



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO EPIDEMIOLOGICO  
DE UN BROTE DE FIEBRE AFTOSA MEDIANTE  
UN MODELO DE SIMULACION

TESIS PRESENTADA ANTE LA  
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES DE LA  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE  
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

POR

**JUDITH MARGARITA GAYMARD MOTE**

ASESORES: MVZ MCV JORGE FRANCISCO MONROY LOPEZ  
MVZ MPVM MARIA DE LOURDES GUERRERO LOPEZ



MEXICO, D. F.

MARZO DE 2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Gaynard Mote  
Judith Margarita

FECHA: 15 de marzo /04

FIRMA: Gaynard

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EPIDEMIOLÓGICO  
DE UN BROTE DE FIEBRE AFTOSA MEDIANTE  
UN MODELO DE SIMULACIÓN**

Tesis presentada ante la  
División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

de la

Universidad Nacional Autónoma de México  
para la obtención del título de  
Médico Veterinario Zootecnista

Por

Judith Margarita Gaynard Mote

Asesores: MVZ MCV Jorge Francisco Monroy López  
MVZ MPVM María de Lourdes Guerrero López

México D.F., marzo de 2004

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional.

A Zaúl, por ser el ángel que ilumina mi vida.

A mis hermanos, por todos los momentos compartidos.

A Edwin, por todo el apoyo y amor brindado en cada momento.

A Sera, por nuestra amistad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Vida, por el milagro de existir y guiarme por este camino;

a mis asesores, por su tiempo, apoyo y confianza;

al apoyo brindado por la Secretaría General de la UNAM a través de la Dirección General de Evaluación Educativa y del Programa de Becas para la Elaboración de Tesis de Licenciatura en Proyectos de Investigación (PROBETEL);

al MVZ Marco Antonio Casillas Fabila, la MVZ Alejandra León Cruz, el MVZ Tomás Reyes, al MVZ Antonio Horta y a Carmen Luz por la ayuda que recibí durante la elaboración de este trabajo;

a mis sinodales, a la UNAM, a la FMVZ y a todos aquellos que me ayudaron a conseguir este logro.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
MATERIAL Y METODO.....	11
RESULTADOS.....	13
DISCUSIÓN.....	15
LITERATURA CITADA.....	25
CUADROS.....	29
FIGURAS.....	37

## RESUMEN

GAYMARD MOTE JUDITH MARGARITA. Evaluación del comportamiento epidemiológico de un brote de fiebre aftosa mediante un modelo de simulación (Bajo la dirección de: MVZ MCV Jorge Francisco Monroy López y MVZ MPVM María de Lourdes Guerrero López).

El presente trabajo se realizó con el propósito de evaluar el comportamiento epidemiológico de un brote de fiebre aftosa (FA) en escenarios con baja y alta densidad de ganado dentro del país, utilizando tres estrategias de control y erradicación: eliminación de animales infectados (EAI), eliminación de animales infectados y contactos peligrosos (EICP) y eliminación de animales infectados y vacunación en anillo de los susceptibles (EIVA). Con este propósito se utilizó un modelo australiano estocástico que simula brotes de FA, se analizaron los datos de las regiones para definir su posible influencia en la diseminación de la enfermedad y, de esta manera se establecieron los indicadores y parámetros necesarios para correr las simulaciones. Los resultados obtenidos indicaron que el escenario de alta densidad fue el más afectado por la FA con cualquiera de las estrategias utilizadas. Con la estrategia EAI se obtuvo la duración más larga de los brotes en ambos escenarios por lo que se consideró la estrategia menos favorable a ser aplicada. Con la estrategia EICP se redujo la duración y el tamaño de los brotes tanto en el escenario de alta como de baja densidad comparado con la estrategia EAI y con la estrategia EIVA la eliminación de animales resultaría la mayor en los dos escenarios. Se concluyó que la estrategia EICP sería la más adecuada bajo las condiciones simuladas en los dos escenarios (alta y baja densidad de ganado) en caso de presentarse algún brote de FA.

## INTRODUCCIÓN

La **Fiebre Aftosa (FA)** es una enfermedad viral, aguda, altamente transmisible, de los animales de pezuña hendida ya sean domésticos o silvestres, incluyendo bovinos, cerdos, borregos, cabras, cerdos salvajes y ruminantes silvestres, ocasionalmente afecta a el hombre (1). Se caracteriza clínicamente por la aparición de vesículas, seguidas por el desarrollo de erosiones en el epitelio del hocico, belfos, ollares, patas, pezones, ubres y pilares del rumen (1). La tasa de morbilidad es casi del cien por ciento en una población susceptible de animales, mientras que la mortalidad es menor del uno por ciento aunque, en animales jóvenes y por ciertos serotipos, puede ser mucho mayor (2). En la mayoría de las especies animales, los jóvenes son afectados más severamente que los adultos (3).

**Etiología.** El virus de FA es un *Picornavirus* del grupo de los aftovirus que contiene una molécula de ácido ribonucleico (ARN) (3). Los métodos inmunológicos de diagnóstico permiten distinguir siete grupos serológicos distintos: A, O, C, Asia 1, Territorios del Sur de África 1, 2, 3 (SAT por sus siglas en inglés), los cuales han surgido por cambios constantes que ha sufrido el virus debido a dos fenómenos: mutación y recombinación genética (2). Los tipos A, O y C están distribuidos en Europa, América y Asia, el tipo Asia 1 existe en el Continente Africano y Medio Oriente y los tipos SAT 1, 2 y 3 sólo existen en África (3).

**Susceptibilidad del virus.** El virus se inactiva a un pH debajo de 6.5 o arriba de 11 (2). Es más estable a un pH entre 7.2 y 7.6, dentro de este rango se mantiene activo más de un año a una temperatura de 4°C y conforme la temperatura se incrementa su actividad se reduce siendo de 10 semanas a 22°C, 10 días a 37°C y menos de 30 minutos a 56°C (4). En el suero o en otro material orgánico sobrevive a la deshidratación, se puede transportar en objetos, puede sobrevivir por largos periodos en la médula ósea y los nódulos linfáticos refrigerados o congelados (2), así como en materia fecal seca por 14 días, en orina por 39 días y al ser aerotransportado cuando la humedad relativa se encuentra arriba del 60%, debajo de este valor se inactiva rápidamente (5).

La desinfección más efectiva se logra a través del uso de ácidos o álcalis adicionando algún detergente. El carbonato de sodio al 4% con un detergente es probablemente la mejor elección en términos de costos, eficiencia y aceptabilidad para el contacto con la piel (5).

El virus se inactiva a los tres días después del sacrificio, como resultado de la reducción del pH del cadáver asociado a la formación del ácido láctico y pirúvico durante el *rigor mortis* aunque persiste mucho más en la médula ósea, nódulos linfáticos y coágulos sanguíneos de los grandes vasos debido a que en estas estructuras dichos cambios no ocurren (4,5).

**Portadores.** El papel de los portadores en la epidemiología de la FA está aún por aclarar porque no se ha demostrado la transmisión por contacto entre animales portadores y susceptibles. El virus que se recupera de la faringe de los portadores es plenamente virulento por inoculación para cualquier especie animal receptible, pero esos portadores no transmiten el virus por contacto. El carácter de portadores se ha comprobado en la vaca, oveja y cabra, pero no en el cerdo (3).

**Puerta de salida.** El virus aftoso puede ser eliminado por cualquier vía, las más importantes para el mantenimiento de la cadena epidemiológica de la FA son el aire espirado, la leche y los órganos infectados de animales faenados (6). Durante la fase aguda de la enfermedad todas las secreciones de los animales infectados pueden contener altas cantidades de virus (5). El ganado infectado puede eliminar virus desde cuatro o cinco días antes de la aparición de signos clínicos y los cerdos desde diez días antes de que la enfermedad se manifieste (1,4).

**Transmisión.** El virus de la FA se puede transmitir por contacto directo entre los animales infectados y susceptibles e indirectamente por fomites contaminados y productos animales, (7); las personas, sus prendas de vestir, utensilios, implementos, vehículos y animales como perros, gatos, roedores, equinos y aves pueden actuar como propagadores del virus de la FA (1,8).

**Puerta de entrada.** Los animales se pueden infectar por inhalación o por ingestión de partículas virales al penetrar por vía respiratoria o por mucosa bucal (3,7). También puede penetrar por lesiones en el hocico o en las patas que tengan contacto con material contaminado (5) y posiblemente la vía genital, por inseminación natural o artificial. Para iniciar la infección en el

ganado bovino, la vía más eficiente parece ser la respiratoria, pues requiere la menor dosis viral. La vía oral juega también un papel epidémico importante, en particular en cerdos y terneros (6).

**Período de incubación.** Depende de la especie, dosis, ruta de entrada y cepa del virus con una variación de 2 a 10 días en bovinos, de 2 a 4 días en ovejas y cabras y de 1 a 2 días más en cerdos (5), considerándose como máximo un periodo de 14 días (1).

En un brote, los ovinos actúan como huéspedes de mantenimiento (2) por la lenta evolución del contagio (6), los cerdos como amplificadores del virus ya que eliminan altas concentraciones de virus (7) y los bovinos como indicadores, ya que es la especie en la que es más factible observar los signos clínicos. La sospecha de FA en ganado debe considerarse siempre que exista ptialismo y cojera, o se sospeche de una lesión vesicular (2).

