



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**MODELO EPIDEMIOLÓGICO PARA EVALUACIÓN  
ECONÓMICA DE UN PROGRAMA DE CONTROL DE  
BRUCELOSIS EN GANADO BOVINO LECHERO  
ESTABLADO**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS: MEDICINA PREVENTIVA**

**PRESENTADA POR:**

**M.V.Z. JESÚS EDUARDO LUNA MARTÍNEZ**

**Directores de Tesis:  
MVZ., MSP. Jorge Cárdenas Lara  
MVZ., M. en C. Rafael Tructa Santiago**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F. JULIO DE 2003**



A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**MODELO EPIDEMIOLÓGICO PARA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN  
PROGRAMA DE CONTROL DE BRUCELOSIS EN GANADO BOVINO  
LECHERO ESTABULADO.**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS: MEDICINA PREVENTIVA**

**PRESENTADA POR**

**M.V.Z. JESÚS EDUARDO LUNA MARTÍNEZ**

**DIRECTORES DE TESIS**

**MVZ., MSP. JORGE CÁRDENAS LARA  
MVZ., M. en C. RAFAEL TRUETA SANTIAGO**

**Ciudad Universitaria, D.F. julio de 2003.**

I

## **CONTENIDO**

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo 2.- MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>11</b>
<b>Capítulo 3.- RESULTADOS</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo 4.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo 5.- REFERENCIAS</b>	<b>25</b>
<b>CUADROS Y GRÁFICOS</b>	<b>29</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>57</b>

## CUADROS

<b>Número</b>		<b>Página</b>
1.	<b>Resultados de la Regresión Logística</b>	<b>29</b>
2.	<b>Modelo de Reed &amp; Frost: Simulación de un episodio de brucelosis en un hato.</b>	<b>30</b>
3.	<b>Producción Láctea en Litros y Pesos en un estable SIN Programa de Control de Brucelosis.</b>	<b>32</b>
4.	<b>Producción Láctea en Litros y Pesos en un estable CON Programa de Control de Brucelosis.</b>	<b>33</b>
5.	<b>Producción de Leche en Litros y Pesos. Con y Sin Programa de Control de Brucelosis.</b>	<b>34</b>
6.	<b>Presencia de Abortos en un estable SIN Programa de Control.</b>	<b>37</b>
7.	<b>Presencia de Abortos en un estable CON Programa de Control.</b>	<b>38</b>
8.	<b>Costos por Abortos Esperados SIN programa y CON programa de Control.</b>	<b>39</b>
9.	<b>Modelo Poblacional de Animales Susceptibles a Brucelosis Considerando Sólo Vacunación de Vacas Adultas.</b>	<b>40</b>
10.	<b>Modelo Poblacional de Animales Susceptibles a Brucelosis Considerando Sólo Vacunación de Becerras de Reposición.</b>	<b>42</b>
11.	<b>Modelo Poblacional de Animales Susceptibles a Brucelosis Considerando Vacunación de Becerras y Vacas.</b>	<b>44</b>
12.	<b>Cosecha de Becerros en un estable SIN Programa de Control de Brucelosis.</b>	<b>46</b>

<b>Número</b>		<b>Página.</b>
<b>13.</b>	<b>Cosecha de Becerros en un estable CON Programa de Control de Brucelosis.</b>	<b>47</b>
<b>14.</b>	<b>Becerros Esperados SIN programa y CON programa de Control.</b>	<b>48</b>
<b>15.</b>	<b>Costo por concepto de Vacunación</b>	<b>49</b>
<b>16.</b>	<b>Costo por concepto de Diagnóstico</b>	<b>49</b>
<b>17.</b>	<b>Costo por concepto de Desecho en un hato SIN programa</b>	<b>50</b>
<b>18.</b>	<b>Costo por concepto de Desecho en un hato CON programa</b>	<b>50</b>
<b>19.</b>	<b>Desechos esperados SIN programa y CON programa de Control.</b>	<b>51</b>
<b>20.</b>	<b>Incremento en la Producción de Leche, Disminución de Abortos e incremento en la cosecha de becerros. (Beneficios)</b>	<b>52</b>
<b>21.</b>	<b>Costos por Diagnóstico, Vacunación y Reemplazo.</b>	<b>53</b>
<b>22.</b>	<b>Evaluación Financiera: RBC y VAN.</b>	<b>54</b>
<b>23.</b>	<b>Evaluación Financiera: TIR</b>	<b>56</b>

