

SIMULACION POR COMPUTADORA
DE LA BABESIOSIS BOVINA
UTILIZANDO UNA PLANILLA ELECTRONICA
DE MODELO EDAD CLASE CON REVISION SEMANAL

Ronald D. Smith ¹

RESUMEN

Este trabajo describe el empleo de una planilla de modelo edad - clase para estudiar la dinámica de la Babesiosis Bovina y su utilización para estimar el riesgo de brotes de Babesiosis a partir de fluctuaciones natural y artificialmente inducidas en poblaciones de garrapata. El modelo se conduce por datos del contaje semanal de garrapatas. La tasa de inoculación, ejm. probabilidad diaria de infección de cualquier animal del rodeo, fue usada como un índice de estabilidad enzoótica. El modelo es especialmente útil para estimar los patrones de las poblaciones de garrapatas asociadas con estabilidad e inestabilidad enzoóticas. Los brotes de Babesiosis (debidos a la inestabilidad enzoótica) estuvieron asociados con infestaciones diarias vinculadas de dos a cinco garrapatas hembra ingurgitadas. Por debajo de este rango, las Babesia bovis Babes desaparecen, mientras que por encima de este la mayor parte de los bovinos se infectaron durante el período de resistencia como terneros. La sustitución de los contajes semanales de garrapata de rodeos que vivían en áreas enzoóticamente estables de Brasil y Paraguay produjeron tasas semanales de inoculación que excedieron los requerimientos mínimos para la estabilidad enzoótica, a pesar de la amplia variación de las poblaciones de garrapata. Los niveles de control de garrapata que podrían llevar a la inestabilidad enzoótica fueron simulados entonces para estos rodeos, evaluándose la respuesta de las poblaciones de garrapata y las tasas de inoculación.

¹DVM, PhD Departamento de Patobiología Veterinaria. Colegio de Medicina Veterinaria. Universidad de Illinois

INTRODUCCION

La Babesiosis Bovina es un obstáculo para el desarrollo de la industria pecuaria en todo el mundo. La enfermedad ocurre tanto en regiones templadas (Gran Bretaña, Holanda, Suiza) como en regiones tropicales. Las pérdidas debidas a Babesiosis están representadas por pérdida de peso, disminución de la producción de la leche y mortalidad. En algunos casos, las pérdidas atribuidas a Babesiosis son inseparables de aquellas causadas por la garrapata vector solamente. La Babesiosis Bovina es causada por Babesia spp., un grupo de protozoarios intraeritrocitarios transmitidos por varias garrapatas de uno, dos o tres huéspedes. (Friedhoff y Smith 1981). Este trabajo se centrará principalmente sobre el rol de Babesia Bovis Babes y su garrapata vector de un solo huésped, Boophilus microplus Canestrini, en la epidemiología de la enfermedad en los bovinos.

Un importante concepto epidemiológico en Babesiosis Bovina es aquel de "estabilidad enzoótica", donde la mayoría de los bovinos reciben una infección primaria durante los nueve primeros meses de vida. Las infecciones primarias de este grupo etáreo son menos severas que en bovinos mayores, y el estado resultante de portador de Babesia confiere resistencia a la enfermedad clínica frente a exposiciones posteriores (Mahoney y Ross 1972, Ross y Mahoney 1974). Las pérdidas atribuidas a Babesiosis son debidas a factores ecológicos o de manejo que alteran este equilibrio huésped-parásito, conduciendo pues a la "inestabilidad enzoótica". Esta puede ser definida como que ocurre cuando más del 25% de los bovinos experimentan una infección primaria por Babesia entre 9 y 60 meses de edad (Smith 1984). La mayor parte de los bovinos que perdió su resistencia de ternero, desarrollan enfermedad grave después de los nueve meses (Mahoney y Ross 1972), y pocos son los bovinos que permanecen en el rodeo después de los sesenta meses de edad.

La estabilidad enzoótica depende de la tasa de inoculación de babesias, ejm. la probabilidad diaria de infección de cualquier animal del rodeo. El riesgo de Babesiosis entre los bovinos susceptibles puede ser calculada a partir de la tasa de inoculación, usando la ecuación

$$P = 1 - e^{-ht} \quad (1)$$

donde P= la proporción de bovinos susceptibles posibles de contraer infección dentro de t días cuando se expusieron a una tasa de inoculación h. Los animales susceptibles pueden ser terneros nuevos, adultos que escaparon previamente a una infección, o bovinos introducidos desde regiones libres de garrapata.