**Diagnóstico.** Es imprescindible realizar un diagnóstico rápido y preciso para poder establecer las medidas oportunas de control, a partir del cuadro clínico y las lesiones observadas aunque es fundamental el diagnóstico de laboratorio pues por ser una enfermedad vesicular, la FA puede muchas veces ser confundida con otras enfermedades vesiculares causadas por agentes etiológicos diferentes que producen cuadros clínicos parecidos como la estomatitis vesicular, el exantema vesicular, la enfermedad vesicular del cerdo, estomatitis papular bovina, rinotraqueitis infecciosa bovina, diarrea viral bovina, entre otras (3).

**Países libres de la enfermedad y situación en México.** Según la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), a enero de 2004, los países libres de la enfermedad en donde no se practica la vacunación son Albania, Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Bosnia y Herzegovina, Bulgaria, Canadá, Corea, Costa Rica, Croacia, Cuba, Rep. Checa, Chile, Chipre, Dinamarca, El Salvador, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estados Unidos de América, Estonia, Ex Rep. Yugoslava de Macedonia, Finlandia, Francia, Grecia, Guatemala, Guyana, Holanda, Honduras, Hungría, Indonesia, Irlanda, Islandia, Italia, Japón, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Madagascar, Malta, Mauricio, México, Nicaragua, Noruega, Nueva Caledonia, Nueva Zelanda, Panamá, Polonia, Portugal, Reino Unido, Rumania, Singapur, Suecia, Suiza, Ucrania y Vanuatu (9).

Actualmente, México es un país libre de FA y ha mantenido esta condición desde 1954, cuando fue erradicada del territorio nacional. Dicha acción constituyó un gran logro en la salud animal de México que tuvo un alto costo social y pérdidas cuantiosas en la ganadería del país, con el sacrificio de más de un millón de cabezas de ganado, y la producción y aplicación de 60 millones de dosis de vacunas (8).

**Importancia de la fiebre aftosa.** Las pérdidas en productividad atribuidas a la enfermedad pueden ser directas, como la disminución en la producción de carne y leche, además de ocasionar abortos y muertes o indirectas por los problemas que crea en la comercialización de leche, carne y sus productos (10).

Una vaca preñada, si enferma de FA, tiene una posibilidad del 20% de abortar y si está en lactación de perder en promedio el 15% de su producción anual de leche por las lesiones en la ubre y pezones que sirven de puerta de entrada para los agentes causantes de mastitis (10). Es posible que un animal lactando no recupere su producción por el daño al tejido secretor (2). Los bovinos de engorda pierden en promedio 15% de su peso y sufren un retraso de 3 meses en comparación con los animales sanos (10).

La infección por FA en criaderos de cerdos trae consigo pérdidas físicas enormes por la alta incidencia de abortos en hembras gestantes y muertes sobre todo en cerdos lactantes y jóvenes (10). En ovinos y caprinos la magnitud de las pérdidas es muy variable, desde simples cojeras hasta altos índices de abortos y muertes de recién nacidos (10).

Se considera que el mayor perjuicio económico de la enfermedad es de tipo indirecto y se presenta en el mercado internacional de productos de origen animal: carne, leche y derivados. Los países libres de la enfermedad, que son los importadores de mayor potencia, imponen severas restricciones a los productos de origen animal de países donde existe la FA, reduciendo las transacciones y castigando los precios de un gran número de productos de origen animal (10) pues disponen de la libertad de operar en un mercado mundial de gran amplitud y gozan además de una diferencia de

precios sensiblemente más altos comparados con los que obtienen los países afectados por la FA (17).

**Estrategias de control y erradicación:**

Las medidas que se toman para el control y erradicación de la FA se basan en : prevenir el contacto entre animales susceptibles y el virus; detener la producción de virus a partir de animales infectados e incrementar la resistencia de animales susceptibles (1).

**Cuarentena y control de movilización.** Estas medidas previenen la dispersión del virus en el área afectada y favorecen para que la erradicación sea exitosa (1,11). Según el estado de infección y por razones administrativas, el área afectada se divide en área focal (AF), área perifocal (AP) y área tampón o de amortiguamiento (AA). La primera comprende los predios con animales enfermos y predios vecinos con posibilidad de contacto con infectados, la segunda comprende predios que rodean el AF, hasta donde exista riesgo de difusión del brote, en un radio aproximado de 5 a 10 Km variable según accidentes geográficos, áreas urbanas u otras que sirvan como barreras para evitar la difusión de la enfermedad y el AA se establece alrededor del AP (11) la cual se considera área de seguridad y está libre de la enfermedad.

**Eliminación de animales.** En toda enfermedad exótica que represente un serio problema económico es recomendable como medida la eliminación de los casos clínicos y los contactos (11). El sacrificio de animales como consecuencia de una política de control y/o erradicación de enfermedades es una decisión que debe tomarse sobre la base de análisis técnicos, económicos, sociales y políticos. Cuando tal medida es recomendada, no solamente se deben tener en cuenta los procedimientos para el sacrificio, eliminación de los animales y desinfección, sino otros aspectos relacionados como son: avalúo, indemnización y repoblación (11).

La eliminación total consiste en el sacrificio y destrucción de todos los animales infectados y posibles contactos. En la eliminación parcial solo los animales afectados clínicamente son sacrificados. La eliminación debe ser aplicada rápidamente y establecer estrictas medidas de soporte

tales como limpieza y desinfección de instalaciones así como restricción de movimiento del ganado susceptible (12).

**Vacunación de animales susceptibles.** La vacunación ha sido empleada exitosamente para la prevención y control de brotes de FA en países infectados. En países libres de la enfermedad ha jugado un papel importante de soporte en el control de brotes, es por esto que existen varias razones por las cuales el uso de la vacunación puede ser considerado para el control de la FA. Entre los beneficios destacan la temprana protección inmune que genera en el ganado, sobre todo bovino, detectándose la respuesta a los 4 días postvacunación; previene la presentación de signos clínicos en 95% de ganado vacunado y disminuye la replicación de virus en la región faríngea, por lo que se reduce la eliminación de partículas virales (7).

Los problemas asociados con el uso de la vacunación son: encontrar una vacuna compatible con la cepa del virus de campo (7) ya que la vacunación con un tipo de virus no protege frente a un virus de otro grupo (3). La vacuna no previene la infección, protege contra la presentación de signos clínicos pero no contra la replicación del virus, por lo que los animales vacunados expuestos a la infección no desarrollan signos clínicos pero pueden llegar a ser portadores del virus. Aunque no se ha demostrado la transmisión del virus de estos animales a animales susceptibles y no se consideran importantes en la epidemiología de la enfermedad (7). La inmunidad declina rápidamente después de 4 a 6 meses y se requiere la revacunación. Se sabe que los virus de campo mutan y es necesario revisar frecuentemente la variación de la cepa del aislamiento de campo y la composición de la vacuna (1). Las vacunas inactivadas son las únicas confiables que estarían disponibles en caso de necesitarse (10).

La decisión de aplicar la vacunación de emergencia debe basarse en diferentes criterios que incluyan especies afectadas y densidad de animales en el área, el riesgo de dispersión del agente por aire, consecuencias económicas en el comercio así como consideraciones sociales y de opinión pública (14).

Bajo condiciones de emergencia, la vacunación en anillo se utiliza para disminuir la cantidad de virus circulante en la región y reducir el riesgo de dispersión, pues evita que una epidemia salga de control al darle protección inmunológica a la población susceptible. Como su nombre lo indica, este tipo de vacunación implica establecer una zona en forma de anillo en donde el brote quede en el centro y el ganado susceptible se vacune de la periferia hacia el interior (7).

Por la naturaleza extremadamente contagiosa de la FA, es claro que el control de un brote en una área con alta densidad de ganado sería difícil de controlar únicamente con el sacrificio y destrucción de cadáveres. La disposición de miles de animales por día de este modo sería un enorme problema. Sin embargo, la vacunación de emergencia ayudaría a disminuir los niveles circulantes de virus en áreas con animales susceptibles y daría más tiempo a las autoridades para sacrificar a los animales afectados y desinfectar las instalaciones contaminadas. Los animales vacunados quedarían en cuarentena (14).

#### **Modelización.**

En epidemiología se construyen modelos para construir escenarios que muestren cómo se comporta una enfermedad y qué podría suceder si se adoptaran diversas estrategias de control. Los modelos pueden constituir útiles guías para escoger las técnicas de control más eficaces, además proporcionan un medio útil de investigación de enfermedades cuando los experimentos y las observaciones de campo no son posibles (15).

La modelización estocástica incluye la probabilidad de que ocurra un suceso, por ejemplo, que un animal se infecte o no de FA, pues existen variaciones y alternativas de contacto entre individuos susceptibles e infectados, que se consideran como parte del proceso epidémico. En este tipo de modelos se puede utilizar un conjunto de valores de entrada, cada aproximación de modelización produce un resultado diferente de la misma epidemia y se generan un conjunto de valores de salida, produciendo tanto estimaciones puntuales como de intervalo para los parámetros de salida. Gráficamente la curva estocástica representa la media de todos los valores generados por diversas probabilidades. La probabilidad de que ocurra un suceso puede ser estimada empleando números

aleatorios para decidir si un suceso ha ocurrido o no, algo así como apostar, de aquí el nombre de técnica "Montecarlo" (15).

El modelo australiano descrito por Garner y Lack es un modelo de estado-transición que genera escenarios de brote. Es un modelo estocástico que utiliza la técnica Montecarlo, la probabilidad es extremadamente importante en el establecimiento y dispersión de la enfermedad, particularmente cuando el número de individuos infectados en una población es bajo, como ocurre al inicio de la incursión de una enfermedad exótica (7).

