OP5.K
OP1.K=(TAA1PD.K)(H1PD.K)
OP2.K=(TBBPD.K)(H2PD.K)
OP3.K=(TCCPD.K)(H3PD.K)
OP4.K=(TDDPD.K)(H4PD.K)
OP5.K=(TEEPD.K)(H5PD.K)
H2.K=H2.J+(DT)(T12.JK-T23.JK-T2.JK) QVIPOSICION
H3.K=H3.J+(DT)(T23.JK-T34.JK-T3.JK) QVIPOSICION
H4.K=H4.J+(DT)(T34.JK-T45.JK-T4.JK) QVIPOSICION
H5.K=H5.J+(DT)(T45.JK-T56.JK-T5.JK) QVIPOSICION
H6.K=H6.J+(DT)(T56.JK-T67.JK-T6.JK) QVIPOSICION
H7.K=H7.J+(DT)(T67.JK-T78.JK-T7.JK) QVIPOSICION
H8.K=H8.J+(DT)(T78.JK-T89.JK-T8.JK) QVIPOSICION
H9.K=H9.J+(DT)(T89.JK-T9A.JK-T9.JK) QVIPOSICION
HA.K=HA.J+(DT)(T9A.JK-TAB.JK-TA.JK) QVIPOSICION
HB.K=HB.J+(DT)(TAB.JK-TBC.JK-TB.JK) QVIPOSICION
HC.K=HC.J+(DT)(TBC.JK-TCD.JK-TC.JK) QVIPOSICION
HD.K=HD.J+(DT)(TCD.JK-TDE.JK-TD.JK) QVIPOSICION
HE.K=HE.J+(DT)(TDE.JK-TFE.JK-TE.JK) QVIPOSICION
HF.K=HF.J+(DT)(TFE.JK-TFG.JK-TF.JK) QVIPOSICION
HG.K=HG.J+(DT)(TFG.JK-TGH.JK-TG.JK) QVIPOSICION
HH.K=HH.J+(DT)(TGH.JK-THI.JK-TH.JK) QVIPOSICION
H1=200
H2=0
H3=0
H4=0
H5=0
H6=0
H7=0
H8=0
H9=0
HA=0
HB=0
HC=0
HD=0
HE=0
HF=0
HG=0
HH=0
T1.KL=(TAA1.K)(H1.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MQM.K)(RET.K)
TA1.K=1
VEG.K=1
PRED.K=1
INS.K=1
MQM.K=1
RET.K=1
TAA1.K=TABLE(TZ,T.K,19,37,3)
TZ=*.01/.01/.01/.05/.05/.05/.05
T12.KL=H1.K-A.K
A.K=(TAA1.K)(H1.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MQM.K)(RET.K)
T2.KL=(TBB.K)(H2.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MQM.K)(RET.K)
TBB.K=TABLE(TY,T.K,19,37,3)

TY*=.02/.02/.02/.179/.179/.179/.179

T23.KL=H2.K=TWWW.K

TWWW.K=(TBB.K)(H2.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

T3.KL=(TCC.K)(H3.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TCC.K=TABLE(TX,T,K,19,37,3)

TX*=.03/.03/.03/.282/.282/.282/.282

T34.KL=H3.K=C.K

C.K=(TCC.K)(H3.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

T4.KL=(TDD.K)(H4.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TDD.K=TABLE(TW,T,K,19,37,3)

TW*=.04/.04/.04/.303/.303/.303/.303

T45.KL=H4.K=D.K

D.K=(TDD.K)(H4.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

T5.KL=(TEE.K)(H5.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TEE.K=TABLE(TV,T,K,19,37,3)

TV*=.06/.06/.06/.39/.39/.39/.39

T56.KL=H5.K=E.K

E.K=(TFE.K)(H5.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

T6.KL=(TFF.K)(H6.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TFF.K=TABLE(TU,T,K,19,37,3)

TU*=.09/.09/.09/.42/.42/.42/.42

T67.KL=H6.K=F.K

F.K=(TFF.K)(H6.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

T7.KL=(TGG.K)(H7.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TGG.K=TABLE(TT,T,K,19,37,3)

TT*=.11/.11/.11/.36/.36/.36/.36

T78.KL=H7.K=MA.K

MA.K=(TGG.K)(H7.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

T8.KL=(THH.K)(H8.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

THH.K=TABLE(TYY,T,K,19,37,3)

TYY*=.14/.14/.14/.45/.45/.45/.45

T89.KL=H8.K=MAAA.K

MAAA.K=(THH.K)(H8.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

T9.KL=(TII.K)(H9.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TII.K=TABLE(TI,T,K,19,37,3)

TI*=.18/.18/.18/.61/.61/.61/.61

T9A.KL=H9.K=I.K

I.K=(TII.K)(H9.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TA.KL=(TJJ.K)(HA.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TJJ.K=TABLE(TJ,T,K,19,37,3)

TJ*=.22/.22/.22/1/1/1/1

TAB.KL=HA.K=JJ.K

JJ.K=(TJJ.K)(HA.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TB.KL=(TMM.K)(HB.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TMM.K=TABLE(TM,T,K,19,37,3)

TM*=.24/.24/.24/1/1/1/1

TBC.KL=HB.K=MM.K

MM.K=(TMM.K)(HB.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TC.KL=(TNN.K)(HC.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TNN.K=TABLE(TN,T,K,19,37,3)

TN*=.28/.28/.28/1/1/1/1

TCD.KL=HC.K=NN.K

NN.K=(TNN.K)(HC.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TD.KL=(TOD.K)(HD.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TOD.K=TABLE(TO,T,K,19,37,3)

TO*=.29/.29/.29/1/1/1/1

TDE.KL=HD.K=OD.K

OD.K=(TOD.K)(HD.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TE.KL=(TPP.K)(HE.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TPP.K=TABLE(TP,T,K,19,37,3)

TP*=.34/.34/.34/1/1/1/1

TEF.KL=HE.K-PP.K

PP.K=(TPP.K)(HE.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TF.KL=(TQQ.K)(HF.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TQQ.K=TABLE(TQ,T,K,19,37,3)

TG*=.41/.41/.41/1/1/1/1

TFG.KL=HF.K-QQ.K

QQ.K=(TQQ.K)(HF.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TG.KL=(TRR.K)(HG.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TRR.K=TABLE(TR,T,K,19,37,3)

TR*=.52/.52/.52/1/1/1/1

TGH.KL=HG.K-RR.K

RR.K=(TRR.K)(HG.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TH.KL=(TSS.K)(HH.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

TSS.K=TABLE(TS,T,K,19,37,3)

TS* = 1/1/1/1/1/1/1

THI.KL=HH.K-SS.K

SS.K=(TSS.K)(HH.K)(TA1.K)(VEG.K)(PRED.K)(INS.K)(MOM.K)(RET.K)

QVIP.K=H1.K+H2.K+H3.K+H4.K+H5.K+H6.K+H7.K+H8.K+H9.K+HA.K+HB.K+HC.K

X

+HD.K+HE.K+HF.K+HG.K+HH.K

H1TE.K=H1TE.J+(DT)(TPOTE.JK-T12TE.JK-T1TE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

X

TPOTE.KL=ET1.K+ET2.K+ET3.K+ET4.K+ET5.K+ET6.K+ET7.K+ET8.K+ET9.K+ETA

.K+ETB.K+ETC.K+ETD.K+ETE.K+ETF.K+ETG.K+ETH.K

ET1.K=(TAA1.K)(H1.K)(HUEV.K)

ET2.K=(TBB.K)(H2.K)(HUEV.K)

ET3.K=(TCC.K)(H3.K)(HUEV.K)

ET4.K=(TDD.K)(H4.K)(HUEV.K)

ET5.K=(TEE.K)(H5.K)(HUEV.K)

ET6.K=(TFF.K)(H6.K)(HUEV.K)

ET7.K=(TGG.K)(H7.K)(HUEV.K)

ET8.K=(THH.K)(H8.K)(HUEV.K)

ET9.K=(THI.K)(H9.K)(HUEV.K)

ETA.K=(TJJ.K)(HA.K)(HUEV.K)

ETB.K=(TMM.K)(HB.K)(HUEV.K)

ETC.K=(TNN.K)(HC.K)(HUEV.K)

ETD.K=(TQQ.K)(HD.K)(HUEV.K)

ETE.K=(TPP.K)(HE.K)(HUEV.K)

ETF.K=(TQQ.K)(HF.K)(HUEV.K)

ETG.K=(TRR.K)(HG.K)(HUEV.K)

ETH.K=(TSS.K)(HH.K)(HUEV.K)

HUEV.K=3000

H2TE.K=H2TE.J+(DT)(T12TE.JK-T23TE.JK-T2TE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

H3TE.K=H3TE.J+(DT)(T23TE.JK-T34TE.JK-T3TE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

H4TE.K=H4TE.J+(DT)(T34TE.JK-T45TE.JK-T4TE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

H5TE.K=H5TE.J+(DT)(T45TE.JK-T56TE.JK-T5TE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

H6TE.K=H6TE.J+(DT)(T56TE.JK-T67TE.JK-T6TE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

H7TE.K=H7TE.J+(DT)(T67TE.JK-T78TE.JK-T7TE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

H8TE.K=H8TE.J+(DT)(T78TE.JK-T89TE.JK-T8TE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

H9TE.K=H9TE.J+(DT)(T89TE.JK-T9ATE.JK-T9TE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HATE.K=HATE.J+(DT)(T9ATE.JK-TABTE.JK-TATE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

H8TE.K=H8TE.J+(DT)(TABTE.JK-TBCTE.JK-TBTE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HCTE.K=HCTE.J+(DT)(TBCTE.JK-TCOTE.JK-TCTE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HDTE.K=HDTE.J+(DT)(TCOTE.JK-TDETE.JK-TDTE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HETE.K=HETE.J+(DT)(TDETE.JK-TEFTE.JK-TETE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HFTE.K=HFTE.J+(DT)(TEFTE.JK-TFGTE.JK-TFTE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HGTE.K=HGTE.J+(DT)(TFGTE.JK-TGHTe.JK-TGTE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HHTE.K=HHTE.J+(DT)(TGHTe.JK-THITE.JK-THTE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HITE.K=HITE.J+(DT)(THITE.JK-TIMTE.JK-TITE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HMTE.K=HMTE.J+(DT)(TIMTE.JK-TMNTe.JK-TMTE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

HNTE.K=HNTE.J+(DT)(TMNTe.JK-TNOTE.JK-TNTE.JK) TIEMPO DE ECLOSION

TOTE,K=TOTE,J+(DT)(TNOTE,JK=TOPTE,JK=TOTES,JK) TIEMPO DE ECLOSI
 TPTE,K=TPTE,J+(DT)(TOPTE,JK=TPQTE,JK=TPTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TQTE,K=TQTE,J+(DT)(TPQTE,JK=TQRTE,JK=TQTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TRTE,K=TRTE,J+(DT)(TQRTE,JK=TRSTE,JK=TRTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TSTE,K=TSTE,J+(DT)(TRSTE,JK=TSSTE,JK=TSSTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TTTE,K=TTTE,J+(DT)(TSSTE,JK=TTUTE,JK=TTTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TUTE,K=TUTE,J+(DT)(TTUTE,JK=TUVTE,JK=TUTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TVTE,K=TVTE,J+(DT)(TUVTE,JK=TVVTE,JK=TVTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TWTE,K=TWTE,J+(DT)(TVVTE,JK=TWXTE,JK=TWTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TXTE,K=TXTE,J+(DT)(TWXTE,JK=TXYTE,JK=XTTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TYTE,K=TYTE,J+(DT)(TXYTE,JK=TYZTE,JK=TYTES,JK) TIEMPO DE ECLOSION
 TZTE,K=TZTE,J+(DT)(TYZTE,JK=TYEATE,JK=TZTES,JK) ECLOSION
 TEATE,K=TEATE,J+(DT)(TYEATE,JK=TEABTE,JK=TEATES,JK) ECLOSION
 TEBTE,K=TEBTE,J+(DT)(TEABTE,JK=TEBECTE,JK=TEBTES,JK) ECLOSION
 TECTE,K=TECTE,J+(DT)(TEBECTE,JK=TECEDTE,JK=TECTES,JK) ECLOSION