La "zona de riesgo" puede ser definida como aquel rango de tasas de inoculación de babesias por encima de las cuales ocurre la mayor inestabilidad inmunológica y ecológica (Smith 1983). Basándose en los criterios expuestos, la inestabilidad enzoótica está asociada con tasas de inoculación de 0.0002 a 0.0005 (Smith 1983-1984). La mayor incidencia de Babesiosis existe con una tasa de inoculación de 0.001 donde el 60% de los bovinos reciben una infección primaria entre los 9 y 60 meses de edad. Con una tasa de inoculación de 0.005 aproximadamente 75% de los terneros se infectan antes de los 9 meses de edad. Otros han definido que la tasa mínima de inoculación diaria para la estabilidad enzoótica es de 0.01 (Mahoney et al 1981). Esto asegura la infección del 93%, por lo menos, de los terneros a los 9 meses del nacimiento.

La dinámica de transmisión de Babesia Bovis por Boophilus microplus es dependiente de un número de variables que afectan los tres componentes mayores del ciclo vital: garrapata vector, parásito y hospedero bovino. La transmisión de la enfermedad puede ser interrumpida en varios puntos (Smith 1984). La mayoría de los productores practica un encare integrado del control de la Babesiosis que incluye el control de la garrapata por medio de productos químicos y animales resistentes a las garrapatas, premunición con sangre infectante y tratamiento de los bovinos enfermos clínicamente.

Debido al papel de la garrapata en el mantenimiento de la inmunidad del rodeo a la Babesiosis, los productores son generalmente resistentes a erradicar las garrapatas, prefiriendo en cambio reducir las cargas de garrapata a un nivel "aceptable", lo que

constituye una carga aceptable de garrapatas no ha sido bien definido. Más aún, las cargas de garrapatas son difíciles de monitorear. De aquí que es importante saber cuan robusto o tolerante es este sistema vector-parásito-huésped a cargas parasitarias fluctuantes.

Smith (1983-1984) describió un modelo de ciclo vital de Babesiosis Bovina incorporando los principales componentes del ciclo vital de las babesias y en cuales las tasas de infección del bovino y de la garrapata eran mutuamente dependientes. La deficiencia mayor de este modelo era el largo de cada período de revisión, que estaba en una generación de tres meses para la garrapata vector. Esto no permite estimaciones apropiadas de la respuesta de las tasas de inoculación de babesia a cargas fluctuantes de garrapata. Este trabajo describe una planilla de modelo edad-clase en la cual las revisiones se han reducido de 3 meses a 1 semana para permitir estudios de la respuesta de la tasa de inoculación a cargas fluctuantes de garrapatas.

MATERIALES Y METODOS

Una porción del modelo de edad-clase basado en planilla electrónica, que está diseñada para aceptar datos de contaje de garrapata reales o simulados, se muestra en la Fig.1. Los aspectos cuantitativos de la ecología de Babesia bovis y Boophilus microplus fueron revisados por Smith (1983-1984) y se resumen a continuación:

La tasa de infección del rodeo (I) se define como la proporción de bovinos portadores de infección por Babesia y representa un balance entre la tasa de adquisición (h o tasa de inoculación) y pérdida (r o tasa de recuperación) de la infección. En equilibrio $I=h/(h+r)$ (Ross y Mahoney 1974). La tasa de inoculación es definida como la probabilidad de infección diaria de cualquier animal en el rodeo. Su valor está determinado por la carga parasitaria y la proporción de garrapatas infectadas con Babesia. El valor de h puede ser estimado arreglando la ecuación (1) y sustituyendo los datos serológicos de prevalencia para los diferentes grupos etarios de bovinos en la ecuación

$$h=(-\ln(1-P))/t \quad (2)$$

donde P= prevalencia serológica entre animales con un promedio de t días, corregido por el tiempo requerido después de la infección para que se desarrolle una respuesta de anticuerpos detectables (Mahoney y Mirre 1971, Friedhoff y Smith 1981, Teclaw et al. 1985).

En ausencia de reexposición, las infecciones por Babesia (I) son perdidas del rodeo a una tasa constante (r) descrita por la ecuación

$$I=1-e^{-rt} \quad (3)$$

El valor de r puede ser estimado reacomodando la ecuación (3) a producir

$$r=(-\ln(I))/t \quad (4)$$

donde J= tasa de infección en los bovinos y t= duración promedio de la infección en días. Los valores de r han sido estimados en 0.0032 para Babesia bovis y 0.0256 para Babesia bigelia - Smith y Killborne (Mahoney 1969, Smith 1983-1984). La proporción de bovinos realmente infectados con Babesia y un reservorio potencial de infección para garrapatas es calculada durante cada revisión semanal del modelo por la ecuación

$$I_{t+1}=(h/(h+1)) - ((h/(h+r)) - I_t) e^{-(h+r)d} \quad (5)$$

donde d= el intervalo entre revisiones en días (en este caso 7 días) y $I_t=1$ y I_{t+1} = la tasa de infección durante los intervalos actual y precedente respectivamente (Smith 1983). La versión de planilla de esta fórmula es descrita en la leyenda de la figura 1.