En este tipo de modelo, la población se considera en diferentes posibles estados que pueden adquirir los individuos: *susceptibles* a la enfermedad, *infectados* con la enfermedad, *inmunes* después de la recuperación de la enfermedad o después de la vacunación y *muertos o sacrificados* como resultado de la enfermedad. Durante un periodo de tiempo, un individuo puede quedar en un estado o moverse a otro (una transición) dependiendo de varias probabilidades. El hato es la unidad de interés y el modelo puede simular hato a hato la dispersión de la enfermedad semana a semana. Los valores para los parámetros de la enfermedad y las variables de control deben ser especificadas antes de correr el modelo. Los valores de salida incluyen estimaciones de la duración de la epidemia, número de hatos infectados, número de animales sacrificados y número de animales vacunados (7).

La *tasa de diseminación o de contacto* controla la transición de hatos susceptibles a infectados en el modelo tomando en cuenta un contacto lo suficientemente cerrado entre los hatos de tal manera que la transmisión de la enfermedad pueda ocurrir. Dicho contacto se refiere a todas las rutas por las cuales la FA puede dispersarse de un hato a otro, incluyendo el movimiento de animales, personas, materiales y el viento, es decir, toma en cuenta características del agente, el huésped y el ambiente, así como las prácticas de manejo (7). El modelo considera como contactos peligrosos a todos aquellos hatos que pudieron haber tenido alguna relación con un hato infectado (7).

El constante desarrollo de las vías de comunicación y el incremento del comercio pecuario mediante los cuales se produce un constante movimiento de animales y productos, han permitido la amplia

propagación de un gran número de enfermedades (11) como la FA, por lo que en México, que contiene altas poblaciones de animales susceptibles para esta enfermedad, existe permanentemente el riesgo de su introducción, especialmente de Sudamérica (8).

Por lo anterior es de suma importancia realizar modelajes del comportamiento epidemiológico que tendría la presencia de la FA en territorio mexicano utilizando las opciones de control y erradicación que se tendrían en caso de su establecimiento.

### **HIPÓTESIS:**

Existe diferencia en el comportamiento epidemiológico de la FA dependiendo de la región del país en que se presente el brote y la estrategia de control y erradicación utilizada.

### **OBJETIVO:**

Evaluar el comportamiento epidemiológico de un brote de fiebre aftosa dentro del país mediante un modelo de simulación en dos diferentes regiones utilizando tres estrategias de control y erradicación en diferentes escenarios:

- Densidad de población animal baja (DB), con eliminación de animales infectados.
- DB con eliminación de animales infectados y contactos peligrosos.
- DB con eliminación de animales infectados y vacunación en anillo de los susceptibles.
- Densidad de población animal alta (DA), con eliminación de animales infectados (EAI).
- DA con eliminación de animales infectados y contactos peligrosos (EICP).
- DA con eliminación de animales infectados y vacunación en anillo de los susceptibles (EIVA).

## **MATERIAL Y METODO**

Para evaluar el comportamiento epidemiológico de los brotes de FA según el modelo, se seleccionaron dos regiones del país en las que se ubicaron los brotes y, mediante una adaptación del modelo epidemiológico para simular brotes de FA propuesto por Garner MG y Lack MB (7,16), se colectó y capturó la información requerida de cada región para establecer los indicadores y parámetros siguientes y así simular los brotes de la enfermedad por cada escenario.

### ***INDICADORES DEMOGRÁFICOS DE CADA ZONA DE RIESGO:***

Unidades de producción (UP) con ganado bovino, número de bovinos, UP con ganado porcino, número de porcinos, UP con ganado ovino, número de ovinos, UP con ganado caprino, número de caprinos, UP totales con ganado susceptible, total de ganado susceptible, promedio de animales por UP, tamaño promedio de las UP y densidad del ganado.

### ***INDICADORES GEOGRÁFICOS DE CADA AREA DE RIESGO:***

Clima y características geográficas generales (orografía, hidrografía, infraestructura para el transporte).

### ***PARÁMETROS PARA LA ESTRATEGIA EAI Y EICP:***

UP totales; número de UP infectadas inicialmente; tasa de contacto inicial para la diseminación de la enfermedad; semanas en que inicia el sacrificio y número probable de contactos peligrosos por UP infectada.

### ***PARÁMETROS PARA LA ESTRATEGIA EIVA:***

UP afectadas al inicio; tasa de contacto inicial para la diseminación de la enfermedad; semanas en que inicia el sacrificio; número de áreas infectadas separadas; extensión de la zona de vacunación y número de UP vacunadas por semana.

El municipio de Saucillo, Chihuahua, se utilizó para realizar las simulaciones de los escenarios con DB; el brote se ubicó a 6 km hacia el noreste de la cabecera municipal (ver figura no. 4).

El municipio de Palenque, Chiapas, fue la región del país utilizada para realizar las simulaciones de los escenarios con DA, en este municipio el brote se ubicó en la localidad de Pakalna, muy cercana a la cabecera de Palenque (ver figura no. 5).

Los indicadores demográficos de cada municipio, se muestran en el cuadro no. 1.

Los valores de los parámetros para las estrategias utilizadas se basaron en la información colectada durante la investigación de diversas fuentes. Dicha información tuvo que ser analizada para definir la posible influencia que podía tener en el comportamiento de la enfermedad en cada región y si podía o no favorecer la difusión de la enfermedad. Para estimar los valores de algunos parámetros se requirió información y datos de otros países que han tenido la experiencia de enfrentarse a brotes de FA. Los valores se muestran en los cuadros 2, 3 y 4.

El área focal (AF) en ambas regiones se eligió en base a las características de los municipios seleccionados (cuadro no. 6) y a partir de una carta topográfica de los municipios a escala 1: 50 000 editada por INEGI, en lugares donde se indicaba la ubicación de unidades de producción (UP). El AF se limitó con base al criterio que establece la NOM-054-ZOO-1996 (12). Considerando lo mencionado en dicha norma, el área perifocal (AP) se limitó con un radio de 10 Km rodeando el AF. En el municipio de Saucillo, dentro del AP quedaron ubicados: la cabecera municipal y el rastro municipal (ver figura no. 4). En el municipio de Palenque, dentro de ésta área quedaron ubicados: una caseta intraestatal, un rastro TIF y un aeropuerto de corto alcance (ver figura no. 5). El anillo de vacunación en ambos municipios se consideró en esta área. El AA se estableció con un radio de 10 Km con base a lo establecido en la norma mencionada.

Se asumió que la detección de la enfermedad así como su diagnóstico y la respuesta de los servicios veterinarios se haría de manera rápida y eficiente, de tal forma que la implementación de las medidas de control y erradicación se establecieran en la primera semana de detectado el primer foco.

Se realizaron 500 iteraciones de las cuales se obtuvo el promedio y la desviación estándar para expresar los resultados en cada escenario.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de las simulaciones fueron:

### ***Estrategia eliminación de animales infectados (EAI):***

En el escenario con baja densidad de ganado, el brote de FA podría tener una duración de  $8 \pm 3$  semanas, se despoblarían  $11 \pm 6$  UP eliminando en promedio 172 cabezas de ganado. En el escenario con alta densidad, la duración del brote se prolongaría hasta  $46 \pm 19$  semanas, se despoblarían  $264 \pm 150$  UP y se eliminarían en promedio 7368 cabezas de ganado. Los resultados se muestran en el cuadro no. 5.

### ***Estrategia eliminación de animales infectados y contactos peligrosos (EICP):***

En el escenario con baja densidad de ganado, el brote duraría  $3 \pm 1$  semanas, se despoblarían  $10 \pm 5$  UP y  $6 \pm 3$  UP serían consideradas contactos peligrosos sacrificándose en promedio 261 cabezas de ganado incluyendo a los animales de las UP consideradas contactos peligrosos.

En el escenario de alta densidad la duración sería de  $5 \pm 2$  semanas, despoblándose  $44 \pm 18$  UP y  $36 \pm 15$  UP serían consideradas como contactos peligrosos, sacrificándose en promedio un total de 2241 cabezas de ganado. Los resultados de esta estrategia se muestran en el cuadro no. 5.

### ***Estrategia eliminación de animales infectados y vacunación en anillo de los susceptibles (EIVA):***

Con esta estrategia, tenemos que en el escenario con baja densidad, el brote tendría una duración de  $6 \pm 2$  semanas, se despoblarían  $9 \pm 4$  UP, eliminándose en promedio 136 animales infectados, se vacunarían en promedio 2531 animales de  $158 \pm 81$  UP. Considerando que los animales vacunados posteriormente tendrían que ser eliminados, el total de animales eliminados en promedio sería de 2667 en este escenario.

En el escenario con alta densidad, el brote duraría  $6 \pm 1$  semanas, se despoblarían  $27 \pm 8$  UP, con el sacrificio de 752 animales en promedio; se vacunarían en promedio 16408 animales de 586 UP. El

total de animales eliminados con esta estrategia incluyendo vacunados sería en promedio de 17160.

Los resultados se muestran en el cuadro no. 5.

La duración promedio del brote simulado en cada escenario se muestra en la figura No. 1.

El número promedio de UP despobladas, contactos peligrosos y vacunadas en cada escenario se muestra en la figura No. 2

El número promedio de animales sacrificados en cada escenario se muestra en la figura No. 3

## DISCUSIÓN

Las estrategias de control y erradicación utilizadas para realizar los modelajes en el presente trabajo se eligieron por ser las estrategias que maneja el modelo australiano y tomando en cuenta que algunas han sido utilizadas como una importante herramienta de combate contra la enfermedad en aquellos países donde la FA se ha presentado y cuyos ejemplos serán mencionados posteriormente.