H1TE=0
 H2TE=0
 H3TE=0
 H4TE=0
 H5TE=0
 H6TE=0
 H7TE=0
 H8TE=0
 H9TE=0
 HATE=0
 HBTE=0
 HCTE=0
 HDTE=0
 HETE=0
 HFTE=0
 HGTE=0
 HHTE=0
 HITE=0
 HMTE=0
 HNTE=0
 TOTE=0
 TPTE=0
 TQTE=0
 TRTE=0
 TSTE=0
 TTTE=0
 TUTE=0
 TVTE=0
 TWTE=0
 TXTE=0
 TYTE=0
 TZTE=0
 TEATE=0
 TEBTE=0
 TECTE=0

T1TE,KL=(TRA1TE,K)(H1TE,K)
 TAA1TE,K=TABLE(TZTEAS,T,K,19,37,3)
 TZTEAS*=0,0/0,0/0,0/0,0/0,0/0,0/0,0
 T12TE,KL=H1TE,K*ATE,K
 ATE,K=(TAA1TE,K)(H1TE,K)
 T2TE,KL=(TBBTE,K)(H2TE,K)
 TBBTE,K=TABLE(TYTEAS,T,K,19,37,3)
 TYTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
 T23TE,KL=H2TE,K*THWTE,K
 THWTE,K=(TBBTE,K)(H2TE,K)

T3TE.KL=(TCCTE.K)(H3TE.K)
TCCTE.K=TABLE(TXTEAS,T,K,19,37,3)
TXTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
T34TE.KL=H3TE.K=CTE.K
CTE.K=(TCCTE.K)(H3TE.K)
T4TE.KL=(TDDTE.K)(H4TE.K)
TDDTE.K=TABLE(TWTEAS,T,K,19,37,3)
TWTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
T45TE.KL=H4TE.K=DTE.K
DTE.K=(TDDTE.K)(H4TE.K)
T5TE.KL=(TEETE.K)(H5TE.K)
TEETE.K=TABLE(TVTEAS,T,K,19,37,3)
TVTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
T56TE.KL=H5TE.K=ETEM.K
ETEM.K=(TEETE.K)(H5TE.K)
T6TE.KL=(TFFTE.K)(H6TE.K)
TFFTE.K=TABLE(TUTEAS,T,K,19,37,3)
TUTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
T67TE.KL=H6TE.K=FTE.K
FTE.K=(TFFTE.K)(H6TE.K)
T7TE.KL=(TGGTE.K)(H7TE.K)
TGGTE.K=TABLE(TTTEAS,T,K,19,37,3)
TTTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
T78TE.KL=H7TE.K=MATE.K
MATE.K=(TGGTE.K)(H7TE.K)
T8TE.KL=(THHTE.K)(H8TE.K)
THHTE.K=TABLE(TYYTE,T,K,19,37,3)
TYYTE*=0/0/0/0/0/0/0
T89TE.KL=H8TE.K=MAAATE.K
MAAATE.K=(THHTE.K)(H8TE.K)
T9TE.KL=(TIITE.K)(H9TE.K)
TIITE.K=TABLE(TITEAS,T,K,19,37,3)
TITEAS*=0/0/0/0/0/0/0
T9ATE.KL=H9TE.K=ITE.K
ITE.K=(TIITE.K)(H9TE.K)
TATE.KL=(TJJTE.K)(HATE.K)
TJJTE.K=TABLE(TJTEAS,T,K,19,37,3)
TJTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
TABTE.KL=HATE.K=JJTE.K
JJTE.K=(TJJTE.K)(HATE.K)
T8TE.KL=(TMMTE.K)(HBTE.K)
TMMTE.K=TABLE(TMTEAS,T,K,19,37,3)
TMTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
TBCTE.KL=HBTE.K=MMTE.K
MMTE.K=(TMMTE.K)(HBTE.K)
TCCTE.KL=(TNNTE.K)(HCTE.K)
TNNTE.K=TABLE(TNTEAS,T,K,19,37,3)
TNTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
TCOTE.KL=HCTE.K=NNTE.K
NNTE.K=(TNNTE.K)(HCTE.K)
TDTE.KL=(TODTE.K)(HDTE.K)
TODTE.K=TABLE(TQTEAS,T,K,19,37,3)
TQTEAS*=0/0/0/0/0/0/0
TDETE.KL=HDTE.K=ODTE.K
ODTE.K=(TODTE.K)(HDTE.K)
TETE.KL=(TPPTE.K)(HETE.K)
TPPTE.K=TABLE(TPTEAS,T,K,19,37,3)
TPTEAS*=0/0/0/0/0/0/2/0
TEFTE.KL=HETE.K=PPTE.K
PPTE.K=(TPPTE.K)(HETE.K)

TFTE.KL=(TQQTE.K)(HFTE.K)
 TQOTE.K=TABLE(TQTEAS,T,K,19,37,3)
 TQTEAS*=0/0/0/0/0/.625/n
 TFGTE.KL=HFTE.K-QQTE.K
 QQTE.K=(TQQTE.K)(HFTE.K)
 TGTE.KL=(TRRTE.K)(HGTE.K)
 TRRTE.K=TABLE(TRTEAS,T,K,19,37,3)
 TRTEAS*=0/0/0/0/0/1/0
 YGHE.KL=HGTE.K-RRTE.K
 RRTE.K=(TRRTE.K)(HGTE.K)
 THTE.KL=(TSSTE.K)(HHETE.K)
 TSSTE.K=TABLE(TSTEAS,T,K,19,37,3)
 TSTEAS*=0/0/0/0/.2/1/.2
 THITE.KL=HHETE.K*SSSTE.K
 SSSTE.K=(TSSTE.K)(HHETE.K)
 TITE.KL=(TSSSTE.K)(HITF.K)
 TSSSTE.K=TABLE(TSTES,T,K,19,37,3)
 TES*=0/0/0/0/.625/1/.625
 TIMTE.KL=HITE.K-SSSSSTE.K
 SSSSTE.K=(TSSSTE.K)(HITE.K)
 TMTE.KL=(TACD.K)(HMTE.K)
 TACD.K=TABLE(TACDS,T,K,19,37,3)
 TACDS*=0/0/0/0/1/1/1
 TMNTE.KL=HMTE.K-MID.K
 MID.K=(TACD.K)(HMTE.K)
 TNTE.KL=(ROSCA.K)(HNTE.K)
 ROSCA.K=TABLE(ROSCAS,T,K,19,37,3)
 ROSCAS*=0/0/0/0/1/1/1
 TNOTE.KL=HNTE.K-TUYD.K
 TUYD.K=(ROSCA.K)(HNTE.K)
 TOTES.KL=(SILLA.K)(TOTE.K)
 SILLA.K=TABLE(SILLAS,T,K,19,37,3)
 SILLAS*=0/0/0/.2/1/1/1
 TOOTE.KL=TOTE.K-ELLOS.K
 ELLOS.K=(SILLA.K)(TOTE.K)
 TPTE.KL=(ZAR.K)(TPTE.K)
 ZAR.K=TABLE(ZARE,T,K,19,37,3)
 ZARE*=0/0/0/.625/1/1/1
 TPQTE.KL=TPTE.K-ELLO.K
 ELLO.K=(ZAR.K)(TPTE.K)
 TOTES.KL=(BURG.K)(TQTE.K)
 BURG.K=TABLE(BURGS,T,K,19,37,3)
 BURGS*=0/0/0/1/1/1/1
 TQRTE.KL=TQTE.K-MIS.K
 MIS.K=(BURG.K)(TQTE.K)
 TRTES.KL=(COMP.K)(TRTE.K)
 COMP.K=TABLE(COMPS,T,K,19,37,3)
 COMPS*=0/0/.2/1/1/1/1
 TRSTE.KL=TRTE.K-MISQ.K
 MISQ.K=(COMP.K)(TRTE.K)
 TSTES.KL=(TARJ.K)(TSTE.K)
 TARJ.K=TABLE(TARJEA,T,K,19,37,3)
 TARJEA*=0/0/.625/1/1/1/1
 TSTTE.KL=TSTE.K-SUS.K
 SUS.K=(PRE.K)(TSTE.K)
 TTITES.KL=(PRE.K)(TTITE.K)
 PRE.K=TABLE(PRES,T,K,19,37,3)
 PRES*=0/0/1/1/1/1/1
 TTUTE.KL=TTITE.K-MAR.K
 MAR.K=(PRE.K)(TTITE.K)

TUTES.KL=(SERR.K)(TUTE.K)
SERR.K=TABLE(SERRS,T,K,19,37,3)
SERRS*=0/0/1/1/1/1/1
TUVTE.KL=TUTE.K-RIO.K
RIO.K=(SERR.K)(TUTE.K)
TVTES.KL=(CABLE.K)(TVTE.K)
CABLE.K=TABLE(CABLES,T,K,19,37,3)
CABLES*=0/2/1/1/1/1/1
TVVTE.KL=TVTE.K-LLA.K
LLA.K=(CABLE.K)(TVTE.K)
TWTES.KL=(CIELO.K)(TWTE.K)
CIELO.K=TABLE(CIELOS,T,K,19,37,3)
CIELOS*=0/.625/1/1/1/1/1
TWXTE.KL=TWTE.K-CERO.K
CERO.K=(CIELO.K)(TWTE.K)
TXTES.KL=(CARL.K)(TXTE.K)
CARL.K=TABLE(CARLS,T,K,19,37,3)
CARLS*=0/1/1/1/1/1/1
TXYTE.KL=TXTE.K-CARLO.K
CARLO.K=(CARL.K)(TXTE.K)
TYTES.KL=(SOCI.K)(TYTE.K)
SOCI.K=TABLE(SOCIS,T,K,19,37,3)
SOCIS*=0/1/1/1/1/1/1
TYZTE.KL=TYTE.K-CHAM.K
CHAM.K=(SOCI.K)(TYTE.K)
TZTES.KL=(FORD.K)(TZTE.K)
FORD.K=TABLE(FORDS,T,K,19,37,3)
FORDS*=0/1/1/1/1/1/1
TYEATE.KL=TZTE.K-LIBR.K
LIBR.K=(FORD.K)(TZTE.K)
TEATES.KL=(YAYA.K)(TEATE.K)
YAYA.K=TABLE(YAYAS,T,K,19,37,3)
YAYAS*=.2/1/1/1/1/1/1
TEABTE.KL=TEATE.K-VENT.K
VENT.K=(YAYA.K)(TEATE.K)
TEBTES.KL=(PONT.K)(TEBTE.K)
PONT.K=TABLE(PONTO,T,K,19,37,3)
PONTO*=0.625/1/1/1/1/1/1
TEBECTf.KL=TEBTE.K-PONTON.K
PONTON.K=(PONT.K)(TEBTE.K)
TECTES.KL=(CAMIN.K)(TECTE.K)
CAMIN.K=TABLE(CAMI,T,K,19,37,3)
CAMI*=1/1/1/1/1/1/1
TECEDTE.KL=TECTE.K-ROSA.K
ROSA.K=(CAMIN.K)(TECTE.K)
TECLO.K=HITE.K+H2TE.K+H3TE.K+H4TE.K+H5TE.K+H6TE.K+H7TE.K+H8TE.K+H9
X TE.K+HATE.K+HBTE.K+HBTE.K+HCTE.K+HETE.K+HFTE.K+HGTE.K+HHTE.K+HITE.
X K+HMTE.K+HNTE.K+TOTE.K+TPTE.K+TOTE.K+TRTE.K+TSTE.K+TTTE.K+TUTE.K+T
X VTE.K+TWTE.K+TXTE.K+TYTE.K+TZTE.K+TEATE.K+TEBTE.K+TECTE.K
H1NO.K=H1NO.J+(DT)(PONO.K-T12NO.JK-T1NO.JK) — NEG LARVA
PONO.KL=TEA9.K+TEB9.K+TEC9.K+TED9.K+TEF9.K+TEG9.K+TEH9.K+TEI9.K+T
X EJ9.K+TEK9.K+TEL9.K+TEM9.K+TEN9.K+TED9.K+TEP9.K+TEQ9.K+TER9.K+TESW
X .K+TET9.K+TEU9.K+TEV9.K+TEW9.K+TEX9.K+TEY9.K+TEZ9.K+TA9.K+TB9.K+TC
X 9.K+TD9.K+TE9.K+TG9.K+TH9.K+TI9.K+TJ9.K+TK9.K
TEA9.K=(TAAITE.K)(HITE.K)
TEB9.K=(TBBTE.K)(H2TE.K)
TEC9.K=(TCCTE.K)(H3TE.K)
TED9.K=(TDDTE.K)(H4TE.K)
TEF9.K=(TEETE.K)(H5TE.K)
TEG9.K=(TFFTE.K)(H6TE.K)