Las garrapatas hembras son susceptibles a la infección por Babesia solo durante los últimas 24 horas de su fase parasitaria de 21 días, correspondiente a su período de ingurgitación final. La infección es transmitida verticalmente a su descendencia larvaria la que transmite luego la infección dentro de los tres días de haberse subido al huésped. La tasa de infección, o tasa de esporozoitos (S), definida como la proporción de larvas que albergan babesias, refleja la tasa de infección del rodeo (I) y está modulada por la proporción de bovinos parasitemicos (pp) y la tasa de infección filial (f), la proporción de la progenie derivada de las garrapatas hembras que se han ingurgitado sobre ganado infectante. La relación entre estas variables se describe por la ecuación

$$S = (f) (I) (pp) \quad (6)$$

donde f = tasa final de infección, I = tasa de infección del rodeo y pp = proporción de I con parasitemia suficientemente alta como para infectar garrapatas. La versión de la planilla de esta fórmula es descrita en la leyenda de la figura 1.

La tasa de inoculación resultante de la exposición de los bovinos a la próxima generación de garrapatas infectadas está directamente relacionada con la carga de garrapata y la tasa de esporozoitos. La relación entre la carga de garrapata (M), la tasa de esporozoito (S), y la tasa de inoculación (h) se expresa como

$$h = 2 (M) (S) \quad (7)$$

donde M = el número de hembras ingurgitadas/animal/día, asumiendo una relación de sexos 1:1. La versión de la planilla de esta fórmula es descrita en la leyenda de la figura 1. El número de garrapatas que completan la ingurgitación puede no reflejar apropiadamente el número de las adheridas inicialmente, ya que puede ocurrir una significativa mortalidad entre larvas (L) dentro de las primeras 24 horas de haberse adherido.

Esto se refleja en la siguiente ecuación, que se usa para estimar el número de garrapatas ingurgitadas que resulta de la exposición de los bovinos a L larvas

$$M = aL^c \quad (8)$$

donde a = factor limitante (un reflejo de la resistencia racial) y c = coeficiente de competencia (reflejo del efecto de sobrecarga de garrapatas). Los valores de a y c han sido estimados para varias razas bovinas por Sutherst et al. (1973). Esta ecuación es utilizada solamente cuando se emplean cargas simuladas más que reales de garrapata. El éxito en el hallazgo del huésped (p) debe incluirse también cuando cargas simuladas son usadas en el modelo. Se define como el número de larvas por hembra ingurgitada que posteriormente encuentre un huésped, ejm.

$$p = L/M \quad (9)$$

y refleja lo favorable de un hábitat para las etapas no parasitarias de la garrapata, y la relativa abundancia de huéspedes. Puede ser estimada para cualquier población de garrapatas de las variables precedentes a través de la ecuación:

$$p = (e^{(1 \ln(M/a)/c)}) / M \quad (10)$$

que fue derivada por la readección de la ecuación (8) para resolver L y sustituirlo en la ecuación (9).

El modelo de edad-clase fue desarrollado utilizando una planilla Microsoft Works - (Microsoft 1988) sobre una microcomputadora Epson (Epson America Inc., Torrance, California). Fue inicializada asumiendo que a infestaciones de 5 hembras ingurgitadas / día (M=5), la tasa de inoculación (h) es 0.005 y la tasa de infección de garrapata (S) es 0.0005 (Friedhoff y Smith 1981). Para cada contaje semanal simulado de garrapatas se entraron datos para un año entero y el modelo hecho correr hasta que el patrón anual de la tasa de inoculación llegó a un equilibrio. Los resultados fueron evaluados gráficamente y los datos correspondientes leídos de la planilla. El modelo fue corrido al comienzo en condiciones constantes de estado (cargas estables de garrapata) para medir la consistencia con estimaciones derivadas de un modelo anterior del ciclo vital (Smith 1983-1984).

Posteriormente fueron sustituidos los datos reales de contaje de garrapatas de áreas enzoóticamente estables de Brasil y Paraguay para evaluar la respuesta de la tasa de inoculación con poblaciones de garrapata naturalmente fluctuantes: los contajes promedio anuales de garrapatas y las tasas de inoculación y sus rangos, fueron estimados y comparados con valores teóricos para la estabilidad enzoótica. Finalmente, los diferentes niveles de control de garrapatas fueron simulados en ambos sitios hasta que la tasa promedio anual de inoculación = 0.0001, correspondiendo al riesgo más alto de babesiosis en bovinos entre 9 meses y 5 años.

Fueron analizadas las correspondientes cargas medias y semanales.

RESULTADOS

Relación entre cargas de garrapatas (M) y tasas de inoculación (r) bajo condiciones constantes.