Al aplicar la estrategia EAI tanto en el escenario de alta como de baja densidad, se obtuvo la mayor duración promedio en semanas de los brotes, llegando en el escenario de alta densidad de animales a ser de 46 semanas. Esto se puede deber a que el animal infectado de FA comienza a eliminar virus varios días antes de la aparición de las lesiones clínicas (1,7,17), por lo que solo sacrificar estos animales, no previene el contacto de animales susceptibles con el virus (1) y el riesgo de dejar portadores es muy alto (18).

En cuanto al número de UP que tendrían que ser despobladas para controlar y erradicar la FA, con la estrategia EAI resultaron ser menos que al aplicar las estrategias EICP y EIVA en el escenario de baja densidad, ya que con estas últimas se tienen que eliminar, además de los animales infectados, los contactos peligrosos y los animales a los cuales se les ha aplicado la vacunación (7) y en el escenario de alta densidad resultó ser la segunda estrategia con mayor número promedio de UP despobladas.

Por obtenerse con la estrategia EAI la duración más larga de los brotes, se consideró la estrategia menos favorable a ser aplicada en caso de la presentación de un brote de FA en los escenarios simulados porque se alargarían los efectos económicos de la enfermedad por mucho tiempo, situación que afectaría al sector pecuario del país.

Utilizando la estrategia EICP, se obtuvo la menor duración promedio en semanas de brote tanto en el escenario de baja como de alta densidad (3 y 5 semanas, respectivamente), reduciéndose en promedio 62% la duración en el escenario de baja densidad y 89% en el escenario de alta, con respecto a la duración que presentaron con la estrategia EAI.

Se obtuvo que utilizando la estrategia EICP se despoblarían también las UP que actúan como contactos peligrosos, lo cual implica que en el escenario de baja densidad sean en promedio 34% más UP despobladas en comparación con la estrategia EAI, aumentando el mismo porcentaje los animales sacrificados. En el escenario de alta densidad de animales, aplicando la estrategia EICP, se obtuvo el menor número de UP que deben ser despobladas en comparación con las otras dos estrategias, disminuyendo también el número de animales sacrificados. Esto confirma lo que mencionan Garner y Lack (16) con respecto a la estrategia EICP, pues resulta más efectiva en aquellas regiones que presentan condiciones favorables para la rápida diseminación de la enfermedad, como Northern Victorian, región australiana con alta densidad de ganado en la cual el promedio del número de ganado sacrificado se redujo 18%, comparado con la estrategia EAI. En otro aspecto, Ekboir (18) menciona que un análisis costo beneficio de diferentes estrategias de control para FA, sugiere que el sacrificio de animales infectados y contactos peligrosos es más eficiente que la estrategia basada solamente en la eliminación de hatos afectados clínicamente.

La estrategia EICP se consideró la más favorable a ser aplicada en caso de que se presente la FA bajo las condiciones simuladas en ambos escenarios representados por obtenerse con ésta la menor duración de los brotes y ser menos las UP despobladas en el escenario de alta densidad, en comparación con las estrategias EAI y EIVA.

La mayoría de los países libres de FA que han llegado a ser afectados, han optado por la estrategia EICP como el método de elección para controlar y/o erradicar la enfermedad de sus territorios. Tal es el caso de Chile en 1987 (21), Italia en 1993 (22), Francia y Reino Unido en el 2001 (23,24), entre otros.

Con la estrategia EIVA el escenario de baja y alta densidad tienen la misma duración promedio de brotes y también se reduce la duración promedio de los brotes con respecto a la estrategia EAI en 25% para el escenario de baja densidad y en 87% para el escenario de alta. Comparado con la estrategia EICP, utilizando la estrategia EIVA los resultados aumentan 50% para el escenario de baja densidad y 17% para el escenario de alta.

Las estrategias EICP y EIVA reducen la duración promedio de los brotes porque cortan el ciclo de transmisión del virus a otros rebaños o UP (17) al eliminarse los animales con posible contacto directo o indirecto con animales que hayan presentado cuadros clínicos (11) y al reducir la cantidad de virus eliminado (16,18) dando protección a los animales susceptibles con la vacunación (7). Lo obtenido con la duración promedio de los brotes es comparable con los resultados obtenidos de simulaciones realizadas por Garner y Lack (16) en las que la mayor duración promedio de brotes se encontró utilizando la estrategia EAI en regiones australianas con baja y alta densidad de ganado llamadas Northern Victoria y Midlands, respectivamente. Utilizando la estrategia EIVA la duración promedio de los brotes se redujo pero con la estrategia EICP se obtuvo la menor duración promedio de brotes en ambas regiones.

Con la estrategia EIVA, se tendrían que eliminar también los animales de las UP vacunadas, para recuperar el estatus de país libre de FA en el que no se aplica la vacunación, de acuerdo con los lineamientos de la OIE (19). Por lo cual, con esta estrategia se observó un aumento en el número promedio de UP despobladas en ambos escenarios comparado con las estrategias EAI y EICP. Si se compara la estrategia EIVA con los resultados de la estrategia EAI, en el escenario de baja densidad de ganado se incrementan en promedio 93% tanto el número de UP despobladas como el número promedio de animales sacrificados, considerando a los vacunados y, en el escenario de alta densidad el número de UP despobladas aumenta en promedio 57% al igual que el número promedio de animales sacrificados. Garner y Lack (17) en este aspecto encontraron que con la estrategia EIVA el número de animales sacrificados aumentó 58% en la región de baja densidad y 86% en la de alta, comparado con la estrategia EAI.

Al comparar el uso de la estrategia EIVA con EICP, se observó que con la primera las UP despobladas y el número de animales sacrificados aumentan en promedio 90% en el escenario de baja densidad y, en el escenario de alta densidad aumentan en 87% ambos resultados.

Con la estrategia EIVA, es necesario que todos los animales vacunados sean identificados de forma permanente, lo cual se menciona en el AUSVETPLAN (1) y Garner y Lack (16) indican que se

debe imponer un estricto control de la movilización para dar tiempo a que el personal que participa en la emergencia pueda realizar el sacrificio de estos animales tan pronto como sea posible, además con esta estrategia, de acuerdo con Ekboir (18), se reduce el impacto ambiental en el área afectada porque el número de cadáveres a ser incinerados o enterrados es menor y más animales pueden ser utilizados para consumo.

De esta manera, bajo los lineamientos de la OIE, se recuperaría el estatus de país libre de FA en el que no se aplica la vacunación en 3 meses después del sacrificio de todos los animales vacunados si se aplica el sacrificio sanitario, la vigilancia serológica y la vacunación en caso de emergencia y en 3 meses después del último caso, si se aplica el sacrificio sanitario y la vigilancia serológica (19). En México, durante el brote de FA en 1946, se incorporó la vacunación general obligatoria en el área cuarentenada a partir de 1948 debido a que con la estrategia EICP no se detuvo la difusión de la enfermedad y el impacto en las estructuras sociales y económicas del país indicó que debían hacerse modificaciones en el programa (20). En Holanda, durante el brote de marzo de 2001, la estrategia fundamental fue la vacunación en anillo, lo cual permitió que dicho país culminara con éxito la erradicación del problema y para agosto del mismo año fue considerado libre de la enfermedad (38).

De esta manera, a través de la experiencia de dichos países se refleja la importancia de la estrategia de la vacunación de emergencia, la cual debe ser contemplada como una alternativa a la utilización de la estrategia EICP, pues ha sido útil en el combate de la FA y no debe descartarse durante una emergencia.

Las regiones del país para realizar las simulaciones se seleccionaron de acuerdo a la diferencia en las características de su medio ambiente, en la densidad animal para representar los escenarios de los brotes y además por estar próximas a fronteras, lo que les da mayor susceptibilidad de ser afectadas por FA. Esto es semejante al estudio realizado en Australia por Garner y Lack, en el que

la elección de las regiones se basó en la diferencia del ambiente y los sistemas de producción del ganado (16).

Para establecer los indicadores demográficos se utilizó el censo agrícola ganadero del INEGI, 1991 (25,26), ya que fue la única fuente de la cual se pudo obtener toda la información que se requería para llevar a cabo las simulaciones, por lo que, las unidades epidemiológicas utilizadas para las simulaciones fueron las unidades de producción (UP) que, según el censo, se definen como el terreno urbano o los predios, terrenos o parcelas ubicados fuera de los límites de las áreas urbanas, con actividad ganadera que, se encuentren en un mismo municipio. Sin embargo, la información no es actual y su utilización resulta poco práctica porque no describe de manera precisa como manejar la cantidad de información que contiene, pues datos específicos como tipo de unidad de producción resulta confuso entre los resultados de un tabulado y otro relacionados con el mismo tema, por lo que es difícil saber a qué se refieren.

El valor establecido para el parámetro *UP infectadas al inicio*, fue 1 en todos los escenarios manejados, porque a partir de un foco se representó el inicio del brote y su difusión. Esto se basó en datos reales de países que han presentado brotes de FA en su territorio y los han detectado a partir de un foco, tal es el caso de Italia en marzo de 1993 (22), Uruguay en abril de 2001 (27) y Francia en marzo de 2001 (23).