## GRÁFICOS

<b>Número</b>		<b>Página</b>
<b>1.</b>	<b>Modelo de Reed &amp; Frost: Brucelosis Bovina.</b>	<b>31</b>
<b>2.</b>	<b>Incremento en la Producción de Leche.</b>	<b>35</b>
<b>2b.</b>	<b>Producción Diferencial de Leche</b>	<b>36</b>
<b>3.</b>	<b>Comportamiento de la Vacunación sólo de Vacas.</b>	<b>41</b>
<b>4.</b>	<b>Comportamiento de la Vacunación sólo de Becerras.</b>	<b>43</b>
<b>5.</b>	<b>Comportamiento de la Vacunación del hato (Becerras y Vacas)</b>	<b>45</b>
<b>6.</b>	<b>Variables Económicas.</b>	<b>55</b>

## ANEXOS

<b>Número</b>		<b>Página</b>
<b>1.</b>	<b>Modelo Reed-Frost: Simulación de un Brote de Brucelosis</b>	<b>57</b>
<b>2.</b>	<b>Paradigma Determinístico de Descenso Exponencial.</b>	<b>58</b>
<b>3.</b>	<b>Función de distribución probabilística triangular</b>	<b>59</b>
<b>4.</b>	<b>Programa de Control de Brucelosis Propuesto para ser usado en el Modelo.</b>	<b>60</b>
<b>5.</b>	<b>Evaluación Financiera.</b>	<b>61</b>



## RESUMEN

Con el objeto de contribuir a la caracterización epidemiológica de la brucelosis en bovinos lecheros estabulados, evaluar el impacto, tanto de la enfermedad como de las medidas para su control establecidas en establos lecheros, y cuantificar y evaluar económicamente los costos generados para controlar esta enfermedad y establecer su rentabilidad, se identificaron variables de causalidad en 52 establos lecheros de diferentes estados del país, y se analizaron mediante el modelo de regresión logística para variables dicotómicas identificando al origen externo de los reemplazos (OR = 2.73) como a el manejo inadecuado del parto como significativo ( $p < 0.05$ ) para la presencia de brucelosis. Posteriormente se aplicó una versión modificada del modelo de Reed y Frost para simular el comportamiento de la brucelosis en un hato previamente libre, encontrando, para 500 vacas, una incidencia muy alta (48%) hacia la semana 28 con una prevalencia de 52 %. Después de 42 semanas a partir del ingreso de un animal infectado e infectante, el 70 % del hato (350 vacas) se encuentra infectado, lo que representa una tasa de infección del 100 % en animales susceptibles. A fin de analizar el comportamiento de la vacunación contra brucelosis como una medida de control, se aplicó el paradigma determinístico de descenso exponencial para poblaciones bovinas analizando tres escenarios uno con vacunación sólo de becerras (reemplazos), sólo de adultas (vientres), y de todo el hato. Se encontró que la vacunación de todo el hato garantiza mejores niveles de protección y mantiene la tasa de susceptibles por debajo de un riesgo de contagio. Al aplicar la metodología de evaluación financiera considerando un programa de control que incluye: vacunación, manejo y vigilancia de partos y monitoreo serológico, se encontró una razón beneficio costo de 25 con una tasa de inflación calculada del 11 % durante un periodo de 15 años, asimismo un valor actual neto de poco más de 88 millones de pesos y una tasa interna de rendimiento de mas del 300 % muy superior a la tasa máxima que han tenido otros instrumentos de inversión como los Certificados de la Tesorería de la Federación u otros fondos privados. Al evaluar el costo del programa establecido al cabo de cinco años se encuentra un valor de \$0.05 por litro producido, lo cual es mínimo considerando los beneficios económicos y sanitarios.