Hubo un acuerdo perfecto entre los modelos de edad-clase y ciclo vital. Las cargas constantes simuladas de garrapatas de 2.07 y 5 garrapatas hembra ingurgitadas por animal y por día resultó en tasas de inoculación bovina (h) de 0.0002 y 0.005, respectivamente, representando los límites inferior y superior de la zona de inestabilidad enzoótica. Con cargas de garrapatas mayores de 5 hembras ingurgitadas/animal/día se infectan por lo menos 75% de los terneros (y por lo tanto se inmunizan) hasta los 9 meses de edad, durante el período de inmunidad del ternero (Mahoney y Ross 1972). Hubo que aumentar las cargas promedio diarias a 8 para llegar a la mínima tasa de inoculación de 0.001 especificada por Mahoney et al (1981) para la estabilidad enzoótica. La carga parasitaria crítica (M) para el mantenimiento de Babesia bovis en un rodeo es aproximadamente 1.95 hembras ingurgitadas/día, equivalente a 3.90 garrapatas picando por día, asumiendo una relación macho:hembra 1:1. Por debajo de este nivel Babesia bovis desapareció de los bovinos y de la población de garrapatas.

Respuesta de las tasas de inoculación a cargas fluctuantes de garrapatas.

Las fluctuaciones climáticas a lo largo del año pueden profundizar los efectos sobre el ciclo vital de las garrapatas. El modelo de edad-clase fue usado para predecir el efecto probable de las cargas de garrapatas que fluctúan naturalmente sobre las tasas de inoculación de babesia. Los datos representativos de los contajes fueron derivados de los de Brasil y Paraguay. Los resultados están resumidos en la Tabla 1 y graficados en las figuras 2 y 3. El retraso de tres semanas entre las tasas de inoculación y la carga de garrapatas en las figuras 2 y 3 se debe al hecho de que las larvas transmiten la infección pero no caen del huésped hasta tres semanas después.

Los investigadores del Centro Nacional de Investigación Animal (CNPGC, Campo Grande - Brasil) ennumeraron cargas de Boophilus microplus en varias razas bovinas a intervalos de dos semanas durante un período de un año. Las garrapatas que iban a desprenderse en las próximas 24 hrs. (hembras ingurgitadas) fueron contadas sobre cada animal a intervalos regulares. No se utilizaron prácticas de control de garrapata y el área considerada como enzoóticamente estable (Madruga et al. 1984, Smith et al 1984). Los bovinos Nelore (Brahaman) consistentemente llevaban la población más baja de garrapatas, cuyo número caía a veces dentro de la zona de inestabilidad enzoótica (2-5 hembras ingurgitadas/animal/día). Fueron simulados cambios temporales en la tasa de inoculación para estos animales (figura 2) y los resultados se resumen en la Tabla 1. Los contajes semanales fueron estimados por interpolación. A pesar de las marcadas variaciones estacionales en los contajes de garrapatas, la tasa de inoculación permaneció por encima de 0.005 todo el año excepto en una semana donde cayó a 0.0009. La inoculación promedio del año fue de 0.0123 (rango = 0.0009-0.0605). La carga promedio de garrapatas fue diez hembras ingurgitadas/día (rango = 0.8-49.2).

Datos similares se presentan en la figura 3 que grafica los contajes reales de garrapata y las tasas simuladas de inoculación en un campo experimental en Paraguay y en ausencia de medidas de control de garrapata las cargas fueron contadas mensualmente por investigadores del Ministerio de Agricultura, Ganadería (MAG) en Surubí y Paraguay

(IICA 1985). Los datos semanales fueron estimados por interpolación. A pesar de que las cargas de garrapata fluctuaron ampliamente, la tasa de inoculación promedio de 0.0262 (rango=0.003-0.0515) estuvo por encima del mínimo requerido para la estabilidad enzoótica. La carga promedio diaria de garrapata fue 18.7 (rango=38-38).

El efecto del control de la garrapata sobre la estabilidad enzoótica.

Estudios de campo han mostrado que los baños estratégicos y limpieza de pastura más baño pueden reducir las cargas de garrapatas debajo de lo requerido para el mantenimiento de la estabilidad enzoótica (Johnston et al. 1981, Mahoney et al. 1981). Los niveles de control alcanzados con estas estrategias tuvieron rangos del 61% al 96%. El modelo de edad-clase fue utilizado para determinar que nivel de control en los estudios de rodeos brasileños y paraguayos (figura 2 y 3) pueden conducir a la inestabilidad enzoótica. Varios niveles de control de garrapata simulados se aplicaron uniformemente durante todo el año a cada población de garrapata hasta una tasa media de inoculación aproximada de 0.001, que se asoció con el grado más alto de inestabilidad enzoótica. Los efectos de los niveles correspondientes de control de garrapata son graficadas en las figuras 4 y 5 y resumidas en la Tabla 1.