Para asumir el valor de la *tasa de contacto inicial* se analizó la información de los municipios. En el caso de Saucillo la tasa de contacto inicial se consideró de 2 UP con base a la baja densidad de animales que presenta, la geografía del municipio y el sitio donde se ubicó el foco primario de la enfermedad, pues de este, las principales carreteras se encuentran aproximadamente a 6 kms. Todo lo anterior dificulta que los animales de una UP tengan contacto con animales de más de 2 UP. Otro factor que influyó fue el clima, pues la temperatura extrema del municipio no favorece la sobrevivencia del virus por un periodo prolongado en el ambiente, según Donaldson (5), a 37° el virus de FA puede ser viable aproximadamente 10 días y, en Saucillo se presentan temperaturas

hasta de 41.7°C, según datos del Gobierno del Estado (28,29) por lo que la sobrevivencia del virus sería menor que el periodo señalado por Donaldson (5).

En Palenque, a la tasa de contacto inicial se le asignó un valor de 5 UP porque la densidad de animales es mayor, lo que aumenta la posibilidad de contacto de los animales de una UP con otra pues, según Rosenberg (6), los riesgos de infección están directamente relacionados a la densidad de la población, de ahí que la distribución geográfica de la FA en América del Sur coincide con la distribución geográfica de regiones de alta densidad ganadera; obviamente aumenta la posibilidad de contacto efectivo al aumentar, por un lado, el contacto entre los huéspedes y, por otro, la cantidad de partículas virales en el ambiente.

La humedad relativa de la región también favorece la sobrevivencia del virus en el ambiente, esto lo afirma Donaldson (5) cuando la humedad relativa se encuentra por arriba del 60% y en Palenque hay lluvias todo el año (30,31,32). Del lugar dónde se ubicó el foco, a menos de 2 km pasa el ferrocarril y está la carretera con dirección al rastro (33), lo que nos hace suponer un mayor movimiento de animales en esta área y, de acuerdo con Olascoaga *et al* (17), el intenso movimiento de animales (por arreo, camiones, trenes, etc.) con destino a la comercialización en remates, centros de faena u otros, crean condiciones muy favorables para la diseminación del virus. Por todo lo anterior, el municipio resultaría muy susceptible para que se presentara y detectara algún foco positivo de FA en el rastro, escenario que se presentó en el brote de Inglaterra en febrero de 2001 (24), de ahí la importancia de tomar en cuenta la ubicación de estos establecimientos (ver figura 5). Para todos los escenarios representados, se asumió que el *sacrificio de animales infectados y contactos peligrosos* iniciaba en la primera semana de presentarse la enfermedad pues se consideró que la notificación del foco de la enfermedad se haría de manera oportuna, ya que la FA es una enfermedad exótica de notificación inmediata obligatoria (34), además la eficacia de la detección precoz de focos, la investigación epidemiológica completa y la oportuna atención, medidas vitales para evitar la aparición de focos secundarios, está condicionada a la colaboración de la comunidad y a la agilidad con que actúa el servicio de salud animal (17) y, en México de ser necesario, según lo

establecido en el art. 35 de la Ley Federal de Sanidad Animal (35) se activará y coordinará el Dispositivo Nacional de Emergencia de Sanidad Animal (DINESA) en la región específica. Dicho dispositivo consistirá en la aplicación urgente y coordinada de las medidas zoonosanitarias correspondientes, en este caso del sacrificio de animales infectados y contactos peligrosos, por parte de la Secretaría y con apoyo de los servidores públicos de los Gobiernos de los Estados y de los particulares que operen puntos de verificación, los médicos veterinarios, organismos nacionales de normalización, organismos de certificación, unidades de verificación y laboratorios de pruebas en materia zoonosanitaria, los propietarios y administradores de establecimientos Tipo Inspección Federal, los integrantes de los Comités Consultivos Nacionales que constituya la Secretaría, los integrantes del Consejo Técnico Consultivo Nacional de Sanidad Animal, Consejos Estatales y Regionales así como los Comités Estatales de Fomento y Protección Pecuaria; se convoca también al personal que integra el Grupo Estatal de Emergencia en Salud Animal (GEESA) (36).

Esto hace diferente a los servicios veterinarios que había en México hacia 1946 cuando se presentó el brote de FA en el centro del país; por desconocimiento de la epidemiología de la enfermedad y falta de organización, las autoridades veterinarias permitieron la diseminación del problema durante meses afectándose 16 Estados y el Distrito Federal antes de implementar medidas eficaces para el control de la epidemia (20). Actualmente la notificación y confirmación se realiza de forma rápida, tal fue el caso de la aparición de enfermedad vesicular en bovinos procedentes de Texas<sup>1</sup> ubicados en la estación cuarentenaria de Nogales Arizona en octubre de 2003, de inmediato se dio aviso al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) que obtuvo muestras y las remitió al laboratorio de referencia, cuyos resultados fueron negativos para FA y positivos para estomatitis papular bovina. Mientras tanto ya se había impuesto la prohibición a la importación de animales procedentes de Texas.

---

<sup>1</sup> Comunicado de correo electrónico ProMED-mail post.

Los *contactos peligrosos probables por cada UP infectada* se manejaron con valor de cero para los escenarios con la estrategia EAI y con el mismo criterio que la tasa de contacto inicial para los escenarios con la estrategia EICP.

Para limitar la *zona de vacunación*, se utilizó un radio de 10 Km alrededor de la UP infectada para establecer el anillo de la zona de vacunación de emergencia (ver figura 4 y 5). Esta decisión se basó en la experiencia de Uruguay (37), en donde aplicaron vacunación en anillo con un radio de 10 km a partir del foco, como medida de emergencia durante el brote de abril de 2001 y, en literatura australiana donde Garner (7,16) indica que generalmente los anillos de vacunación van de 5 a 10 km de radio a partir del foco considerando que la dispersión aérea del virus puede ocurrir a esta distancia. El AUSVETPLAN (1) no menciona datos específicos acerca de la vacunación en anillo, ya que no la contempla como una elección preferida para el control de FA en caso de emergencia, aunque el radio que establece para la zona que rodea el foco es de 10 km.

En cuanto a las *UP vacunadas por semana*, en la zona de vacunación representada en el municipio de Saucillo se calculó, en base al área, una existencia de aproximadamente 200 UP, las cuales, en promedio comprenden 3 200 cabezas de ganado y en el municipio de Palenque se calcularon aproximadamente 613 UP dentro de la zona de vacunación, lo que representa en promedio 17 164 cabezas de ganado. De acuerdo a experiencias de otros países que han aplicado vacunación en anillo como son Uruguay, Argentina, Holanda y Bolivia (9,37,38), se asumió que todos los animales dentro de la zona de vacunación en ambos municipios, podían ser vacunados en una semana y lo que tendría que variar sería el personal que se movilizaría en cada región, de acuerdo a la cantidad de UP en dicha zona, a la densidad animal, la geografía y a los recursos disponibles para atender la emergencia.

En Argentina<sup>2</sup>, durante la epidemia de 2001, un equipo de vacunadores pudo atender en promedio 600 animales diarios en una región ganadera y en 5 días vacunar aproximadamente 13 000 animales, esto con 4 equipos de vacunadores. En Uruguay (27), se vacunaron en promedio 4

---

<sup>2</sup> Comunicación personal con el MVZ Aníbal Bernardo Cosentino. Dirección de epidemiología de SENASA.

millones de animales en una semana durante la vacunación masiva del 2001. En Holanda (38) se vacunaron en aproximadamente un mes 186 645 animales, es decir, un promedio de 46 661 animales por semana, esto durante el brote de marzo de 2001. En Bolivia <sup>3</sup>, se conforman brigadas de vacunación de 3 o 4 personas por brigada, las cuales atienden a un promedio de 500 a 1000 animales por día dependiendo del tipo de explotación y geografía, es decir, que según la población animal a vacunar es el número de brigadas de vacunación que se deben conformar. En el Reino Unido, aunque no se aplicó la vacunación en el 2001, la estrategia ya se tiene contemplada en el Plan de Contingencia para FA (39) y dispondrían inicialmente de 50 equipos de vacunadores, cada uno conformado por 3 personas con funciones específicas: encargado de vacunar, encargado de marcaje en oreja y encargado del registro de los animales.

El presente estudio ha servido para evaluar el comportamiento epidemiológico que podría tener un brote de FA en diferentes escenarios y, se ha demostrado que utilizando el modelo australiano, el escenario con alta densidad de animales sería mucho más afectado que el de baja densidad con la presentación de un brote de FA y que, la mejor estrategia para controlar y erradicar la enfermedad tanto en el escenario de alta como de baja densidad de ganado, ha sido la EICP, pues al aplicarla se reduciría tanto la duración como el tamaño del brote en ambos escenarios comparado con las otras estrategias. También se demostró que la estrategia EAI no es recomendable en las poblaciones con baja o alta densidad de ganado por alargar la duración de las epidemias, lo cual agravaría las repercusiones económicas de la presentación de FA y con respecto a la estrategia EIVA se concluye que su utilización debe considerarse sobre todo en escenarios con alta densidad de animales para reducir la duración y diseminación de la enfermedad.

Cabe señalar que el modelo australiano utilizado para el presente trabajo no refleja la realidad de lo que sucedería en caso de un brote de FA, sólo funciona como una herramienta preventiva para la orientación en la toma de decisiones que implique la elección de la estrategia de control más

---

<sup>3</sup> Comunicación personal con el MVZ José Alberto Gantier. Coordinador Departamental Programa Aftosa. SENASAG-MACA

adecuada o conveniente a partir de las características de la población animal y la región afectada. Como limitante se encontró que el valor de algunos parámetros como la tasa de diseminación, pueden establecerse con diferentes valores de acuerdo al punto de vista o criterio de cada persona pues se deduce a partir de una gran variedad de información, aunque existe la posibilidad de realizar simulaciones utilizando diferentes tasas de diseminación y con esto ir elaborando una base de datos de diferentes escenarios.