TEH9.K=(TGGTE.K)(H7TE.K)
 TEI9.K=(THHTE.K)(H8TE.K)
 TEJ9.K=(TIIITE.K)(H9TE.K)
 TEK9.K=(TJJTE.K)(HATE.K)
 TEL9.K=(TMMTE.K)(HBTE.K)
 TEM9.K=(TNNTE.K)(HCTE.K)
 TEN9.K=(TOOTE.K)(HDETE.K)
 TED9.K=(TPPTE.K)(HETE.K)
 TEP9.K=(TQQTE.K)(HFTE.K)
 TEQ9.K=(TRRTE.K)(HGTE.K)
 TER9.K=(TSSSTE.K)(HHTE.K)
 TESW.K=(TSSSSTE.K)(HITE.K)
 TET9.K=(TACD.K)(HMTE.K)
 TEU9.K=(ROSCA.K)(HNTE.K)
 TEV9.K=(SILLA.K)(TOTE.K)
 TEW9.K=(ZAR.K)(TPTE.K)
 TEX9.K=(BURG.K)(TQTE.K)
 TEY9.K=(COMP.K)(TRTE.K)
 TEZ9.K=(TARJ.K)(TSTE.K)
 TAG.K=(PRE.K)(TTTE.K)
 TB9.K=(SERR.K)(TUTE.K)
 TC9.K=(CABLE.K)(TVTE.K)
 TD9.K=(CIELO.K)(TWTE.K)
 TE9.K=(CARL.K)(TXTE.K)
 TG9.K=(SOCL.K)(TYTE.K)
 TH9.K=(FORD.K)(TZTE.K)
 TI9.K=(YAYA.K)(TEATE.K)
 TJ9.K=(PONT.K)(TEBTE.K)
 TK9.K=(CAMIN.K)(TECTE.K)
 H2NO.K=H2NO.J+(DT)(T12NO.JK-T23NO.JK-T2NO.JK) NEO LARVA
 H3NO.K=H3NO.J+(DT)(T23NO.JK-T34NO.JK-T3NO.JK) NEO LARVA
 H4NO.K=H4NO.J+(DT)(T34NO.JK-T45NO.JK-T4NO.JK) NEO LARVA
 H5NO.K=H5NO.J+(DT)(T45NO.JK-T56NO.JK-T5NO.JK) NEO LARVA
 H6NO.K=H6NO.J+(DT)(T56NO.JK-T67NO.JK-T6NO.JK) NEO LARVA
 H1NO=0
 H2NO=0
 H3NO=0
 H4NO=0
 H5NO=0
 H6NO=0
 T1NO.KL=(TAA1NO.K)(H1NO.K)
 TAA1NO.K=TABLE(TZNO,T.K,19,37,3)
 TZNO*=.05/.05/.05/.05/.05/.05/.05
 T12NO.KL=H1NO.K-ANO.K
 ANO.K=(TAA1NO.K)(H1NO.K)
 T2NO.KL=(TBBNO.K)(H2NO.K)
 TBBNO.K=TABLE(TYNO,T.K,19,37,3)
 TYNO*=.053/.053/.053/.053/.053/.053/.053
 T23NO.KL=H2NO.K-TQQQNO.K
 TQQQNO.K=(TBBNO.K)(H2NO.K)
 T3NO.KL=(TCCNO.K)(H3NO.K)
 TCCNO.K=TABLE(TXNO,T.K,19,37,3)
 TXNO*=.0556/.0556/.0556/.0556/.0556/.0556
 T34NO.KL=H3NO.K-CNO.K
 CNO.K=(TCCNO.K)(H3NO.K)
 T4NO.KL=(TDDNO.K)(H4NO.K)
 TDDNO.K=TABLE(TWNO,T.K,19,37,3)
 TWNO*=.058/.058/.058/.058/.058/.058/.058
 T45NO.KL=H4NO.K-DNO.K
 DNO.K=(TDDNO.K)(H4NO.K)

T5NO.KL=(TEEND.K)(H5NO.K)
TEEND.K=TABLE(TVND,T.K,19,37,3)
TVND*=.062/.062/.062/.062/.062/.062
T5NO.KL=H5NO.K*ENO.K
ENO.K=(TEEND.K)(H5NO.K)
T6NO.KL=(TFFNO.K)(H6NO.K)
TFFNO.K=TABLE(TUNO,T.K,19,37,3)
TUNO*=.07/.07/.07/.07/.07/.07
T67NO.KL=H6NO.K*FNO.K
FNO.K=(TFFNO.K)(H6NO.K)
NEOL.K=H1NO.K+H2NO.K+H3NO.K+H4NO.K+H5NO.K+H6NO.K
H1LI.K=H1LI.J+(DT)(TPOLI.JK-T12LI.JK-T1LI.JK) LARVA INFESTANTE
TPOLI.KL=NOA.K+NOB.K+NDC.K+NOD.K+NOE.K+NOF.K
NOA.K=(TAA1NO.K)(H1NO.K)
NOB.K=(TBBNO.K)(H2NO.K)
NOC.K=(TCCNO.K)(H3NO.K)
NOD.K=(TDDNO.K)(H4NO.K)
NOE.K=(TEEND.K)(H5NO.K)
NOF.K=(TFFNO.K)(H6NO.K)
H2LI.K=H2LI.J+(DT)(T12LI.JK-T23LI.JK-T2LI.JK) LARVA INFESTANTE
H3LI.K=H3LI.J+(DT)(T23LI.JK-T34LI.JK-T3LI.JK) LARVA INFESTANTE
H4LI.K=H4LI.J+(DT)(T34LI.JK-T45LI.JK-T4LI.JK) LARVA INFESTANTE
H5LI.K=H5LI.J+(DT)(T45LI.JK-T56LI.JK-T5LI.JK) LARVA INFESTANTE
H6LI.K=H6LI.J+(DT)(T56LI.JK-T67LI.JK-T6LI.JK) LARVA INFESTANTE
H7LI.K=H7LI.J+(DT)(T67LI.JK-T78LI.JK-T7LI.JK) LARVA INFESTANTE
H8LI.K=H8LI.J+(DT)(T78LI.JK-T89LI.JK-T8LI.JK) LARVA INFESTANTE
H1LI=0
H2LI=0
H3LI=0
H4LI=0
H5LI=0
H6LI=0
H7LI=0
H8LI=0
T1LI.KL=(TAA1LI.K)(H1LI.K)
TAA1LI.K=SOBRE1.K+NI1.K
NI1.K=BIM1.K-ZOL1.K
BIM1.K=TAAALIS.K
ZOL1.K=(TAAALIS.K)(SOBRE1.K)
SOBRE1.K=TABHL(SOB1,H1LI.K,0,1000,100)
SOB1*=.0/0.96/0.98/0.99/0.995/0.995/0.995/0.999/0.999/0.998
TAAALIS.K=TABLE(TZLI,T.K,19,37,3)
TZLI*=.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
T12LI.KL=H1LI.K*AYWZ.K
AYWZ.K=(TAA1LI.K)(H1LI.K)
T2LI.KL=(TBBLI.K)(H2LI.K)
TBBLI.K=SOBRE2.K+NI2.K
NI2.K=BIM2.K-ZOL2.K
BIM2.K=TBBLIS.K
ZOL2.K=(TBBLIS.K)(SOBRE2.K)
SOBRE2.K=TABHL(SOB2,H2LI.K,0,1000,100)
SOB2*=.0/0.96/0.98/0.99/0.995/0.995/0.995/0.999/0.999/0.998
TBBLIS.K=TABLE(TYLI,T.K,19,37,3)
TYLI*=.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
T23LI.KL=H2LI.K*BYWZ.K
BYWZ.K=(TBBLI.K)(H2LI.K)
T3LI.KL=(TCCLI.K)(H3LI.K)
TCCLI.K=SOBRE3.K+NI3.K
NI3.K=BIM3.K-ZOL3.K
BIM3.K=TCCLIS.K

T89LI.KL=H8LI.K+HYWZ.K
 HYWZ.K=(THHLI.K)(H8LI.K)
 LARVIN.K=H1LI.K+H2LI.K+H3LI.K+H4LI.K+H5LI.K+H6LI.K+H7LI.K+H8LI.K
 H1NI.K=H1NI.J+(CDT)(TPONI.JK-T12NI.JK-T1NI.JK) NINFA INFESTANTE
 TPONI.KL=XLA1.K+XLA2.K+XLA3.K+XLA4.K+XLA5.K+XLA6.K+XLA7.K+XLA8.K
 XLA1.K=(NI1.K)(H1LI.K)
 XLA2.K=(NI2.K)(H2LI.K)
 XLA3.K=(NI3.K)(H3LI.K)
 XLA4.K=(NI4.K)(H4LI.K)
 XLA5.K=(NI5.K)(H5LI.K)
 XLA6.K=(NI6.K)(H6LI.K)
 XLA7.K=(NI7.K)(H7LI.K)
 XLA8.K=(NI8.K)(H8LI.K)
 H2NI.K=H2NI.J+(CDT)(T12NI.JK-T23NI.JK-T2NI.JK)
 H3NI.K=H3NI.J+(CDT)(T23NI.JK-T34NI.JK-T3NI.JK) NINFA INFESTANTE
 H4NI.K=H4NI.J+(CDT)(T34NI.JK-T45NI.JK-T4NI.JK) NINFA INFESTANTE
 H5NI.K=H5NI.J+(CDT)(T45NI.JK-T56NI.JK-T5NI.JK) NINFA INFESTANTE
 H6NI.K=H6NI.J+(CDT)(T56NI.JK-T67NI.JK-T6NI.JK) NINFA INFESTANTE
 H7NI.K=H7NI.J+(CDT)(T67NI.JK-T78NI.JK-T7NI.JK) NINFA INFESTANTE
 H8NI.K=H8NI.J+(CDT)(T78NI.JK-T89NI.JK-T8NI.JK) NINFA INFESTANTE
 H9NI.K=H9NI.J+(CDT)(T89NI.JK-T9ANI.JK-T9NI.JK) NINFA INFESTANTE
 HANI.K=HANI.J+(CDT)(T9ANI.JK-TABNI.JK-TANI.JK) NINFA INFESTANTE
 H1NI=0
 H2NI=0
 H3NI=0
 H4NI=0
 H5NI=0
 H6NI=0
 H7NI=0
 H8NI=0
 H9NI=0
 HANI=0
 T1NI.KL=(TAA1NI.K)(H1NI.K)
 TAA1NI.K=TABLE(TZNI,T.K,19,37,3)
 TZNI*=0/0/0/0/0/0/0
 T12NI.KL=H1NI.K+ANI.K
 ANI.K=(TAA1NI.K)(H1NI.K)
 T2NI.KL=(TBBNI.K)(H2NI.K)
 TBBNI.K=TABLE(TYNI,T.K,19,37,3)
 TYNI*=0/0/0/0/0/0/0
 T23NI.KL=H2NI.K+TWWWNI.K
 TWWWNI.K=(TBBNI.K)(H2NI.K)
 T3NI.KL=(TCCNI.K)(H3NI.K)
 TCCNI.K=TABLE(TXNI,T.K,19,37,3)
 TXNI*=0/0/0/0/0/0/0
 T34NI.KL=H3NI.K+CN1.K
 CN1.K=(TCCNI.K)(H3NI.K)
 T4NI.KL=(TDDNI.K)(H4NI.K)
 TDDNI.K=TABLE(TWNI,T.K,19,37,3)
 TWNI*=0/0/0/0/0/0/0
 T45NI.KL=H4NI.K+DNI.K
 DNI.K=(TDDNI.K)(H4NI.K)
 T5NI.KL=(TEENI.K)(H5NI.K)
 TEENI.K=TABLE(TVNI,T.K,19,37,3)
 TVNI*=0/0/0/0/0/0/0
 T56NI.KL=H5NI.K+ENI.K
 ENI.K=(TEENI.K)(H5NI.K)
 T6NI.KL=(TFFNI.K)(H6NI.K)
 TFFNI.K=TABLE(TUNI,T.K,19,37,3)
 TUNI*=0/0/0/0/0/0/0