## **Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN**

### **La Brucelosis Bovina como Problema Sanitario**

Independientemente de su importancia como zoonosis, la brucelosis constituye uno de los principales problemas sanitarios en las explotaciones destinadas a la producción de leche bovina (1). Se manifiesta principalmente como un problema reproductivo generador de abortos, retenciones placentarias aún en partos normales, y orquitis, entre otros signos (2). En México se han hecho evaluaciones de su impacto en ganado lechero bajo diferentes sistemas y en diferentes condiciones (3,4,5). Todos coinciden en que genera grandes problemas y sus manifestaciones clínicas se traducen en pérdidas económicas directas aparentes, no aparentes y pérdidas consecutivas. La brucelosis genera abortos, disminución en la eficiencia productiva del hato, disminución de la producción láctea hasta en un 20 %, epidídimo-orquitis en el 70 % de los machos afectados, problemas articulares y pérdida de peso en animales crónicamente infectados (2,6). Se calcula que la tasa de seropositividad en hatos lecheros que participan en la Campaña Nacional contra esta enfermedad es de 3.5 % para el 2001, cifra no muy diferente a su similar del año anterior (7).

### **Marco Estructural**

La transformación global de la economía ha obligado a algunos países a cambiar sus procesos productivos o comerciales a fin de participar en el intercambio mundial de productos bienes y servicios). México participa en la apertura comercial con su incorporación al GATT (Acuerdo General de Aranceles y Comercio, por sus siglas en inglés) en 1986. En este acuerdo, además de varias ventajas comerciales se establecen por primera vez en el ámbito internacional, convenios relacionados con productos agropecuarios. Sin embargo debido a las grandes diferencias entre los países miembros en cuanto a situación geográfica, presencia de plagas y enfermedades y normalización, la conclusión a estos temas tardó cerca de ocho años y derivó en el Acuerdo sobre Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (8).

Posteriormente con la firma de varios tratados comerciales internacionales, se establecen políticas de libre comercio. En ellas, y siendo congruentes con el Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias del GATT, se dictan, como condición para el intercambio de productos agropecuarios, reglas dispuestas para regir el comercio existente entre los países participantes, con los principales objetivos de impedir que las restricciones sanitarias se constituyan en una barrera injustificada al comercio, establecer reglas y condiciones claras para el intercambio, así como favorecer inversiones (8). Entre los tratados más importantes que ha celebrado México, destaca indudablemente, por la derrama económica que representa, el Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN), que involucra a Canadá y a Estados Unidos de Norteamérica. En este tratado, que se firma en 1992 y entra en vigor en 1994, se establecen las condiciones que mediarán para el intercambio de los productos y servicios; y en el caso de productos agrícolas y pecuarios, se establece un capítulo sobre medidas sanitarias y fitosanitarias para proteger la vida o la salud humana, animal o vegetal, de los riesgos que surjan de enfermedades o plagas de animales o vegetales (9).

Sin embargo, con el propósito de evitar barreras innecesarias al comercio, el TLC alienta a los tres países a utilizar las normas internacionales relevantes para el desarrollo de sus medidas sanitarias y fitosanitarias. No obstante, permite a cada país adoptar medidas más estrictas que las internacionales, apoyadas en resultados científicos, cuando sea necesario, para alcanzar los niveles de protección que considere apropiados. En este sentido los tres países promoverán el desarrollo y revisión de las normas sanitarias y fitosanitarias internacionales en el marco de las organizaciones de normalización y de América del Norte sobre la materia como, entre otras; la Oficina Internacional de Epizootias (OIE) y la Comisión Tripartita de Salud Animal (9). Ambos organismos reconocen que la brucelosis es una enfermedad que causa detrimento en el desarrollo pecuario, generando pérdidas económicas directas, además de ser un riesgo real de enfermedad para la población humana (zoonosis).