Otra limitante importante es que el modelo no permite establecer una cronología exacta en días desde el momento en que inicia la infección, en que es diagnosticada la enfermedad y son establecidas las medidas de control y erradicación, pues maneja los datos semana a semana y el parámetro que controla este aspecto es el de *semanas en que inicia el sacrificio*.

Con este estudio resultó básico el análisis de los factores que en una región pueden determinar el impacto de un brote de FA. Es recomendable para esto, que el país cuente con información disponible y actualizada, como censos ganaderos de todas las especies por entidad y municipio para facilitar el estudio de las poblaciones en cada región, lo cual influiría de manera directa en la toma de decisiones en caso de que se presentara alguna enfermedad exótica.

Finalmente debe considerarse siempre la experiencia que pueden darnos otros países acerca de la manera en que han afrontado la presencia de la FA para mantener actualizados los procedimientos mas efectivos para su combate.

**LITERATURA CITADA**

1. Australian Veterinary Emergency Plan. Disease Strategy: Foot and mouth disease. AUSVETPLAN Edition 3, Version 1.0, 2002.
2. Mateos PA, Montaña HJ. Visión general de la Fiebre Aftosa. *Imagen veterinaria* 2001; 1:21-29.
3. Comisión México-E.U. para la prevención de la Fiebre Aftosa y otras enfermedades exóticas de los animales. *Boletín México 40 años libre de Fiebre Aftosa 1954-1994*. Comisión México-E.U. para la prevención de la Fiebre Aftosa y otras enfermedades exóticas de los animales 1994; 6:25-40.
4. Andrews AH, Blowey RW, Eddy RG. *Bovine medicine, diseases and husbandry of cattle*. 1a edición, Great Britain: Blackwell Scientific Publications, 1992.
5. Donaldson AI. Foot and Mouth Disease: the principal features. *Irish Vet J* 1987;41: 325-327.
6. Rosenberg FJ. El conocimiento de la epidemiología de la fiebre aftosa con particular referencia a Sudamérica. Brasil: Organización Panamericana de la Salud, 1975.
7. Garner Mg, Allen RT, Short C. Foot and mouth disease vaccination: a discussion paper on its use to control outbreaks in Australia. Canberra: Bureau of Resource Sciences, 1997.
8. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Acuerdo por el que se establecen las medidas de emergencia para prevenir la introducción de la fiebre aftosa a los Estados Unidos Mexicanos por los brotes recientemente ocurridos en diversos países del mundo. *Diario Oficial de la Federación*, publicado el 5 de abril de 2001.
9. Organización Mundial de Sanidad Animal. Lista de países libres de Fiebre Aftosa. Disponible en: URL [http://www.oie.int/esp/info/es\\_fmd.htm](http://www.oie.int/esp/info/es_fmd.htm)
10. Organización Panamericana de la Salud. Programa de adiestramiento en Salud Animal para América Latina. Producción, control de calidad y uso de vacunas. E.U. (Washington): OPS, 1987.
11. Organización Panamericana de la Salud. Programa de adiestramiento en salud animal para América Latina. Cuarentena Animal. E.U. (Washington):OPS, 1986.

12. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Norma Oficial Mexicana NOM-054-ZOO-1996, Establecimiento de cuarentenas para animales y sus productos. Diario Oficial de la Federación, mayo de 1998.
13. Donaldson AI, Doel TR. Foot and Mouth disease: the risk for Great Britain after 1992. *Vet Rec* 1992; 131: 114-120.
14. Doel TR, Williams L, Barnett PV. Emergency Vaccination against foot and mouth disease: rate of development of immunity and its implications for the carrier state. *Vaccine* 1994; 12: 592-600.
15. Thrusfield M. *Epidemiología Veterinaria*. Zaragoza, España: Acribia, 1990.
16. Garner MG, Lack MB. An evaluation of alternate control strategies for foot and mouth disease in Australia: a regional approach. *Prev Vet Med* 1995; 23: 9-32.
17. Olascoaga RC, Gomes I, Rosenberg FJ, De Mello PA, Astudillo V, Magallanes N. *Fiebre Aftosa*. 1ª ed. Río de Janeiro, Brasil: Centro Panamericano de Fiebre Aftosa, 1999.
18. Ekboir JM. *Potential impact of foot and mouth disease in California*. University of California, 1999.
19. Organización Mundial de Sanidad Animal. Código Sanitario para los animales terrestres 2003. URL: [http://www.oie.int/esp/normes/mcode/E\\_00030.htm](http://www.oie.int/esp/normes/mcode/E_00030.htm)
20. Centro Regional de ayuda Técnica. Estudio de la vacuna contra la fiebre aftosa y observaciones relacionadas en México en 1946-1954. Comisión México-Americana para la prevención de la fiebre aftosa.
21. Valenzuela RC. Ministerio de Agricultura, Chile. Erradicación del Brote de FA en Chile 1987. Santiago, Chile 1988.
22. Davies G, Facchin E, Maragon S, Massirio G, Moutou F. The 1993 Italian foot and mouth disease epidemic: al. epidemiological features of the four outbreaks identified in Verona province (Veneto region). *Veterinary Record* 1994;135: 53-57.

23. Chmitelin I, Moutou F. Foot and Mouth Disease: lessons to be learned from the experience of France. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz*, 2002; 21: 731-737.
24. Scudamore J. *State Veterinary Journal*. The 2001 FMD outbreak in Great Britain. URL: <http://www.defra.gov.uk/animalh/svj/fmd/pages1-12.pdf>
25. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Censo Agrícola Ganadero del Estado de Chihuahua*, 1991.
26. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Censo Agrícola Ganadero del Estado de Chiapas*, 1991.
27. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Informe sobre la situación de la fiebre aftosa en el Uruguay. Uruguay: MGAP, 2002.
28. Gobierno del Estado de Chihuahua. *Los Municipios de Chihuahua*. Colección Enciclopedia de los municipios de México. 1ª Edición, 1988.
29. Enciclopedia de los municipios. Gobierno del Estado de Chihuahua. URL: <http://www.e-local.gob.mx/enciclo/chihuahua/index.html>
30. Gobierno del Estado de Chiapas. *Los Municipios de Chiapas*. Colección Enciclopedia de los municipios de México. 1ª Edición, 1988.
31. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; Gobierno del Estado de Chiapas; H. Consejo Municipal de Palenque. *Cuaderno Estadístico Municipal 1994*.
32. Gobierno del Estado de Chiapas. *Agenda estadística Municipal*. URL: [http://www.sp-chiapas.gob.mx/sige/Agenda\\_web/archivos/](http://www.sp-chiapas.gob.mx/sige/Agenda_web/archivos/)
33. Gobierno del Estado de Chiapas. Comité de Sanidad Pecuaria del Estado de Chiapas. *Campaña contra la tuberculosis bovina*. Marzo 2003.
34. Secretaría de Agricultura, Ganadería y desarrollo Rural. Acuerdo mediante el cual se enlistan las plagas y enfermedades exóticas y enzoóticas de notificación obligatoria en los Estados Unidos Mexicanos. *Diario Oficial de la Federación*, publicado el 5 de marzo de 1999.
35. Ley Federal de Sanidad Animal. *Diario Oficial de la Federación*, 18 de junio de 1993.

36. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Acuerdo por el que se instituye en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el Sistema Nacional de Emergencia en Salud Animal. Diario Oficial de la Federación, publicado el 16 de febrero de 1988.
37. Conferencia de Prensa con el Ministro de Ganadería, Agricultura y Pesca, Ing. Agr. Gonzalo González. Uruguay, 27 de abril de 2001. URL: [http:// www.presidencia.gub.uy/sic/noticias/archivo/2001/abril/2001042703.htm](http://www.presidencia.gub.uy/sic/noticias/archivo/2001/abril/2001042703.htm)
38. Plummers A.M, Akkerman, P. Van der Wal et al. Lessons from the foot and mouth disease outbreak in the Netherlands in 2001. Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz 2002; 21: 711-721.
39. Department for environment food and rural affairs. Contingency plan for foot and mouth disease. URL: [http:// www.defra.gov.uk/footandmouth/contingency/contplan.pdf](http://www.defra.gov.uk/footandmouth/contingency/contplan.pdf)
40. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; Gobierno del Estado de Chihuahua; H. Ayuntamiento Constitucional de Saucillo. Cuaderno Estadístico Municipal 1996.
41. Directorio de la Asociación Mexicana de Escuelas y Facultades de Medicina veterinaria y Zootecnia, 2003.
42. Gobierno del estado de Chihuahua. Subcomité de erradicación de la tuberculosis bovina y brucelosis en el Estado de Chihuahua. Seguimiento del avance del cumplimiento de las observaciones generadas por el grupo de revisión de la campaña de tuberculosis bovina. Mayo de 2002.
43. Directorio Oficial 2003 de la Federación de Colegios y Asociaciones de Médicos Veterinarios Zootecnistas de México, A.C.