T67NI.KL=H6NI.K-FNI.K
FNI.K=(TFFNI.K)(H6NI.K)
T7NI.KL=(TGGNI.K)(H7NI.K)
TGGNI.K=TABLE(TTNI,T.K,19,37,3)
TTNI*=0/0/0/0/0.2/0.2/0.2
T78NI.KL=H7NI.K-MANI.K
MANI.K=(TGGNI.K)(H7NI.K)
T8NI.KL=(THHNI.K)(H8NI.K)
THHNI.K=TABLE(TYYNI,T.K,19,37,3)
TYYNI*=0.2/0.2/0.2/0.2/0.625/0.625/0.625
T89NI.KL=H8NI.K-MAAANI.K
MAAANI.K=(THHNI.K)(H8NI.K)
T9NI.KL=(TIINI.K)(H9NI.K)
TIINI.K=TABLE(TINI,T.K,19,37,3)
TINI*=0.625/0.625/0.625/0.625/1/1/1
T9ANI.KL=H9NI.K-INI.K
INI.K=(TIINI.K)(H9NI.K)
TANI.KL=(TJJNI.K)(HANI.K)
TJJNI.K=TABLE(TJNI,T.K,19,37,3)
TJNI*=1/1/1/1/1/1/1
TABNI.KL=HANI.K-SOLO.K
SOLO.K=(TJJNI.K)(HANI.K)
H10V.K=H10V.J+(DT)(TPOOV.JK-T120V.JK-T10V.JK) ADULTOS
TPOOV.KL=D1.K+D2.K+D3.K+D4.K+D5.K+D6.K+D7.K+D8.K+D9.K+DA.K
D1.K=(TAAINI.K)(HINI.K)
D2.K=(TBBNI.K)(H2NI.K)
D3.K=(TCCNI.K)(H3NI.K)
D4.K=(TDDNI.K)(H4NI.K)
D5.K=(TEENI.K)(H5NI.K)
D6.K=(TFFNI.K)(H6NI.K)
D7.K=(TGGNI.K)(H7NI.K)
D8.K=(THHNI.K)(H8NI.K)
D9.K=(TIINI.K)(H9NI.K)
DA.K=(TJJNI.K)(HANI.K)
H20V.K=H20V.J+(DT)(T120V.JK-T230V.JK-T20V.JK) ADULTOS
H30V.K=H30V.J+(DT)(T230V.JK-T340V.JK-T30V.JK) ADULTOS
H40V.K=H40V.J+(DT)(T340V.JK-T450V.JK-T40V.JK) ADULTOS
H50V.K=H50V.J+(DT)(T450V.JK-T560V.JK-T50V.JK) ADULTOS
H60V.K=H60V.J+(DT)(T560V.JK-T670V.JK-T60V.JK) ADULTOS
H70V.K=H70V.J+(DT)(T670V.JK-T780V.JK-T70V.JK) ADULTOS
H80V.K=H80V.J+(DT)(T780V.JK-T890V.JK-T80V.JK) ADULTOS
H90V.K=H90V.J+(DT)(T890V.JK-T9A0V.JK-T90V.JK) ADULTOS
HA0V.K=HA0V.J+(DT)(T9A0V.JK-TAB0V.JK-TA0V.JK) ADULTOS
HB0V.K=HB0V.J+(DT)(TAB0V.JK-TBC0V.JK-TB0V.JK) ADULTOS
HC0V.K=HC0V.J+(DT)(TBC0V.JK-TC0V.JK) ADULTOS
HD0V.K=HD0V.J+(DT)(TC0V.JK-TDE0V.JK-TD0V.JK) ADULTOS
HE0V.K=HE0V.J+(DT)(TDE0V.JK-TFG0V.JK-TE0V.JK) ADULTOS
HF0V.K=HF0V.J+(DT)(TEFG0V.JK-TFG0V.JK-TF0V.JK) ADULTOS
HG0V.K=HG0V.J+(DT)(TFG0V.JK-TGH0V.JK-TG0V.JK) ADULTOS
HH0V.K=HH0V.J+(DT)(TGH0V.JK-THI0V.JK-TH0V.JK) ADULTOS
H10V=0
H20V=0
H30V=0
H40V=0
H50V=0
H60V=0
H70V=0
H80V=0
H90V=0
HA0V=0

HBOV=0
 HCOV=0
 HDOV=0
 HEOV=0
 HFOV=0
 HGOV=0
 HHOV=0
 T10V.KL=(TA10V.K)(TAA10V.K)(H10V.K)
 TA10V.K=1
 TAA10V.K=TABLE(TZ0V,T,K,19,37,3)
 TZ0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 T120V.KL=H10V.K-ADV.K
 ADV.K=(TA10V.K)(TAA10V.K)(H10V.K)
 T20V.KL=(TB0V.K)(H20V.K)
 TB0V.K=TABLE(TY0V,T,K,19,37,3)
 TY0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 T230V.KL=H20V.K-TWW0V.K
 TWW0V.K=(TB0V.K)(H20V.K)
 T30V.KL=(TCC0V.K)(H30V.K)
 TCC0V.K=TABLE(TX0V,T,K,19,37,3)
 TX0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 T340V.KL=H30V.K-CDV.K
 CDV.K=(TCC0V.K)(H30V.K)
 T40V.KL=(TDD0V.K)(H40V.K)
 TDD0V.K=TABLE(TW0V,T,K,19,37,3)
 TW0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 T450V.KL=H40V.K-DDV.K
 DDV.K=(TDD0V.K)(H40V.K)
 T50V.KL=(TE0V.K)(H50V.K)
 TE0V.K=TABLE(TV0V,T,K,19,37,3)
 TV0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 T560V.KL=H50V.K-EOV.K
 EOV.K=(TE0V.K)(H50V.K)
 T60V.KL=(TFF0V.K)(H60V.K)
 TFF0V.K=TABLE(TU0V,T,K,19,37,3)
 TU0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 T670V.KL=H60V.K-F0V.K
 F0V.K=(TFF0V.K)(H60V.K)
 T70V.KL=(TGG0V.K)(H70V.K)
 TGG0V.K=TABLE(TT0V,T,K,19,37,3)
 TT0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 T780V.KL=H70V.K-MA0V.K
 MA0V.K=(TGG0V.K)(H70V.K)
 THH0V.K=TABLE(TYY0V,T,K,19,37,3)
 TYY0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 T890V.KL=H80V.K-MAA0V.K
 MAA0V.K=(THH0V.K)(H80V.K)
 T90V.KL=(TII0V.K)(H90V.K)
 T80V.KL=(THH0V.K)(H80V.K)
 TII0V.K=TABLE(TIB0V,T,K,19,37,3)
 TIB0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 T9A0V.KL=H90V.K-IDV.K
 IDV.K=(TII0V.K)(H90V.K)
 TA0V.KL=(TJJ0V.K)(HA0V.K)
 TJJ0V.K=TABLE(TJ0V,T,K,19,37,3)
 TJ0V*=0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0/0.0
 TAB0V.KL=HA0V.K-JJ0V.K
 JJ0V.K=(TJJ0V.K)(HA0V.K)
 TBOV.KL=(TMN0V.K)(HBOV.K)
 TMN0V.K=TABLE(TM0V,T,K,19,37,3)

TMOV.*=0/0/0/0/0/0/0
 TBDOV.KL=HBOV.K-MDOV.K
 MDOV.K=(TMMOV.K)(HBOV.K)
 TCOV.KL=(TNNOV.K)(HCOV.K)
 TNNOV.K=TABLE(TNOV,T.K,19,37,3)
 TNOV.*=0/0/0/0/0/0/0
 TCDOV.KL=HCOV.K-NNOV.K
 NNOV.K=(TNNOV.K)(HCOV.K)
 TDOV.KL=(TDOOV.K)(HDOV.K)
 TDOOV.K=TABLE(TDOV,T.K,19,37,3)
 TDOV.*=0/0/0/0/0/0/0
 TDEOV.KL=HDOV.K-ODOV.K
 ODOV.K=(TDOOV.K)(HDOV.K)
 TEOV.KL=(TPPOV.K)(HEOV.K)
 TPPOV.K=TABLE(TPOV,T.K,19,37,3)
 TPOV.*=0/0/0/0/0.2/0.2/0.2
 TEFQV.KL=HEOV.K-PPQV.K
 PPQV.K=(TPPOV.K)(HEOV.K)
 TFOV.KL=(TQQOV.K)(HFOV.K)
 TQQOV.K=TABLE(TQOV,T.K,19,37,3)
 TQOV.*=0.2/0.2/0.2/0.2/0.625/0.625/0.625
 TFGQV.KL=HFOV.K-QQOV.K
 QQOV.K=(TQQOV.K)(HFOV.K)
 TGOV.KL=(TRROV.K)(HGOV.K)
 TRROV.K=TABLE(TROV,T.K,19,37,3)
 TROV.*=0.625/0.625/0.625/0.625/1/1/1
 TGHQV.KL=HGOV.K-RRQV.K
 RRQV.K=(TRROV.K)(HGOV.K)
 THOV.KL=(TSSQV.K)(HHQV.K)
 TSSQV.K=TABLE(TSOV,T.K,19,37,3)
 TSOV.*=1/1/1/1/1/1/1
 THIQV.KL=HHQV.K-SSQVM.K
 SSQVM.K=(TSSQV.K)(HHQV.K)
 H1PO.K=H1PO.J+(DT)(TPOPD.JK-T12PO.JK-T1PO.JK) PREOVIPOSICION
 TPOPD.KL=P1.K+P2.K+P3.K+P4.K+P5.K+P6.K+P7.K+P8.K+P9.K+PA.K+PB.K+PC
 .K+PD.K+PE.K+PF.K+PG.K+PH.K
 P1.K=(TAAIQV.K)(H1QV.K)
 P2.K=(TBBOV.K)(H2QV.K)
 P3.K=(TCCOV.K)(H3QV.K)
 P4.K=(TDDOV.K)(H4QV.K)
 P5.K=(TEEOV.K)(H5QV.K)
 P6.K=(TFFOV.K)(H6QV.K)
 P7.K=(TGGQV.K)(H7QV.K)
 P8.K=(THHOV.K)(H8QV.K)
 P9.K=(TIIQV.K)(H9QV.K)
 PA.K=(TJJQV.K)(HAQV.K)
 PB.K=(TMMOV.K)(HBOV.K)
 PC.K=(TNNOV.K)(HCOV.K)
 PD.K=(TDOOV.K)(HDOV.K)
 PE.K=(TPPOV.K)(HEOV.K)
 PF.K=(TQQOV.K)(HFOV.K)
 PG.K=(TRROV.K)(HGOV.K)
 PH.K=(TSSQV.K)(HHQV.K)
 H2PO.K=H2PO.J+(DT)(T12PO.JK-T23PO.JK-T2PO.JK) PREOVIPOSICION
 H3PO.K=H3PO.J+(DT)(T23PO.JK-T34PO.JK-T3PO.JK) PREOVIPOSICION
 H4PO.K=H4PO.J+(DT)(T34PO.JK-T45PO.JK-T4PO.JK) PREOVIPOSICION
 H5PO.K=H5PO.J+(DT)(T45PO.JK-T56PO.JK-T5PO.JK) PREOVIPOSICION
 H1PO=0
 H2PO=0
 H3PO=0

X

```

H4PO=0
H5PO=0
T1PO,KL=(TAA1PO,K)(H1PO,K)
TAA1PO,K=TABLE(TZPO,T,K,19,37,3)
TZPO*=0/0/0/0/0/0/0
T12PO,KL=H1PO,K=AP0,K
AP0,K=(TAA1PO,K)(H1PO,K)
T2PO,KL=(TBBPO,K)(H2PO,K)
TBBPO,K=TABLE(TYPO,T,K,19,37,3)
TYPO*=0/0/0/0/0,2/0,2/0,2
T23PO,KL=H2PO,K=TWWWPO,K
TWWWPO,K=(TBBPO,K)(H2PO,K)
T3PO,KL=(TCCPO,K)(H3PO,K)
TCCPO,K=TABLE(TXPO,T,K,19,37,3)
TXPO*=0,2/0,2/0,2/0,2/0,625/0,625/0,625
T34PO,KL=H3PO,K=CPO,K
CPO,K=(TCCPO,K)(H3PO,K)
T4PO,KL=(TDDPO,K)(H4PO,K)
TDDPO,K=TABLE(TWPO,T,K,19,37,3)
TWPO*=0,625/0,625/0,625/0,625/1/1/1
T45PO,KL=H4PO,K=DPO,K
DPO,K=(TDDPO,K)(H4PO,K)
T5PO,KL=(TEEPO,K)(H5PO,K)
TEEPO,K=TABLE(TVPO,T,K,19,37,3)
TVPO*=1/1/1/1/1/1/1
T56PO,KL=H5PO,K=EPGMA,K
EPGMA,K=(TEEPO,K)(H5PO,K)
NIIN,K=H1NI,K+H2NI,K+H3NI,K+H4NI,K+H5NI,K+H6NI,K+H7NI,K+H8NI,K+H9NI,K+HANI,K
X ADULS,K=H10V,K+H20V,K+H30V,K+H40V,K+H50V,K+H60V,K+H70V,K+H80V,K+H90V,K+HA0V,K+HB0V,K+HC0V,K+HD0V,K+HE0V,K+HF0V,K+HG0V,K+HH0V,K
X PREV,K=H1PO,K+H2PO,K+H3PO,K+H4PO,K+H5PO,K
TOTAL,K=OVIP,K+NEOL,K+LARVIN,K+NIIN,K+ADULS,K+PREV,K
T,K=WC
WC=35
PRINT 1)OVIP/2)TECLO/3)NEOL/4)LARVIN/5)NIIN/6)ADULS/7)PREV/8)TOTAL
PLOT OVIP=X,TECLO=Y,NEOL=L,LARVIN=R,NIIN=I,ADULS=A,PREV=P,TOTAL=G
SPEC DT=1/LENGTH=500/PRTPER=2/PLTPER=2

```

INPUT PHASE CONCLUDED AT 9: 1 17

GENERATION PHASE BEGAN AT 9: 1 18

RUN PHASE GENERATED AT 9: 9 37

PRINT PHASE GENERATED AT 9: 9 39

PLOT PHASES GENERATED AT 9: 9 42

ELAPSED COMPILATION TIME 21 5

NO ZIP TO ALGOL COMPILER *****

DYNAMO SOURCE FILE NAME= GARRA/PATA .