El nivel más alto de inestabilidad enzoótica ocurrió con el 69% de control de la población de garrapatas brasileñas y con el 83% de la población de garrapatas paraguayas. A pesar del ocasional incremento de las poblaciones de garrapatas más allá del mínimo requerido para la estabilidad enzoótica ($M=5$), las tasas de inoculación nunca exceden 0.005. Las diferencias en niveles de control requeridos y rangos de cargas de garrapatas y tasas de inoculación reflejan la ecología única de cada lugar geográfico.

DISCUSION

Este trabajo describe la utilización de una planilla de modelo edad-clase para estudiar la dinámica de la Babesiosis Bovina y para estimar el riesgo de brotes de babesiosis de fluctuaciones natural o artificialmente inducidas en poblaciones de garrapatas. La tasa de inoculación, ejm. probabilidad diaria de infección de cualquier animal del rodeo, fue usada como un índice de estabilidad enzoótica. El modelo es especialmente útil para estimar los patrones de cargas de garrapatas asociadas con estabilidad o inestabilidad enzoótica.

Los estudios serológicos indican que los bovinos brasileños en este estudio residieron en un área de estabilidad enzoótica (Madruga et al. 1984, Smith et al. 1984). Aunque estudios serológicos comparables no fueron realizados en Paraguay, las altas cargas de garrapata sugieren que esta región fue también enzoóticamente estable. Las tasas de inoculación simuladas tanto en Brasil como en Paraguay estuvieron por encima del umbral mínimo necesario para la estabilidad enzoótica a pesar de las fluctuaciones periódicas de las cargas de Boophilus por debajo del requerido para mantener la estabilidad enzoótica. El riesgo mayor de babesiosis en estas regiones existe para bovinos introducidos desde otras zonas libres de garrapatas o donde los bovinos infectados de estas regiones son introducidos en zonas libres.

Se emplean varias estrategias de control (baños) de garrapata para controlar Boophilus Spp (Sutherst et al. 1979, Johnston et al. 1981). "Baños de umbral económico" se practican donde las poblaciones de garrapata fluctúan estacionalmente, algunas veces cayendo debajo de niveles requeridos para mantener la estabilidad enzoótica. Aquí el objetivo es evitar interferir con la inmunidad a la babesiosis naturalmente adquirida cuando ternero; bañando el ganado cuando el número de garrapatas excede un nivel arbitrariamente determinado. Esto está generalmente basado en la percepción del productor de que nivel de infestación es económicamente importante y, como tal está sujeto a una variabilidad considerable. Los "baños planificados" están secuenciados para coincidir con otras prácticas de manejo tales como vacunaciones, castraciones o esquemas de rotación de pasturas. En esta forma puede planificarse juntar el ganado en ciertos momentos del año sin tener que monitorear cercanamente las cargas de garrapata. "Baños fijos" son programados a intervalos regulares durante los períodos en que las cargas parasitarias son más pesadas. Los baños mensuales están recomendados para el control de Boophilus Spp, basados en las tres semanas de la fase parasitaria y la dura-

ción del efecto residual, generalmente una semana. "Baños estratégicos" están basados sobre un detallado conocimiento del momento de emergencia de las fases no parasitarias transinvernantes. El objetivo es reducir la necesidad de bañeaciones periódicas durante el año mediante el control intensivo de la primer generación parasitaria transinvernal. "limpieza de pastura más baños" toma ventaja de la relativamente corta sobrevivencia de las larvas de Boophilus en la pastura. El ganado se baña cuando se cambia de potrero.

En vista de las bajas cargas de garrapatas que se requieren para mantener la estabilidad enzoótica, ni las estrategias del umbral económico, ni de baños planificados o fijos son pasibles de predisponer al ganado brasileño o paraguayo en este estudio a brotes de babesiosis. Los niveles de control sostenido de garrapata simulados en este estudio pueden alcanzarse fácilmente con bañeaciones estratégicas o limpieza de pasturas más bañeaciones que no deberían practicarse en ausencia de medidas inmunoprolifáticas concurrentes (Mahoney et al. 1981, (Johnston et al. 1981). El efecto del control simulado de garrapatas tasa de inoculación intentó demostrar la utilidad del modelo de edad-clase para la predicción de la posibilidad de brotes de babesiosis. Desde que los procedimientos de control podrían ser instituidos en momentos elegidos en lugar de hacerlo uniformemente durante el año, las cargas parasitarias reales brindarían una estimación más apropiada de las tasas de inoculación.

El modelo de edad-clase y los estudios de campo (Cardozo et al. 1981, Smith et al. - 1984) sugieren que la babesiosis puede ser erradicada sin erradicar la garrapata vector ya que no está disponible ninguna vacuna comercialmente apropiada, es importante anticipar los posibles efectos de poblaciones bajas o fluctuantes de garrapata que resultan de programas de control de estas.

La comunicación y colaboración cercana y continuada entre programadores, investigadores de campo y de laboratorio, y personal de control de enfermedades conducirían a mejorar la comprensión y el control de la Babesiosis Bovina y otras enfermedades hemoparasitarias transmitidas por vectores.