**Cuadro no. 1**

**Indicadores demográficos en dos diferentes escenarios de México utilizados para la simulación de un brote de fiebre aftosa**

INDICADOR	Saucillo, Chihuahua	Palenque, Chiapas
Número de bovinos	18287	162813
UP con ganado bovino	515	3819
Número de porcinos	1321	17222
UP con ganado porcino	330	2832
Número de ovinos	421	7306
UP con ganado ovino	58	459
Número de caprinos	1098	362
UP con ganado caprino	109	39
UP totales con ganado susceptible	1334*	6810*
Total de ganado susceptible	21127	187703
Promedio de animales por UP	16	28
Superficie total de las UP	1074.58 km <sup>2</sup>	2674.59 km <sup>2</sup>
Tamaño promedio de las UP	.805 km <sup>2</sup> 80 HA	.392 km <sup>2</sup> 39 HA
Densidad del ganado	20 anim/km <sup>2</sup>	70 anim/km <sup>2</sup>

UP= unidades de producción

\* Incluye UP con poblaciones mixtas de ganado.

**Cuadro no. 2**

**Parámetros requeridos para la estrategia de eliminación de animales infectados en dos diferentes escenarios de México utilizados para la simulación de un brote de fiebre aftosa**

PARAMETROS	Saucillo, Chihuahua	Palenque, Chiapas
UP totales	1334	6810
Número de UP infectadas inicialmente	1	1
Tasa de contacto inicial para la diseminación de la enfermedad	2	5
Semanas en que inicia el sacrificio	1	1
Número probable de contactos peligrosos por UP infectada	0	0

UP= unidades de producción

**Cuadro no. 3**

**Parámetros requeridos para la estrategia de eliminación de los animales infectados y contactos peligrosos en dos diferentes escenarios de México utilizados para la simulación de un brote de fiebre aftosa**

PARAMETROS	Saucillo, Chihuahua	Palenque, Chiapas
UP totales	1334	6810
Número de UP infectadas inicialmente	1	1
Tasa de contacto inicial para la diseminación de la enfermedad	2	5
Semanas en que inicia el sacrificio	1	1
Número probable de contactos peligrosos por UP infectada	2	5

UP= unidades de producción

**Cuadro no. 4**

**Parámetros requeridos para la estrategia de eliminación de animales infectados y vacunación en anillo de los susceptibles en dos diferentes escenarios de México utilizados para la simulación de un brote de fiebre aftosa**

PARAMETROS	Saucillo, Chihuahua	Palenque, Chiapas
UP en zona de vacunación	200	613
UP afectadas al inicio	1	1
Tasa de contacto inicial para la diseminación de la enfermedad	2	5
Semanas en que inicia el sacrificio	1	1
Número de áreas infectadas separadas	1	1
Extensión de la zona de vacunación en anillo	Radio de 10 km	Radio de 10 km
Número de UP vacunadas por semana	200	613

UP= unidades de producción

**Cuadro no. 5**

**Resultados de 3 estrategias de control y erradicación en dos diferentes escenarios de México utilizados para la simulación de un brote de fiebre aftosa**

Escenario	Baja densidad de ganado			Alta densidad de ganado		
	EAI	EICP	EIVA	EAI	EICP	EIVA
Duración del brote (semanas)	8 ± 3	3 ± 1	6 ± 2	46 ± 19	5 ± 2	6 ± 1
UP despobladas	11 ± 6	10 ± 5	9 ± 4	264 ± 150	44 ± 18	27 ± 8
UP consideradas contactos peligrosos		6 ± 3			36 ± 15	
No. promedio de animales sacrificados	172	261	136	7368	2241	752
UP vacunadas			158 ± 81			586 ± 0
No. promedio de animales vacunados			2531			16408
Total de animales sacrificados	172	261 <sup>a</sup>	2667 <sup>b</sup>	7368	2241 <sup>a</sup>	17160 <sup>b</sup>

UP= unidades de producción

EAI = Eliminación de animales infectados.

EICP = Eliminación de animales infectados y contactos peligrosos.

EIVA = Eliminación de animales infectados y vacunación en anillo de los susceptibles.

<sup>a</sup> incluye infectados y contactos peligrosos.

<sup>b</sup> incluye animales infectados y vacunados.

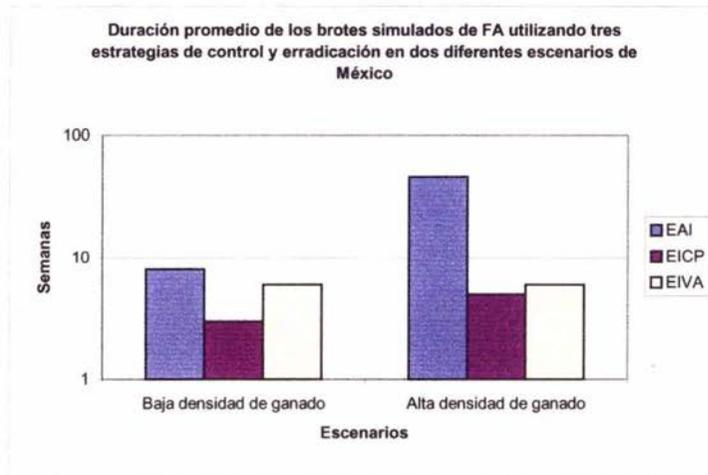
**Cuadro No. 6**

**Descripción de recursos de los municipios utilizados para realizar la simulación de un brote de fiebre aftosa**

	<b>MUNICIPIO DE SAUCILLO, CHIHUAHUA</b>	<b>MUNICIPIO DE PALENQUE, CHIAPAS</b>
Superficie y Localización	Tiene una superficie de 2116.16 km <sup>2</sup> . Se localiza en la latitud 28° 02', longitud 105° 17', su altura es de 1,221 msnm. Colinda al norte con Julimes y Meoqui; al este con Camargo y La Cruz; al sur con La Cruz y al oeste con Zaragoza, Rosales y Delicias. (28,29,40).	Tiene una superficie de 3500 km <sup>2</sup> , que representa el 4.7% de la superficie con relación a la estatal. Se localiza al noreste del estado; sus coordenadas geográficas extremas son al norte 17°48', al sur 17°04' de latitud norte; al este 91°23' al oeste 92°19' de longitud oeste. La cabecera municipal está ubicada a una altitud de 60 msnm. Limita con el municipio de Catazajá al norte; al este con el de La Libertad y el estado de Tabasco; al sureste con la República de Guatemala; al sur con los municipios de Ocosingo y Chilón; al suroeste con el de Salto de Agua y al noroeste con el estado de Tabasco (30,31,32).
Orografía	Su territorio se localiza en la Mesa Central del Norte, al principio del desierto Oriental y las mesetas irrigadas por el río Conchos; sus terrenos son áridos y desérticos, con extensas llanuras que avanzan al occidente; entre sus serranías más importantes están las de Orranteño, Naica, Nogalejo, Los Picachos y Colorado y la sierra del Pajarito, en los límites con San Francisco de Conchos. (29,40).	Su relieve está constituido de terrenos accidentados, alternados con otros semiplanos que abarcan el 60% de la superficie municipal. El resto lo conforman los terrenos planos en la zona septentrional del municipio (30).
Hidrografía	Pertenece a la vertiente del Golfo; el río Conchos penetra, procedente del municipio de La Cruz, pasando al municipio de Meoqui y continúa por los de Julimes, Aldama, Coyame y Ojinaga hasta unirse al río Bravo; en su territorio se localizan las lagunas de El Rincón y Chancapilia; su cuenca hidrográfica es de gran importancia, ya que se irrigan las tierras que se encuentran en las márgenes del río Conchos, haciendo de la agricultura la principal actividad en la economía municipal. (29,40)	Los cursos hidrológicos son abundantes, entre los que destacan el Usumacita y sus afluentes Chacamax, Chancalá, Chacoljaito, Bascán, Michol, San Simón y Trapiche. También existen varios lagos, pero destaca por su dimensión el Metzaboc (30).

Clima	Es semiárido extremoso, con una temperatura máxima de 41.7°C y una mínima de -14.1°C; su temperatura media anual es de 18.3°C. Tiene una precipitación pluvial media anual de 363.9 milímetros, con un promedio de 61 días de lluvia y una humedad relativa del 48%; sus vientos dominantes son del sudoeste (29,40).	El clima es cálido húmedo con lluvias todo el año. En la cabecera se registra una temperatura media anual de 26° C y una precipitación pluvial de 2762.9mm al año. La dirección predominante del viento es de norte a sur (30).
Uso del suelo	El uso del suelo es fundamentalmente minero, agrícola y ganadero. La tenencia de la tierra en su mayoría es privada y en segundo término se encuentra el régimen ejidal (29).	El uso del suelo es principalmente pecuario, agrícola con gran parte de selva, correspondiéndole el 60% de la superficie municipal a terrenos ejidales y el resto a propiedades privadas, excepto la zona arqueológica que pertenece a terrenos federales (30).
Infraestructura educativa	La infraestructura educativa es suficiente para atender las necesidades del municipio hasta el nivel medio superior (29). La Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia así como el Instituto de Ciencias Biomédicas se localizan en el municipio de Juárez y la Facultad de Zootecnia en el municipio de Chihuahua (41).	Las principales localidades del municipio cuentan con una infraestructura educativa en los niveles de preescolar, primaria, secundaria y preparatoria en la cabecera municipal (30). La Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia esta localizada en Tuxtla Gutiérrez (41).
Vías de comunicación	El municipio cuenta con 70 kilómetros de carretera pavimentada. Ferrocarriles de México cruzan su territorio, localizándose una estación del ferrocarril en Saucillo y otra en Conchos (29).	Al municipio se puede arribar por avión, ferrocarril y carretera. La transportación terrestre puede efectuarse a través de la carretera que va de Catazajá-Palenque-Ocosingo-San Cristóbal de las Casas; la que comunica a Villahermosa-Escarsega-Palenque y su zona arqueológica; la que une a estación Palenque-La Libertad, y la carretera de terracería que va de Palenque-Chancalá-Bonampak y continua a lo largo de toda la frontera con Guatemala. Por otro lado el ferrocarril del sureste atraviesa el municipio del lado norte de la cabecera, a si mismo existe un aeropuerto de corto alcance (30).
Ganadería	En el municipio se encuentran 515 unidades de producción (UP) de ganado bovino con 18 287 cabezas totales. El fin principal del ganado es la producción de carne (25). Las UP con ganado porcino son 330 y en total 1321 cabezas. En cuanto a ganado caprino, hay 109 UP con 1 098 cabezas totales. El ganado ovino es de 421 cabezas totales en 58 UP (25).	La ganadería es la principal fuente económica del municipio, dedicándose a ella las mejores tierras y recursos humanos. Fundamentalmente se produce ganado bovino para carne, doble propósito y leche (26,30), mismo que se destina en un alto porcentaje al mercado nacional (30). El ganado bovino del municipio de Palenque se encuentra en 3 819 unidades de producción (UP) con un total de 162 813