RESULTADOS NUMERICOS

PAGE 2 1

STARTED PRINTING

TIME	OVIP	TECLO	NEGL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
E+00	E+00	E+03	E+03	E+00	E+00	E+00	E+00	E+03
0.00	200.00	0.00	0.00	0.	0.000	0.00	0.000	0.20
2.00	155.99	132.03	0.00	0.	0.000	0.00	0.000	0.16
4.00	78.06	365.81	0.00	0.	0.000	0.00	0.000	0.08
6.00	27.62	517.14	0.00	0.	0.000	0.00	0.000	0.03
8.00	9.72	570.83	0.00	0.	0.000	0.00	0.000	0.01
10.00	0.00	600.00	0.00	0.	0.000	0.00	0.000	0.00
12.00	0.00	600.00	0.00	0.	0.000	0.00	0.000	0.00
14.00	0.00	600.00	0.00	0.	0.000	0.00	0.000	0.00
16.00	0.00	571.56	28.24	200.	0.000	0.00	0.000	28.44
18.00	0.00	407.69	186.03	4665.	0.000	0.00	0.000	190.70
20.00	0.00	204.69	364.40	15027.	0.000	0.00	0.000	379.42
22.00	0.00	79.71	426.46	23390.	2.881	0.00	0.000	449.85
24.00	0.00	24.55	319.38	23277.	12.471	0.00	0.000	342.66
26.00	0.00	2.85	165.29	14826.	32.510	0.00	0.000	180.14
28.00	0.00	0.06	64.00	6658.	56.280	0.14	0.000	70.72
30.00	0.00	0.00	19.10	2463.	77.759	2.94	0.000	21.65
32.00	0.00	0.00	2.17	551.	91.064	12.49	0.000	2.83
34.00	0.00	0.00	0.05	53.	89.730	31.58	0.000	0.22
36.00	0.00	0.00	0.00	30.	76.211	55.22	0.000	0.16
38.00	0.00	0.00	0.00	19.	57.341	79.43	0.000	0.16
40.00	0.00	0.00	0.00	5.	46.023	102.19	0.000	0.15
42.00	0.00	0.00	0.00	0.	33.274	120.09	0.028	0.15
44.00	0.01	0.00	0.00	0.	22.644	129.66	1.085	0.15
46.00	0.35	0.01	0.00	0.	16.450	130.26	6.326	0.15

TIME	OVIP	TECLO	NEQL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
48.00	3.06	0.41	0.00	0.	6.322	126.49	17.378	0.15
50.00	11.11	3.67	0.00	0.	0.251	111.03	29.782	0.15
52.00	24.61	16.07	0.00	0.	0.000	87.26	36.171	0.15
54.00	37.78	45.30	0.00	0.	0.000	63.54	36.969	0.14
56.00	45.72	93.50	0.00	0.	0.000	42.71	33.787	0.12
58.00	47.76	155.27	0.00	0.	0.000	28.04	25.842	0.10
60.00	43.59	222.44	0.00	0.	0.000	19.84	15.815	0.08
62.00	33.88	286.31	0.09	1.	0.000	12.18	11.868	0.15
64.00	23.79	337.78	1.11	24.	0.000	2.93	13.692	1.18
66.00	19.85	370.65	6.30	191.	0.023	0.08	7.738	6.52
68.00	16.49	384.11	21.56	679.	1.408	0.00	1.254	22.26
70.00	9.41	375.68	51.21	1866.	12.905	0.00	0.023	53.10
72.00	3.96	341.34	91.81	3859.	26.906	0.00	0.000	95.50
74.00	1.35	286.71	131.44	6262.	31.712	0.06	0.000	137.73
76.00	0.32	223.71	158.57	8345.	35.272	1.83	0.000	166.96
78.00	0.03	163.44	165.85	9484.	34.546	12.32	0.000	175.38
80.00	0.00	114.23	152.65	9415.	35.248	25.82	0.000	162.13
82.00	0.00	77.47	126.18	8282.	46.702	31.58	0.000	134.54
84.00	0.00	48.33	98.81	6657.	59.970	37.03	0.000	105.37
86.00	0.00	25.35	76.26	5162.	69.418	46.55	0.000	81.54
88.00	0.00	10.79	56.76	3958.	73.639	60.45	0.018	60.86
90.00	0.00	3.72	37.32	2848.	73.042	76.88	0.583	40.32
92.00	0.18	0.94	20.08	1747.	68.673	90.23	5.655	21.99
94.00	2.35	0.36	8.63	862.	61.740	96.13	16.427	9.67
96.00	10.53	2.74	2.95	343.	53.182	104.43	17.241	3.48

TIME	QVIP	TECLO	NEOL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
98.00	19.07	14.08	0.73	114.	43.493	115.74	10.092	1.03
100.00	18.54	37.57	0.10	58.	33.083	122.93	9.958	0.35
102.00	15.37	64.38	0.01	45.	25.714	123.46	15.733	0.23
104.00	16.73	87.62	0.00	29.	24.261	117.75	22.035	0.21
106.00	22.32	110.93	0.00	9.	34.022	106.85	26.483	0.20
108.00	29.08	140.35	0.05	1.	37.499	92.33	28.711	0.24
110.00	34.60	178.10	0.75	14.	33.753	78.36	28.998	0.94
112.00	37.76	220.39	5.22	147.	25.273	69.44	27.643	5.52
114.00	38.42	258.63	18.59	585.	10.959	68.98	25.026	19.32
116.00	36.87	289.35	39.36	1550.	11.042	64.32	21.738	41.05
118.00	33.68	317.03	56.82	2728.	22.841	54.74	18.212	59.68
120.00	29.53	343.04	63.56	3519.	28.265	46.38	14.379	67.19
122.00	24.82	361.94	64.54	3723.	31.965	41.79	10.140	68.37
124.00	19.57	367.76	70.71	3832.	31.490	45.72	7.161	74.65
126.00	14.37	357.65	86.23	4404.	28.939	52.14	8.425	90.74
128.00	11.65	332.43	106.47	5455.	33.515	46.57	15.369	112.03
130.00	14.19	297.49	124.59	6617.	39.586	38.57	19.906	131.32
132.00	20.95	262.51	136.02	7532.	44.051	41.09	11.718	143.67
134.00	21.51	236.97	139.12	8004.	47.836	50.24	2.877	147.25
136.00	13.98	219.31	134.52	7997.	52.440	60.62	0.619	142.64
138.00	6.62	200.05	123.94	7580.	58.030	67.96	3.996	131.65
140.00	3.95	176.80	109.26	6862.	63.505	68.78	13.565	116.27
142.00	8.78	155.18	91.95	5943.	67.536	72.62	16.068	98.06
144.00	16.51	143.72	73.82	4908.	69.465	82.53	10.247	78.91
146.00	17.23	145.48	58.92	3903.	69.271	93.12	6.825	63.01

TIME	OVIP	TECLO	NEQL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
148.00	14.50	148.74	53.44	3222.	67.153	101.86	12.032	56.85
150.00	14.38	143.05	59.53	3183.	63.296	109.06	15.170	62.92
152.00	16.97	135.28	68.09	3664.	57.922	115.33	16.622	71.96
154.00	19.87	137.74	66.22	3986.	51.702	120.34	17.415	70.42
156.00	21.96	153.16	51.22	3565.	46.133	123.01	18.905	55.00
158.00	23.72	175.49	33.91	2551.	42.855	122.43	21.309	36.67
160.00	26.04	195.74	28.53	1750.	42.197	118.45	23.848	30.49
162.00	29.02	211.10	37.79	1798.	42.694	111.82	25.774	39.80
164.00	32.06	227.84	50.95	2498.	41.805	104.14	26.809	53.65
166.00	34.48	250.67	57.55	3160.	38.009	97.15	26.980	60.91
168.00	35.89	277.43	57.73	3371.	32.865	91.44	26.395	61.29
170.00	36.22	303.94	58.81	3351.	29.523	86.30	25.139	62.34
172.00	35.52	327.71	64.61	3515.	29.756	80.68	23.261	68.29
174.00	33.89	347.74	73.01	3933.	32.987	74.57	20.824	77.11
176.00	31.41	363.02	81.38	4431.	36.981	69.52	18.135	85.97
178.00	28.25	371.82	89.53	4907.	39.946	66.90	16.017	94.59
180.00	24.95	372.41	98.52	5391.	41.951	65.98	15.439	104.06
182.00	22.55	364.24	108.60	5938.	44.033	65.16	16.293	114.69
184.00	21.83	348.84	118.64	6531.	46.856	64.20	17.046	125.32
186.00	22.34	329.56	126.87	7080.	50.286	64.50	16.109	134.10
188.00	22.52	309.86	131.95	7490.	53.865	67.59	13.353	139.59
190.00	20.99	291.39	133.29	7699.	57.354	73.23	10.576	141.15
192.00	17.94	273.68	130.89	7689.	60.695	79.53	10.029	138.75
194.00	15.31	255.68	125.02	7468.	63.763	85.10	11.851	132.66
196.00	14.92	238.04	116.18	7055.	66.303	90.15	14.116	123.42

TIME	OVIP	TECLO	NEQL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
198.00	16.60	223.27	105.51	6492.	68.052	95.53	15.341	112.19
200.00	18.77	213.31	95.11	5866.	68.844	101.52	15.724	101.18
202.00	20.28	207.57	87.51	5315.	68.619	107.65	16.241	93.04
204.00	21.22	204.12	83.96	4967.	67.384	113.28	17.342	89.14
206.00	22.26	202.36	82.98	4836.	65.216	118.05	18.753	88.05
208.00	23.71	203.99	81.12	4782.	62.346	121.76	20.142	86.12
210.00	25.45	211.14	75.76	4602.	59.232	124.20	21.456	80.59
212.00	27.25	223.92	67.86	4219.	56.453	125.12	22.766	72.31
214.00	29.06	240.08	61.37	3767.	54.389	124.38	24.052	65.37
216.00	30.84	257.11	59.80	3489.	52.943	122.08	25.179	63.52
218.00	32.54	274.00	63.29	3522.	51.566	118.64	26.009	67.04
220.00	34.01	291.12	69.15	3799.	49.682	114.63	26.462	73.17
222.00	35.10	308.83	74.73	4145.	47.257	110.50	26.520	79.10
224.00	35.72	326.68	79.39	4446.	44.965	106.42	26.187	84.05
226.00	35.82	343.63	83.94	4706.	43.709	102.26	25.472	88.85
228.00	35.40	358.56	89.21	4983.	43.970	98.07	24.407	94.39
230.00	34.46	370.58	95.30	5308.	45.542	94.04	23.110	100.81
232.00	33.08	378.92	101.87	5674.	47.779	90.65	21.829	107.74
234.00	31.44	382.94	108.55	6059.	50.095	88.20	20.866	114.80
236.00	29.86	382.35	115.09	6444.	52.285	86.67	20.340	121.72
238.00	28.63	377.40	121.17	6814.	54.429	85.94	20.035	128.17
240.00	27.84	368.96	126.37	7148.	56.640	86.12	19.532	133.71
242.00	27.22	358.27	130.26	7421.	58.923	87.52	18.578	137.87
244.00	26.38	346.43	132.48	7609.	61.190	90.24	17.371	140.29
246.00	25.13	334.02	132.85	7696.	63.332	94.00	16.475	140.75