- Cardozo, H.M.A. Solari, C. Petraccia, and A. Nari. 1981. Epizootiologic study of hemoparasites transmitted by *Boophilus microplus* in an enzootic region of Uruguay. 9th Jornadas Uruguayas de Buiatría (in Spanish), Paysandu, June-10-13, 16 pp.
- Friedhoff, K.T., and R.D. Smith 1981. Transmission of Babesia by ticks, pp. 267-321. - In M. Ristic, and J.P. Kreier (eds.), Babesiosis. Academic Press, New York, 589 pp. InterAmerican Institute for Agricultural Cooperation (IICA). 1985 Tick control project. Feasibility study. InterAmerican Institute for Agricultural Cooperation Zona Sur, Asunción, Paraguay (in Spanish), InterAmerican Institute for Agricultural Cooperation, 309 pp.
- Johnston, L.A.Y., F.P. Haydock, and G. Leatch. 1981. The effect of two systems of cattle tick (*Boophilus microplus*) control on tick populations, transmission of *Babesia* spp. and *Anaplasma* spp. and production of Brahman crossbred cattle in the dry tropics. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 21:256-267.
- Madruca, C.R., E. Aycardi, R.H. Kessler, M.A. Moreira Schenk, G. Ramos de Figueredo, - and J. B. Esmela Curvo. 1984. Levels of anti-Babesia Bigemina and Babesia bovis antibodies in Nelore, Ibagé and Nelore cross claves. Pesq. Agropec. Bras. (Brasilia) 19:1163-1168 (in Portuguese).
- Mahoney, D. F. 1969. Bovine babesiosis: a study of factors concerned in transmission. Ann. Trop. Med. Parasitol. 63: 1-14.
- Mahoney, D. F. and G. B. Mitre 1971. Bovine babesiosis: estimation of infection rates in the tick vector *Boophilus microplus* (Canestrini). Ann. Trop. Med. Hyg. 65: 309-317.
- Mahoney, D. F. and D. R. Ross. 1972. Epizootiological factors in the control of bovine babesiosis. Aust. Vet. J. 48: 292-298.
- Mahoney, D.F., I.G. Wright, B. V. Goodger, G. B. Mirre, R. W. Sutherst, and K.B. W. Utech. 1981. The transmission of Babesia bovis in herds of European and zebu X European cattle infested with the tick *Boophilus microplus*. Aust. Vet. J. 57:461-469.
- Microsoft Works User's Guide and Reference (for IBM personal computers and compatibles). 1988 pp. 153-336. Microsoft Corporation, Redmond, Washington
- Ross, D. R., and D. F. Mahoney. 1974. Bovine babesiosis: computer simulation of Babesia argentina parasite rates in Bos taurus cattle. Ann. Trop. Med. Parasitol. 68:385-392.
- Smith, R. D. 1983. Babesia bovis: computer simulation of the relationship between the tick vector, parasite, and bovine host. Exptl. Parasit. 56:27-40.
1984. Epidemiology of babesiosis, pp. 207-232. In M. Ristic, P. Ambroise - Thomas, and J. P. Kreier (eds) Malaria and babesiosis. Martinus Nijhoff Publishers, Boston, Massachusetts, 313 pp.
- Smith, R.D., C.R. Madruca, R. H. Kessler, M.A.M. Schenk, H. Cardozo, M.A. Solari, and A. Nari. 1984. Field validation of a computer simulation model of bovine babesiosis, pp. 341-345. In Proceedings, Second symposium on computer applications in veterinary medicine. Mississippi State University, Starkville, Mississippi, May 23-25, 355 pp.
- Sutherst, R. W., K.B.W. Utech, M.J. Dallwitz, and J.D. Kerr 1973. Intra-specific competition of *Boophilus microplus* (Canestrini) on cattle. J. Appl. Ecol. 10: 855-862
- Sutherst, R.W.G.A. Norton, N.D. Barlow, G.R. Conway, M. Birley, and H.N. Comins 1979. An analysis of management strategies for cattle tick (*Boophilus microplus*) control in Australia. J. Appl. Ecol. 16:359-382.
- Teclaw, R. F., S. Romo, Z. García, M. Castaneda, and G.G. Wagner. 1985. A seroepidemiologic study of bovine babesiosis in the Mexican states of Nuevo Leon, Tamaulipas and Coahuila. Prev. Vet. Med. 3:403-415