	<p>En el municipio hay un total de 1334 UP, siendo 1305 rurales y 29 urbanas y ocupan una superficie de 107 458.269 HA (25).</p>	<p>cabezas de ganado (30).  De ganado porcino hay 2 832 UP con un total de 17 222 cabezas de ganado (30).  El ganado caprino se encuentran en 39 UP con un total de 362 cabezas en el municipio. En cuanto a ganado ovino, el total de cabezas en el municipio es de 7 306 localizadas en 459 UP (26).  El total de UP en el municipio de Palenque es de 6 810, de las cuales 57 son urbanas y 6 753 son rurales y abarcan una extensión de 267 459.747 HA (26).</p>
Servicios veterinarios	<p>En el municipio existe un rastro municipal con un sacrificio de 797 cabezas anuales (42)  En el Estado de Chihuahua se localizan 21 casetas de inspección de animales y productos agropecuarios para el control de la movilización terrestre, las más cercanas Saucillo son las casetas de Camargo y Cárdenas (42). (ver figura 4)</p>	<p>En Chiapas se encuentran registrados en la Federación de Colegios de Médicos Veterinarios Zootecnistas 275 médicos, de los cuales 18 se localizan en Palenque (43).  El municipio cuenta con dos rastros, siendo uno mecanizado de Tipo Inspección Federal con sacrificio de bovinos localizado en la carretera Palenque-La Libertad km 4.5 con un promedio de 6438 cabezas sacrificadas en un año (33). En el Estado de Chiapas se localizan 25 casetas de inspección de animales y productos agropecuarios sujetos a ser movilizados, las más cercanas a Palenque son las casetas interestatales Medellín, Catazajá y La Libertad y las intraestatales Pakal-na, Fco. I. Madero y Chancalá. (33). (ver figura 5)</p>

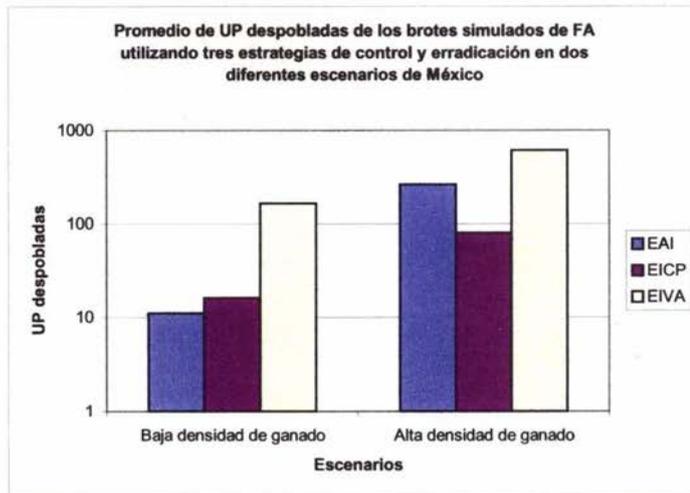
**Figura No. 1**

EAI = eliminación de animales infectados.

EICP= eliminación de animales infectados y contactos peligrosos.

EIVA= eliminación de animales infectados y vacunación en anillo de los susceptibles.

Figura No. 2



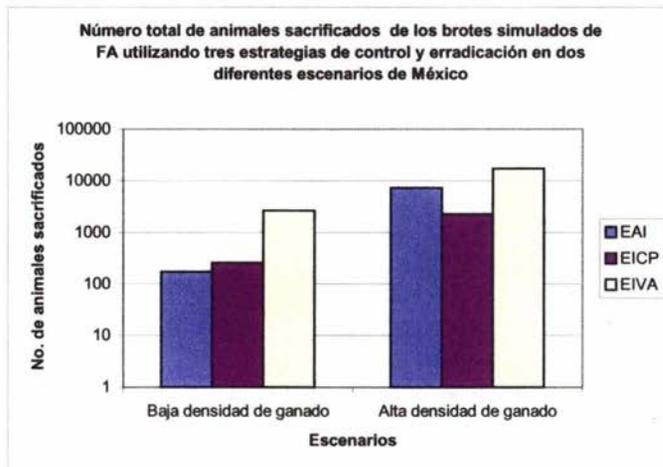
UP = unidades de producción.

EAI = eliminación de animales infectados.

EICP= eliminación de animales infectados y contactos peligrosos.

EIVA= eliminación de animales infectados y vacunación en anillo de los susceptibles.

Figura No. 3

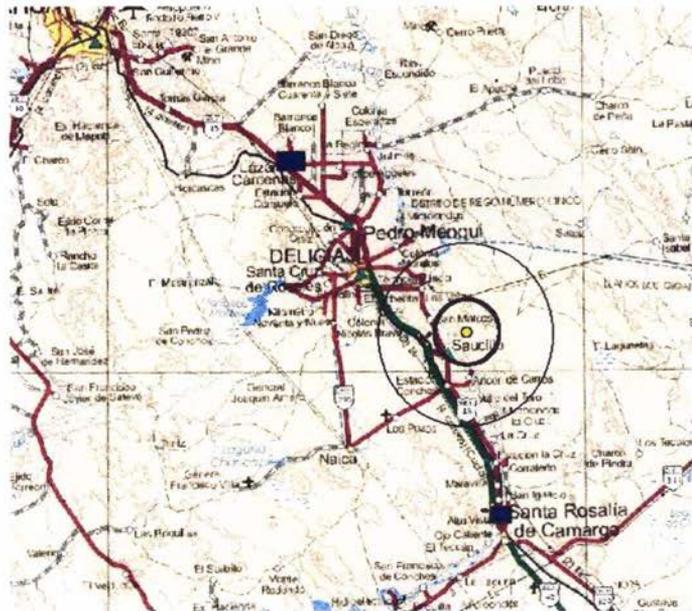


EAI = eliminación de animales infectados.

EICP= eliminación de animales infectados y contactos peligrosos.

EIVA= eliminación de animales infectados y vacunación en anillo de los susceptibles.

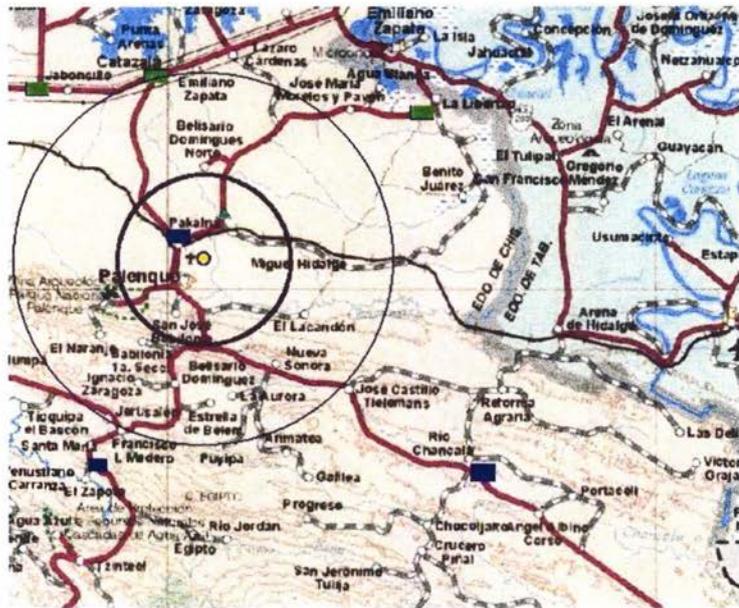
FIGURA No 4  
 SAUCILLO, CHIHUAHUA  
 ESCENARIO CON ALTA DENSIDAD DE GANADO  
 UTILIZADO PARA LA SIMULACIÓN DE UN BROTE DE FA



- ▲ RASTROS
- CASSETAS DE INSPECCION
- AREA FOCAL
- AREA PERIFOCAL
- AREA DE AMORTIGUAMIENTO



FIGURA No. 5  
PALENQUE, CHIAPAS  
ESCENARIO CON ALTA DENSIDAD DE GANADO  
UTILIZADO PARA LA SIMULACIÓN DE UN BROTE DE FA



- ▲ RASTROS
- CASETAS INTERESTATALES
- CASETAS INTRAESTATALES
- AREA FOCAL
- AREA PERIFOCAL
- AREA DE AMORTIGUAMIENTO