TIME	OVIP	TECLO	NEQL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
248.00	23.74	321.26	131.31	7673.	65.250	98.23	16.361	139.19
250.00	22.77	308.44	127.98	7541.	66.861	102.49	17.000	135.73
252.00	22.65	296.28	123.21	7312.	68.090	106.60	17.973	130.74
254.00	23.33	285.77	117.70	7014.	68.873	110.60	18.907	124.94
256.00	24.42	277.64	112.35	6693.	69.172	114.45	19.717	119.27
258.00	25.59	272.14	107.90	6401.	68.967	118.07	20.496	114.54
260.00	26.71	269.29	104.46	6168.	68.277	121.26	21.328	110.87
262.00	27.81	269.29	101.41	5983.	67.164	123.89	22.217	107.64
264.00	28.96	272.53	97.93	5802.	65.757	125.84	23.115	103.97
266.00	30.15	279.21	93.75	5583.	64.235	127.00	23.973	99.58
268.00	31.34	288.86	89.60	5336.	62.764	127.33	24.758	95.18
270.00	32.49	300.50	86.79	5118.	61.422	126.85	25.437	92.16
272.00	33.54	313.03	86.28	5005.	60.164	125.64	25.979	91.53
274.00	34.45	325.71	88.11	5031.	58.879	123.87	26.353	93.38
276.00	35.18	338.12	91.50	5179.	57.513	121.72	26.543	96.92
278.00	35.69	350.04	95.58	5397.	56.180	119.34	26.537	101.21
280.00	35.95	361.18	99.80	5638.	55.144	116.82	26.336	105.67
282.00	35.95	371.17	104.03	5883.	54.680	114.19	25.951	110.15
284.00	35.70	379.59	108.33	6129.	54.919	111.58	25.416	114.89
286.00	35.20	386.07	112.70	6379.	55.786	109.12	24.800	119.31
288.00	34.51	390.32	117.07	6633.	57.067	107.01	24.191	123.92
290.00	33.72	392.17	121.26	6882.	58.537	105.41	23.656	128.38
292.00	32.94	391.63	125.10	7118.	60.044	104.42	23.198	132.84
294.00	32.22	388.92	128.43	7329.	61.527	104.09	22.752	135.98
296.00	31.57	384.41	131.68	7507.	62.967	104.49	22.242	138.81

TIME	DVIP	TECLG	NEQL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
298.00	30.93	378.54	132.93	7642.	64.346	105.65	21.669	140.80
300.00	30.22	371.72	133.89	7729.	65.638	107.48	21.138	141.84
302.00	29.48	364.25	133.90	7763.	66.804	109.82	20.814	141.89
304.00	28.84	356.40	132.99	7742.	67.808	112.44	20.808	140.96
306.00	28.45	348.53	131.24	7669.	68.617	115.11	21.109	139.15
308.00	28.44	341.09	128.85	7552.	69.207	117.71	21.607	136.64
310.00	28.79	334.57	126.11	7403.	69.560	120.15	22.185	133.75
312.00	29.40	329.42	123.30	7242.	69.668	122.40	22.771	130.79
314.00	30.13	325.98	120.62	7082.	69.533	124.40	23.343	127.95
316.00	30.90	324.47	118.08	6930.	69.172	126.10	23.901	125.26
318.00	31.68	325.03	115.56	6784.	68.623	127.45	24.444	122.59
320.00	32.43	327.71	112.97	6637.	67.939	128.41	24.960	119.86
322.00	33.17	332.37	110.45	6488.	67.178	128.96	25.433	117.20
324.00	33.86	338.63	108.36	6349.	66.390	129.08	25.848	114.97
326.00	34.50	345.96	107.14	6246.	65.597	128.81	26.192	113.64
328.00	35.06	353.79	107.08	6201.	64.801	128.19	26.454	113.54
330.00	35.53	361.67	108.19	6225.	64.006	127.28	26.626	114.66
332.00	35.88	369.25	110.19	6312.	63.242	126.14	26.703	116.75
334.00	36.12	376.29	112.74	6443.	62.586	124.85	26.684	119.43
336.00	36.23	382.62	115.54	6597.	62.139	123.44	26.573	122.38
338.00	36.21	388.09	118.39	6762.	61.987	121.97	26.379	125.40
340.00	36.07	392.53	121.21	6926.	62.164	120.53	26.122	128.38
342.00	35.82	395.84	123.92	7087.	62.637	119.19	25.827	131.25
344.00	35.49	397.92	126.49	7241.	63.327	118.04	25.520	133.97
346.00	35.10	398.77	128.83	7385.	64.141	117.19	25.217	136.46

TIME	DVIP	TECLD	NEOL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
348.00	34.70	398.41	130.89	7514.	65.000	116.70	24.917	138.85
350.00	34.29	396.97	132.60	7625.	65.852	116.60	24.612	140.47
352.00	33.88	394.60	133.92	7716.	66.667	116.93	24.303	141.87
354.00	33.46	391.47	134.79	7781.	67.425	117.85	24.011	142.81
356.00	33.05	387.76	135.20	7821.	68.112	118.71	23.782	143.26
358.00	32.67	383.64	135.14	7834.	68.714	120.02	23.665	143.22
360.00	32.38	379.31	134.65	7820.	69.219	121.47	23.888	142.71
362.00	32.24	374.98	133.77	7782.	69.615	122.95	23.846	141.80
364.00	32.26	370.92	132.59	7724.	69.895	124.39	24.103	140.56
366.00	32.45	367.38	131.21	7651.	70.054	125.73	24.418	139.12
368.00	32.78	364.64	129.73	7568.	70.093	126.94	24.753	137.56
370.00	33.18	362.88	128.21	7481.	70.015	127.98	25.088	135.95
372.00	33.62	362.25	126.67	7393.	69.833	128.85	25.409	134.33
374.00	34.06	362.82	125.14	7304.	69.563	129.52	25.710	132.70
376.00	34.50	364.54	123.66	7216.	69.226	129.99	25.987	131.14
378.00	34.90	367.30	122.35	7134.	68.842	130.24	26.232	129.75
380.00	35.28	370.87	121.38	7065.	68.430	130.29	26.442	128.70
382.00	35.61	374.97	120.89	7018.	68.002	130.14	26.611	128.16
384.00	35.90	379.31	120.97	7003.	67.571	129.82	26.736	128.23
386.00	36.13	383.66	121.62	7021.	67.153	129.35	26.815	128.90
388.00	36.30	387.80	122.72	7070.	66.776	128.77	26.847	130.05
390.00	36.41	391.60	124.13	7142.	66.477	128.09	26.832	131.33
392.00	36.45	394.95	125.71	7229.	66.295	127.36	26.774	133.20
394.00	36.44	397.78	127.34	7322.	66.255	126.60	26.679	134.91
396.00	36.36	400.04	128.93	7415.	66.367	125.87	26.554	136.80

TIME	OVIP	TECLO	NEQL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
398.00	36.24	401.67	130.44	7506.	66.614	125.19	26.409	138.20
400.00	36.08	402.68	131.82	7590.	66.964	124.63	26.252	139.66
402.00	35.89	403.06	133.05	7667.	67.380	124.23	26.089	140.97
404.00	35.68	402.84	134.10	7734.	67.824	124.01	25.922	142.09
406.00	35.46	402.09	134.96	7790.	68.268	124.01	25.756	143.00
408.00	35.23	400.86	135.59	7835.	68.693	124.21	25.598	143.68
410.00	35.01	399.24	136.00	7866.	69.084	124.61	25.462	144.12
412.00	34.80	397.31	136.18	7884.	69.434	125.18	25.367	144.32
414.00	34.63	395.18	136.13	7889.	69.736	125.86	25.327	144.27
416.00	34.50	392.95	135.87	7882.	69.985	126.60	25.349	144.01
418.00	34.45	390.74	135.43	7862.	70.176	127.36	25.411	143.55
420.00	34.48	388.70	134.85	7833.	70.309	128.10	25.560	142.94
422.00	34.58	386.95	134.16	7797.	70.381	128.79	25.719	142.21
424.00	34.74	385.63	133.39	7755.	70.394	129.40	25.892	141.41
426.00	34.95	384.83	132.58	7709.	70.353	129.93	26.067	140.55
428.00	35.18	384.62	131.76	7662.	70.261	130.36	26.236	139.68
430.00	35.41	385.03	130.95	7615.	70.128	130.69	26.392	138.83
432.00	35.63	386.01	130.21	7569.	69.960	130.91	26.534	138.04
434.00	35.85	387.49	129.59	7528.	69.768	131.03	26.657	137.38
436.00	36.04	389.36	129.16	7497.	69.559	131.04	26.761	136.92
438.00	36.20	391.48	128.98	7477.	69.342	130.97	26.843	136.72
440.00	36.35	393.72	129.07	7473.	69.126	130.80	26.903	136.81
442.00	36.46	395.96	129.43	7485.	68.924	130.57	26.939	137.17
444.00	36.54	398.08	130.00	7511.	68.750	130.27	26.952	137.77
446.00	36.59	400.02	130.72	7548.	68.620	129.93	26.943	138.53

TIME	OVIP	TECLO	NEQL	LARVIN	NIIN	ADULS	PREV	TOTAL
448.00	36.61	401.71	131.54	7592.	68.548	129.57	26.913	139.39
450.00	36.60	403.13	132.38	7640.	68.544	129.20	26.866	140.28
452.00	36.56	404.24	133.21	7689.	68.608	128.84	26.805	141.16
454.00	36.50	405.04	133.99	7736.	68.732	128.52	26.733	141.98
456.00	36.42	405.51	134.70	7779.	68.904	128.26	26.654	142.74
458.00	36.33	405.68	135.32	7819.	69.108	128.08	26.570	143.40
460.00	36.22	405.55	135.84	7852.	69.327	127.99	26.485	143.95
462.00	36.11	405.16	136.26	7880.	69.547	128.01	26.403	144.40
464.00	36.00	404.54	136.56	7902.	69.759	128.13	26.328	144.73
466.00	35.89	403.72	136.75	7917.	69.954	128.33	26.268	144.93
468.00	35.79	402.75	136.83	7925.	70.127	128.62	26.230	145.02
470.00	35.71	401.69	136.80	7927.	70.276	128.96	26.217	144.99
472.00	35.66	400.59	136.67	7923.	70.397	129.32	26.233	144.85
474.00	35.64	399.52	136.45	7913.	70.489	129.70	26.275	144.62
476.00	35.66	398.54	136.16	7899.	70.551	130.07	26.338	144.32
478.00	35.71	397.72	135.81	7880.	70.584	130.41	26.415	143.96
480.00	35.79	397.12	135.43	7859.	70.589	130.71	26.500	143.55
482.00	35.89	396.79	135.02	7836.	70.566	130.97	26.587	143.12
484.00	36.01	396.74	134.61	7813.	70.521	131.18	26.671	142.68
486.00	36.12	396.99	134.21	7789.	70.454	131.34	26.749	142.26
488.00	36.23	397.51	133.86	7767.	70.372	131.44	26.819	141.89
490.00	36.34	398.26	133.58	7748.	70.276	131.50	26.880	141.59
492.00	36.43	399.20	133.40	7734.	70.173	131.50	26.931	141.40
494.00	36.52	400.26	133.34	7727.	70.068	131.46	26.971	141.33
496.00	36.59	401.37	133.41	7726.	69.964	131.38	26.999	141.40

Con 200 garrapatas en el estado de oviposición, como condiciones iniciales, y una temperatura de 35°C se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1).- Al décimo día aparecen 600000 huevos que era lo esperado ya que los datos experimentales proponen una fecundidad de 3000 huevos por hembra aproximadamente.
- 2).- De acuerdo a los histogramas mostrados anteriormente, aparece el 5% del total de los huevos el primer día, - el 16% el segundo día, el 16% el tercer día, y así sucesivamente hasta el décimo día, en el cual ya pasó el total de huevos al estado siguiente.
- 3).- Los huevos tardan en eclosionar hasta el día 14 como tiempo mínimo, pasando en esta fecha el 0.66% de ellos al estado de neolarva; y eclosionan el total el día 28.
- 4).- El 5% de neolarvas cambian al estado de larvas infestantes en el 16^o día.