	A	B	C	D	E	F	G
1	Babesia bovis Model with 1 Week Updates						
2				Tick Babesiasis		Bovine Babesiasis	
3				Tick Burden	Sporo Rate	Inoc Rate	Infec Rate
4				(M)	(S)	(h)	(I)
5	Variables		Week				
6			1	2.00	0	0.0034	0
7	Limiting Factor (a) =	0.2765	2	2.00	0	0	0
8	Competition Coefficient (c) =	0.7922	3	2.00	0	0	0.02326
9	Sporozoite Rate (s) =	0.0005	4	3.40	0.0005	0	0.02274
10	Recovery Rate (r) =	0.0032	5	4.80	0	0	0.02224
11	Proportion Parasitemic (pp) =	0.3	6	8.40	0	0	0.02175
12	Host-Finding Success (p) =	7.7285405	7	12.00	0	0	0.02127
13	Filial Infection Rate (f) =	0.0027333	8	10.00	0	2.59E-4	0.0207
14	Initial incidence (I) =	0.6087532	9	8.00	0	2.31E-4	0.02033
15	Initial Tick Burden (M) =		5	10	7.40	2.04E-4	0.02164
16	Initial Inoculation Rate (h) =	0.005	11	6.80	1.91E-5	1.36E-4	0.02273
17			12	6.20	1.87E-5	6.98E-5	0.0235
18			13	5.60	1.82E-5	8.19E-5	0.024
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							

FIGURA N° 1

Una porción de la planilla de Microsoft en que está basado el modelo de edad-clase para Babesia Bovis y su transmisión entre bovinos y garrapatas. Cada fila de la planilla representa una revisión al día semanal del modelo. Las columnas se usan para los valores de las variables claves del modelo, que están calculadas por fórmula en cada celda del modelo. Las fórmulas representativas de la planilla para calcular la tasa de esporozoitos (S), la tasa de inoculación (h), y la tasa de infección (I) son:

Tasa de esporozoitos (celda E16): (GE) (\$B\$11) (\$B\$13)

Tasa de inoculación (celda F13): 2(D16) (E16)

Tasa de infección (celda G8): (F6/(F6+\$B\$10)) ((F6/F6+\$B\$10) G7) (EXP((F6+\$B\$10) (7))

El "\$" precediendo las referencias a las celdas indica referencias absolutas o fijas a celdas que no cambian en las filas subsiguientes de la planilla. La población parasitaria representativa se basa sobre poblaciones de garrapatas no controladas de Brasil (Fig. 2). Las ecuaciones que he modelado y su derivación son descriptas en el texto.

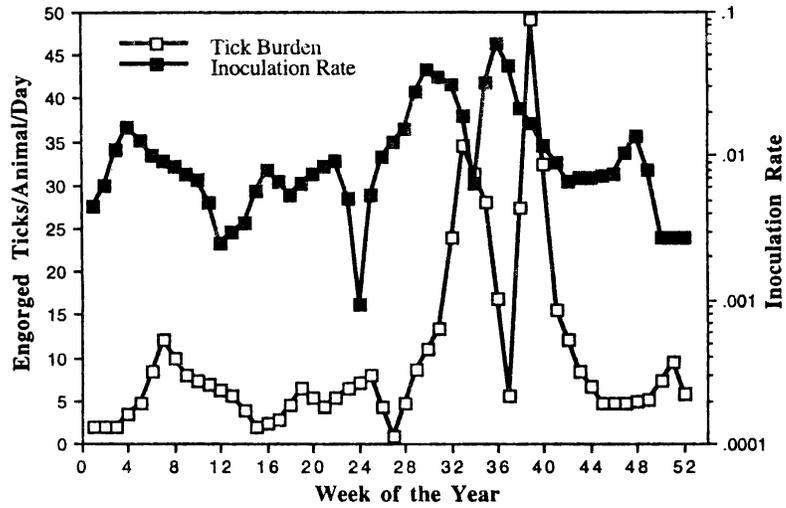


FIGURA N° 2

Poblaciones semanales de garrapata y tasas de inoculación simuladas de *Babesia bovis* en bovinos Nelore en Campo Grande, Brasil. La simulación fue creada y graficada con la planilla del modelo de edad_clase descrita en la Fig. 1. Los datos están resumidos en la Tabla 1. El retraso de 3 semanas entre las tasas de inoculación y la población de garrapata se debe al hecho de que las larvas transmiten la infección pero no caen del huesped hasta 3 semanas después.