Las últimas larvas infestantes aparecen el día 34.

- 5).- En el estado de neolarva se considera una mortandad del 70% de las mismas, debido a la falta de geotropismo negativo. Este fenómeno es difícil de observar en los resultados del programa debido a un traslape entre los estados de neolarva y larva infestante, estados en los cuales se considera que hay mortandad.
- 6).- En el estado de larva infestante se considera la mortandad debida al fenómeno de sobrepoblación. Se toma en cuenta que el ecosistema tiene un límite de carga.
- 7).- El estado ninfa infestante dura 10 días como máximo ya que el día 40 aparece la última ninfa infestante y desaparecen por completo el día 50.
- 8).- Los estados de adultos y preoviposición tienen el mismo comportamiento que el anterior, teniendo una duración de 17 y 5 días respectivamente.

- 9).- Se repite el ciclo en el día 44 cuando aparecen nuevos individuos en el estado de oviposición, el cual tiene ; una duración de 17 días.
- 10).- En el nuevo ciclo ya se puede observar que el ecosistema tiene un límite de carga. Es necesario indicar que en el total no se incluye a los huevos debido a que al obtener las gráficas se perdían los resultados de menor magnitud.
- 11).- Se puede observar con claridad que la tendencia de la población total es permanecer constante.
- 12).- También se observa que conforme el tiempo crece aparecen generaciones superpuestas.

Se realizó una segunda corrida en la cual la temperatura se mantuvo a 19 C con las mismas condiciones iniciales. El resultado obtenido fué que el ciclo de vida tuvo una duración mayor correspondiente a 67 días. El cambio de temperatura (en el rango de 19 a 37 C) no afectó el valor final al cual se estabiliza

y sólo se aumenta el tiempo en que dicho valor se alcanza.

IV.2. APLICACION DEL MODELO MATRICIAL MODIFICADO

Para la simulación del ciclo de vida de la garrapata por medio del modelo matricial modificado se le dividió en los siguientes - estados: HUEVOS (A), LARVAS (B), METALARVAS (C), NINFAS (D), ADULTOS (E) y adultos en estado de oviposición OVIP (F), entre paréntesis se ha indicado la letra que representa a cada uno de ellos en los resultados del programa.

Se consideró que sólo los individuos en los estados C, D y E se encuentran parasitando. Para evitar problemas de escalamiento, en las gráficas se omitió a los estados A y B; la letra G representa la suma de C, D y E.

Se hicieron varias corridas del programa con diferentes condiciones iniciales, temperaturas, formas de variación de temperatura, etc en todas ellas se mantuvieron constantes las tablas de probabilidad de paso de un estado a otro y las de fecundidad. Dichas tablas apare-

cen después de las gráficas.

De los resultados obtenidos se desprende lo siguiente:

- 1).- El nivel al cual se estabiliza el sistema es independiente de la temperatura, sólo depende de la capacidad del huésped para soportar parásitos.
- 2).- Como ya lo habíamos visto con el simulador DYNAMO, el ciclo de vida se alarga a bajas temperaturas.
- 3).- El tiempo de asentamiento crece al aumentar la temperatura.

A continuación se presentan los resultados numéricos y gráficos obtenidos con condiciones iniciales de 20000 huevos (de 1 día) y con la temperatura variando en forma aleatoria entre 22 y 36 C. En ellos se puede observar que, a pesar de que el rango de variación de temperatura es bastante amplio (14 C), la variación del total es menor al 8% en los 20 últimos días.

100	14,27,*
200	2,4,*
300	3,5,*
400	4,6,*
500	2,4,*
600	1,14,*
700	0,0,*
800	180,1,*
900	0,95,15,0,8,0,8,0,93,0,95,0,80,*
1000	1,1,*
1100	0,0,*
1200	2000,*
1300	1,1,*
1400	6,1,*
1500	0,0,*
1600	21,3,60,120,120,300,180,210,540,*
1700	21,3,120,300,300,340,540,660,870,*
1800	21,3,180,360,360,370,660,630,660,*
1900	21,3,240,450,450,310,570,570,450,*
2000	21,3,240,480,480,390,450,330,300,*
2100	21,3,270,370,370,360,300,360,180,*
2200	21,3,300,300,300,210,180,180,60,*
2300	21,3,300,140,140,150,150,60,30,*
2400	21,3,240,120,120,60,30,2,4,*
2500	21,3,210,120,120,30,2,2,2,*
2600	21,3,205,60,60,2,1,1,*
2700	21,3,140,40,30,2,1,1,*
2800	21,3,60,30,30,1,1,1,*
2900	21,3,40,20,20,1,1,1,*
3000	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
3100	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
3200	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
3300	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
3400	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
3500	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
3600	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
3700	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
3800	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
3900	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
4000	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
4100	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
4200	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
4300	21,3,0,4,0,6,0,7,0,8,0,85,0,88,0,90,*
4400	21,3,0,4,0,5,0,6,0,65,0,66,0,67,0,68,*
4500	21,3,0,4,0,5,0,6,0,65,0,66,0,67,0,68,*
4600	21,3,0,4,0,5,0,6,0,65,0,66,0,67,0,68,*
4700	21,3,0,4,0,5,0,6,0,7,0,72,0,74,0,75,*
4800	21,3,0,4,0,5,0,6,0,7,0,72,0,74,0,75,*
4900	21,3,0,4,0,5,0,6,0,7,0,72,0,74,0,75,*
5000	21,3,0,5,0,6,0,65,0,7,0,75,0,8,0,85,*
5100	21,3,0,5,0,6,0,65,0,7,0,75,0,8,0,85,*
5200	21,3,0,5,0,6,0,65,0,7,0,75,0,8,0,85,*
5300	21,3,0,5,0,6,0,7,0,8,0,82,0,85,0,87,*
5400	21,3,0,5,0,6,0,7,0,8,0,82,0,85,0,87,*
5500	21,3,0,5,0,6,0,7,0,6,0,62,0,85,0,87,*
5600	RANDOM
5700	22,36,*

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

La interpretación de los datos anteriores los cuales sirvieron para obtener los resultados mostrados, es como sigue:

- A).- Duración mínima y máxima de cada estado. La última debe ser 0,0 para indicar el final.
- B).- Tiempo total de cálculo y graficación e intervalo de impresión.
- C).- Límite superior de paso.
- D).- Indicadores de condiciones iniciales. Deben terminar en 0,0 .
- E).- Condiciones iniciales.
- F).- Indicadores de salidas. También terminan en 0,0 .
- G).- Tablas de fecundidad.
- H,I,J,K,L).- Tablas de probabilidad de paso de HUEVO a LARVA, LARVA a METALARVA, METALARVA a NINFA, NINFA a ADULTO ADULTO a OVIP, respectivamente.
- M).- Forma de variación de la temperatura y sus valores mínimo y máximo.

V

Conclusión

CONCLUSIONES

A pesar de que la aplicación formal de la Ingeniería en el campo de la Biología (Bioingeniería) es algo relativamente nuevo podemos -- considerar que la simulación matemática de sistemas ecológicos no es tan reciente ya que ésta se inicia con los trabajos de Lotka en el año 1920, y tomando en cuenta la velocidad con que actualmente se genera la información podemos concluir que este trabajo que presentamos no es nada novedoso ya que está basado en todo lo desarrollado anteriormente, sin embargo tiene la valía de estar enfocado a un problema -- real que afecta a nuestro país.

Para poder llegar a una verdadera solución del problema, es necesaria la inversión de mucho tiempo y esfuerzo dedicados a la obtención de datos, realización y aplicación del modelo y espera de resultados.

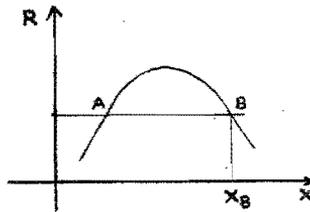
Es de tomar en cuenta que los modelos que aquí presentamos tuvieron que ser adaptados a

los datos proporcionados por la Campaña --
Nacional contra la Garrapata, lo cual no nos
permitió desarrollarlos libremente. De otro
modo podríamos haber propuesto un modelo y -
obtener datos dirigidos a él, pero como ya -
hicimos notar la recopilación de datos refe-
rentes a un sistema ecológico toma mucho --
tiempo y requiere de técnicas especiales.

Sin embargo, los modelos que proponemos
pueden ser de gran utilidad en el momento en
que se disponga de gran cantidad de informa-
ción sobre la especie simulada.

APENDICE A

- 1).- Tasa de reproducción dependiente de la densidad.



$$R = 1 - bx \quad (\text{En el punto de equilibrio } x_r)$$

$$x = X - X_B$$

fig A.1

$$\text{Linealizado } x_{n+1} = (1-k)x_n \quad K = bX_B$$

- a).- si $0 < K < 1$ amortiguado
 b).- si $1 < K < 2$ subamortiguado
 c).- si $2 < K$ inestable

$$x_n = x_1 (1 - K)^{n-1} \quad \text{solución}$$

- 2).- Regulación retardada $R = f(X_n - 1)$

$$X_{n+2} = X_{n+1} f(X_n) \quad f(X_n) = 1 - bx_n$$

$$\text{Linealizando } x_{n+1} = x_n - kx_{n-1} \quad k = bX_B$$

solución:

$$x_n = A \left[\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{1-4k}}{2} \right]^n + B \left[\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{1-4k}}{2} \right]^n$$

a).- si $k < 0$ $1 - 4k > 1$

$$\frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} > \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} > 1$$

$$\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} < 1$$

$$A \left[\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} \right]^n \rightarrow \infty \quad \text{si } n \rightarrow \infty$$

$$B \left[\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} \right]^n \rightarrow 0 \quad \text{si } n \rightarrow \infty$$

es inestable

b).- si $0 < k < \frac{1}{4}$

$$0 < 4k < 1$$

$$0 < 1 - 4k < 1$$

$$0 < \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} < \frac{1}{2}$$

$$0 < \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} < 1$$

$$0 < \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} < \frac{1}{2}$$

$$A \left[\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} \right]^n \rightarrow 0 \quad \text{si } n \rightarrow \infty$$

$$B \left[\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} \right]^n \rightarrow 0 \quad \text{si } n \rightarrow \infty$$

es amortiguado.

$$c).- \text{ Si } \frac{1}{4} < k < 1$$

$$4k > 1$$

$$1 - 4k < 0$$

$$\sqrt{1 - 4k} \quad \text{imaginario}$$

$$\sqrt{1 - 4k} = j \sqrt{4k - 1}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{4k - 1}}{2} j &= \sqrt{k} \cos \theta + j \sqrt{k} \sin \theta \\ &= \sqrt{k} (\text{cis } \theta) \end{aligned}$$

$$\theta = \arccos \frac{1}{2\sqrt{k}}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{4k - 1}}{2} j &= \sqrt{k} \cos \theta - j \sqrt{k} \sin \theta \\ &= \sqrt{k} (\cos \theta - j \sin \theta) \\ &= \sqrt{k} \text{cis } (-\theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \left[\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} j \right]^n &= A(\sqrt{k} \text{cis } \theta)^n \\ &= A(\sqrt{k})^n \text{cis } n\theta \end{aligned}$$

$$B \left[\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{1 - 4k}}{2} j \right]^n = B(\sqrt{k})^n \text{cis } (-n\theta)$$

$$x_n = (\sqrt{k})^n \left[(A + B) \cos n\theta + (A - B)j \sin n\theta \right]$$

Oscilaciones convergentes (subamortiguado)

$$d).- \text{ Si } 1 < k$$

$$x_n = (\sqrt{k})^n \left[(A + B) \cos n\theta + (A - B) \sin n\theta \right]$$

$$(\sqrt{k})^n \longrightarrow \infty$$

$$\text{si } n \longrightarrow \infty$$

Oscilaciones divergentes (inestable)

4).- Predador - presa

$$\Delta x_n = cX_z X_n - cX_n^2 - CX_n Y_n$$

$$Y_{n+1} = KX_n Y_n$$

Sistema no linealizado:

$$X_{n+1} = RX_n - (R - 1) \frac{X_n^2}{X_z} - CX_n Y_n$$

$$Y_{n+1} = \frac{rX_n Y_n}{X_z}$$

punto de equilibrio

$$X_s = \frac{X_z}{r}$$

$$Y_s = \frac{1}{C} \left(R - 1 - \frac{R - 1}{r} \right)$$

Linealizado

$$x_{n+1} = x_n \left(1 - \frac{R - 1}{r} \right) - \frac{CX_z}{r} Y_n$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{r}{CX_z} \left(R - 1 - \frac{R - 1}{r} \right) x_n$$