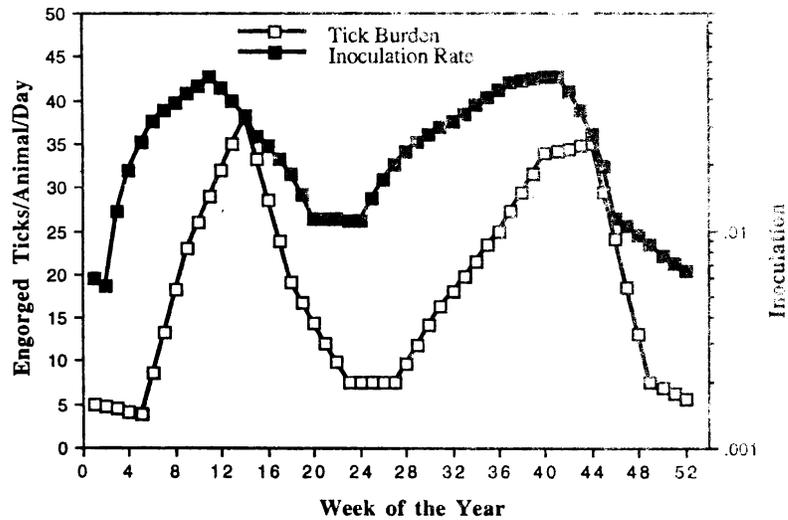


FIGURA N° 3

Poblaciones semanales de garrapata y tasas simuladas de inoculación de bovinos en Surubí y Paraguay. La simulación fue creada y graficada con la planilla del modelo de edad clase descrita en la Fig. 1. Los datos están resumidos en la Tabla N°1. El retraso de 3 semanas entre las tasas de inoculación y la población de garrapata se debe al hecho de que las larvas transmiten la infección pero no caen del huésped hasta 3 semanas después.

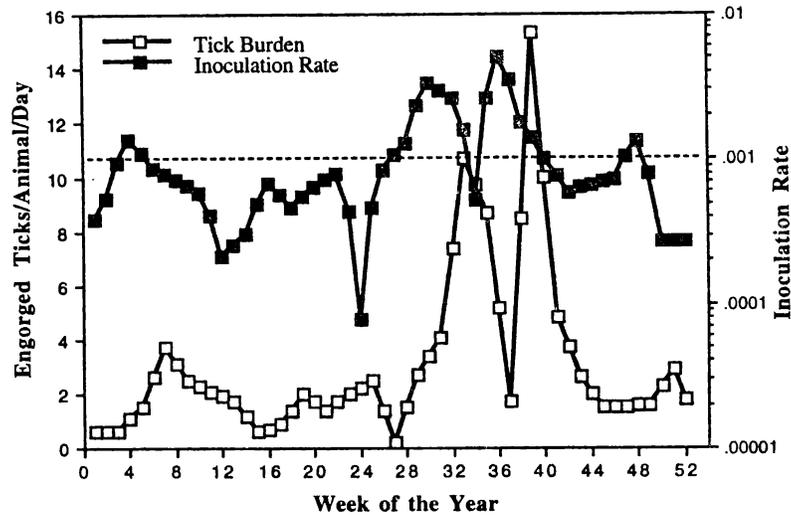


FIGURA N°4

Poblaciones semanales de garrapata y tasas similares de inoculación de bovinos Nelore en Campo Grande, Brasil (Fig.2) bajo un control simulado de garrapatas de 69%. Este nivel de control, resultante en una tasa de inoculación de 0,001 (línea rayada), lo que significa el mayor grado de inestabilidad enzoótica. La incidencia de la infección de bovinos entre 9 y 60 meses sería de 60% aproximadamente. La tasa promedio de inoculación (h)=0,001. Los datos están resumidos en la Tabla 1.

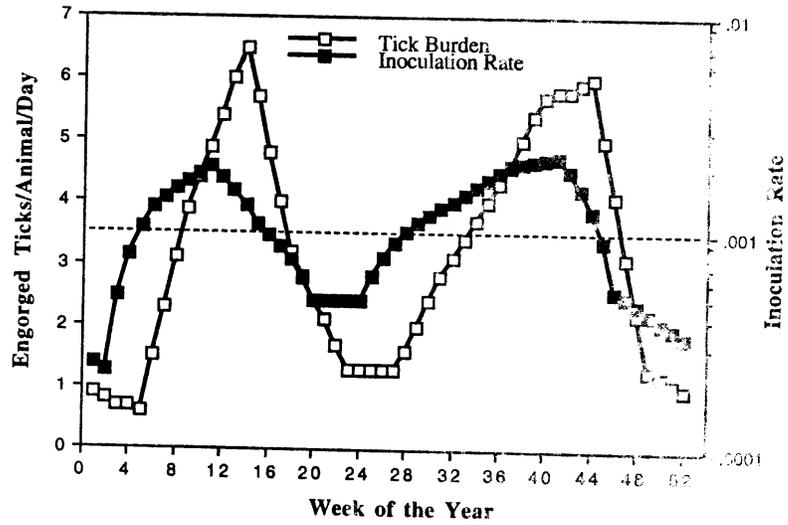


FIGURA N°5

Poblaciones semanales de garrapata y tasa simuladas de inoculación de bovinos en Surubí, Paraguay (Fig.3) bajo un control simulado de garrapata de 23%. Este nivel de control, resultante en una tasa de inoculación de 0,001 (línea rayada), significó el mayor grado de inestabilidad enzootica. La incidencia de la infección de bovinos entre 9 y 60 meses sería de 60% aproximadamente. La tasa promedio de inoculación (h)=0,001. Los datos están resumidos en la Tabla 1.