La solución para y es:

$$y_n = A\lambda_1^n + B\lambda_2^n$$

$$\lambda_1 = 1 - B + \sqrt{(1 + B)^2 - R}$$

$$\lambda_2 = 1 - B - \sqrt{(1 + B)^2 - R}$$

$$B = \frac{R - 1}{2r}$$

$$\text{a).- Si } R > (1+B)^2$$

$$(1+B)^2 - R < 0$$

$\sqrt{(1+B)^2 - R}$ es imaginario

$$\lambda_1 = (1-B) + j \sqrt{R - (1+B)^2}$$

$$\lambda_2 = (1-B) - j \sqrt{R - (1+B)^2}$$

$$\lambda_1^n = (R - 4B)^{\frac{n}{2}} (\cos n \theta + j \operatorname{sen} n \theta)$$

$$\lambda_2^n = (R - 4B)^{\frac{n}{2}} (\cos n \theta - j \operatorname{sen} n \theta)$$

$$\theta = \arccos \frac{1-B}{\sqrt{R}}$$

$$y_n = A\lambda_1^n + B\lambda_2^n$$

$$= (R - 4B)^{\frac{n}{2}} [(A+B) \cos n \theta + (A-B) j \operatorname{sen} n \theta]$$

$$\text{a1).- Si } R - 4B > 1$$

oscilación divergente

$$\text{a2).- Si } 0 < R - 4B < 1$$

oscilaciones convergentes

$$\text{b).- Si } R < (1+B)^2$$

λ_1 y λ_2 son reales

$$\text{b1).- Si } \lambda_1 > 1$$

$$A\lambda_1^n \longrightarrow \infty \quad n \longrightarrow \infty$$

inestable

b2).- Si $-1 < \lambda_2 < 0$

$$B\lambda_2^n \rightarrow 0$$

$$n \rightarrow \infty$$

inestable

b3).- Si $\lambda_2 = -1$

$$B\lambda_2^n \rightarrow \infty$$

$$n \rightarrow \infty$$

inestable

APENDICE B

$$\int_{u_1}^{u_2} f(x, \alpha) dx = F(\alpha, u_1, u_2) \quad , \quad u_1 \text{ y } u_2 \text{ son funciones de } \alpha$$

$$\frac{d}{d\alpha} \int_{u_1}^{u_2} f(x, \alpha) dx = \frac{d}{d\alpha} F(\alpha, u_1, u_2)$$

$$= \frac{\partial F}{\partial u_1} \frac{du_1}{d\alpha} + \frac{\partial F}{\partial u_2} \frac{du_2}{d\alpha} + \frac{\partial F}{\partial \alpha} \frac{d\alpha}{d\alpha}$$

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha} = \int_{u_1}^{u_2} \frac{\partial f(x, \alpha)}{\partial \alpha} dx$$

$$\int_{u_1}^{u_2} f(x, \alpha) dx = g(u_2, \alpha) - g(u_1, \alpha) = F$$

$$\frac{\partial F}{\partial u_1} = \frac{\partial g(u_2, \alpha)}{\partial u_1} - \frac{\partial g(u_1, \alpha)}{\partial u_1} = 0 - f(u_1, \alpha)$$

$$\frac{\partial F}{\partial u_2} = \frac{\partial g(u_2, \alpha)}{\partial u_2} - \frac{\partial g(u_1, \alpha)}{\partial u_2} = f(u_2, \alpha) - 0$$

$$\frac{d}{d\alpha} \int_{u_1}^{u_2} f(x, \alpha) dx = \int_{u_1}^{u_2} \frac{\partial f(x, \alpha)}{\partial \alpha} dx \cdot \frac{d\alpha}{d\alpha} + f(u_2, \alpha) \frac{du_2}{d\alpha} - f(u_1, \alpha) \frac{du_1}{d\alpha}$$

APENDICE C

El DYNAMO es un programa de computadora que compila y ejecuta la simulación de modelos continuos. Ha sido usado sobre todo en el estudio de administración de empresas, sociología, economía, fenómenos biológicos, sistemas de ingeniería, etc.

La herramienta básica de la simulación continua (después del álgebra) es la integración. Esta aparece dondequiera en la naturaleza y es esencial en el proceso de representar la realidad. Es el proceso que relaciona una cantidad con su tasa de cambio en el tiempo.

Para comprender claramente el funcionamiento de DYNAMO tomaremos el siguiente ejemplo: se puede pensar en la cantidad de fluido en un tanque como la integral de su tasa de flujo. ($Q = dVol/dt$) de donde $Vol_2 - Vol_1 = Q(t_1 - t_0)$ en DYNAMO la ecuación toma la siguiente forma:

cantidad actual = cantidad pasada + (tiempo transcurrido)(tasa de cambio). Y se representan los tiempos como un subíndice en donde: K representa el presente, J el pasado y L el futuro, por lo tanto la ecuación anterior quedará como:

$$\text{cantidad.K} = \text{cantidad.J} + (\text{DT})(\text{tasa de cambio})$$

Este tipo de ecuación recibe el nombre de ecuación de nivel.

En el ejemplo anterior al asumir que la tasa de cambio era constante se evitó una dificultad. Pero en la realidad ésta puede ser variable. En este caso real la integral no puede ser computada calculando esta simple expresión una sola vez. Por lo tanto, el intervalo debe ser calculado dividiendo el tiempo en pequeños segmentos y repitiendo el cálculo para cada intervalo infinitesimal (DT deberá ser igual al tamaño de ese intervalo).

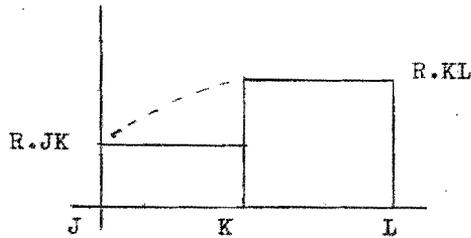


fig. C.1

Desafortunadamente, la computadora digital no puede integrar exactamente; la integral se aproxima por otros métodos. Un método sencillo que funciona muy bien cuando no se requiere mucha exactitud es la de calcular la tasa de cambio en el período J-K y suponer que permanece constante durante este intervalo, por tanto la exactitud en la integración se controla por el tamaño de DT . En la figura C.2 se muestra lo anterior.

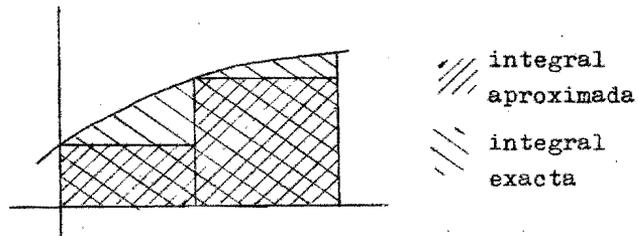


fig. C.2

Las tasas siempre se encuentran entre dos niveles, relacionando el flujo de uno hacia otro, o bien entre una fuente (origen de un flujo) y un nivel, o entre un nivel y un pozo. En la figura C.3 se ha diagramado lo anterior.

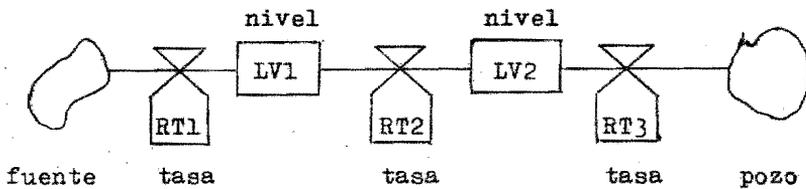


fig. C.3

En forma de ecuación esto se representa

$$LV1.K = LV1.J + (DT)(RT1.JK - RT2.JK)$$

$$LV2.K = LV2.J + (DT)(RT2.JK - RT3.JK)$$

Como se ve en las ecuaciones anteriores las tasas tienen una doble letra subscrita, lo cual significa que las tasas se calculan en el instante K para un intervalo KL. Una vez que el tiempo avanza DT unidades, todas

las cantidades que se calcularon para un tiempo igual a K se consideran ahora en el tiempo J , y las tasas calculadas en el intervalo KL pasan a formar parte del intervalo JK . Estas tasas varían su valor en el tiempo gracias al uso de elementos auxiliares, los cuales pueden tener forma de tablas, variables estadísticas, variables trigonométricas, retrasos y constantes.

Uno de los elementos fundamentales en DYNAMO por su capacidad de representar relaciones no lineales son las tablas, las cuales nos dan una representación gráfica entre dos variables, codificándose en forma numérica, dando valores a la variable independiente y el valor que corresponde a su variable dependiente, como se muestra en la figura C.4. cuya codificación será:

X	Y
-3	-20
-2	0
-1	10
0	16
1	20
2	24
3	30

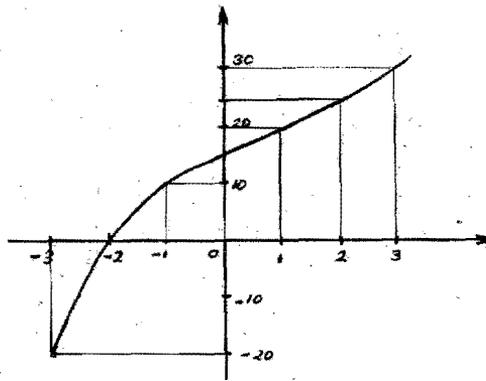


fig. C.4

Los retrasos son una variable importante en el DYNAMO y su función es la de retardar - una variable en el tiempo, su nombre es delay y existen diferentes grados de retraso, los cuales difieren uno de otro en la magnitud - del retraso.

GLOSARIO

- Acaro:** orden de la clase arácnidos, compuesto de seres de pequeñas dimensiones con el abdomen y el cefalotórax más o menos fusionados; respiración traqueal; ovíparos; tamaño de 0.1 a 30 mm.
- Anorexia:** falta anormal de ganas de comer.
- Cutícula:** piel delgada y delicada.
- Eclosión:** nacimiento o brote.
- Ectoparásito:** parásito que vive sobre la superficie del huésped.
- Geotropismo: negativo** tendencia de los insectos a subir por los tallos.
- Hematopoyético:** de hematopoyesis, formación de los elementos celulares de la sangre.
- Hipostoma:** porción de la cabeza de los insectos que se encuentra por debajo del labio inferior para fijarse en el cuerpo y succionar la sangre del huésped.

- Infestante:** estado en el cual un parásito puede dañar al huésped.
- Ingurgitar:** engullir; se dice del parásito que se alimenta de la sangre del huésped.
- Ixódidos:** familia de animales arácnidos del orden de los ácaros, que incluye - garrapatas de diversas especies, - se caracteriza por tener una porción anterior movable.
- Quimiotactismo:** tendencia de ciertos organismos a moverse en una dirección determinada por la influencia de estímulos químicos. Se llama positivo cuando dichos estímulos atraen al organismo y negativo cuando lo rechazan.
- Quitinoso:** de quitina; substancia de aspecto - corneo que da la dureza especial -- del dermatoesqueleto de los insectos.
- Repleción:** acción de la garrapata de llenarse de sangre.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Lotka, A.J. 1924 Elements of Mathematical
Biology.
- (2) Aggarwal, J.K. Notes on Nonlinear Systems.
- (3) Rainville, Earl D. Elementary Differential
Equations.
- (4) Ogata, Katsuhiko Modern Control Engineering.
- (5) Crasman, J. 1973 An Asymptotic Formula For
the Period of a Volterra -
E. Veling Lotka System.
- (6) Rashevky, N. 1959 Some Remarks on the Mathe-
matical Theory of Nutrition
of Fishes.
- (7) Gause, G.F. 1934 The Struggle for Existence.
- (8) Caswell, H 1972 A Simulation Study of a
Time Lag Population Model.
- (9) Ross, G.G. 1972 A Difference-Differential
Model in Population Dynam-
ics.
- (10) Mac Donald Time Delay in Prey -
Predator Models.

- (11) Patten Systems Analysis and Simulation
Ecology
- (12) C.B. Huffaker
Biological Control
- (13) Watt Mathematical Models for use in
insect Pest Control
- (14) J. Maynard
Mathematical Ideas in Biology

La información respecto al *Boophilus microplus*, nos fue proporcionada por el Fi deicomiso Campaña Nacional contra la Garrapata.

DYNAMO MANUAL, M. I. T.

Mathematical Biosciences
(an international journal)

Computers and Biomedical
Research
(an international journal)