En el TLCAN asimismo se acuerda promover la equivalencia de medidas sanitarias y fitosanitarias sin reducir el nivel de protección de la vida o la salud humana, animal o vegetal de cada país, y cada país aceptará como equivalentes a sus medidas sanitarias y

fitosanitarias a las de otros países miembros del TLCAN, a condición de que el país exportador demuestre que sus medidas cumplen con el nivel adecuado de protección (9).

Si bien la firma de estos acuerdos representa una alternativa importante de recuperación económica para el país, en virtud de que algunos sectores se están beneficiando, la situación del sector pecuario nacional presenta graves problemas ya que los fuertes apoyos financieros que se proporcionan en los EE.UU. a los ganaderos a través del subsidio de apoyo a las actividades agrícolas o "*Farm Bill*", aunado a la baja productividad nacional hacen que no seamos competitivos. Lo anterior se evidencia con el aumento de las importaciones de carne de bovino (y porcino) y leche en polvo de los años recientes, colocando a México en una posición poco ventajosa y, por tanto, lo obliga a mejorar sus mercados pre-existentes.

De ahí que una de las alternativas para captación de divisas por concepto de comercio exterior sea la exportación de ganado bovino en pie a los Estados Unidos, donde el novillo mexicano es solicitado. Este tipo de animales, dados los sistemas de crianza en nuestro país, representarían erogaciones incosteables si se quisiese engordarlos localmente, por lo que la opción de la exportación resulta altamente atractiva (8,10).

En este sentido, con el objeto de garantizar las condiciones zoonosológicas del ganado de exportación, manteniendo esta alternativa de mercado con los Estados Unidos, y ante la amenaza de un cierre de fronteras al ganado en pie por un aumento en la incidencia de casos de tuberculosis en ganado de origen mexicano sacrificado en los Estados Unidos, se crea en 1993 la Comisión Nacional para la Erradicación de la Tuberculosis Bovina y la Brucelosis, con el objeto de coadyuvar en el fortalecimiento de los comités estatales para lograr el abatimiento de ambas enfermedades. Y una de sus primeras tareas, siendo congruente con la política de normalización equivalente que impuso el comercio internacional, fue la elaboración de las Normas Oficiales Mexicanas de las dos Campañas motivo de esta Comisión entre 1995 y 1996 (7, 10).

Así, después de la publicación de una Norma Oficial Mexicana de Emergencia y del proyecto respectivo, se publica en 1996 la NOM-041-ZOO-1995 "Campaña Nacional contra la Brucelosis de los Animales", donde se establecen los procedimientos, actividades,

criterios, estrategias y técnicas para el control y eventual erradicación de la brucelosis en las especies susceptibles en todo el territorio Nacional. Su observancia es obligatoria. Sin embargo, a fin de estar en el ámbito de la competitividad de sus socios comerciales, estas medidas han resultado, en ocasiones, poco plausibles para la realidad nacional, dado que no existe un fondo financiero igualmente equivalente que permita realizar acciones agresivas de erradicación, como el sacrificio de reactores y su consecuente indemnización, y por tanto se recurre a alternativas que buscan un avance gradual acorde con las asignaciones presupuestarias, que no necesariamente son suficientes. Baste mencionar que para el año 2000 la Campaña Nacional contra la Brucelosis registraba 55,612 hatos probados participantes en campaña con un 4 % de seropositividad (aproximadamente 2,200 hatos afectados con 16,137 reactores) (7), mientras que el Programa de Erradicación de Brucelosis de los Estados Unidos de Norteamérica registraba 14 nuevos hatos afectados y tres cuarentenados para toda la unión americana en el mismo periodo (11). Con lo anterior, se observa una gran disparidad en la exigencia de homologación de reglas y procedimientos. Por lo tanto la aplicación de las estrategias mencionadas para el control de la brucelosis no siempre son factibles si no existe un sustento financiero congruente.

### **Marco Económico**

Considerando que la brucelosis en tanto problema pecuario en la ganadería bovina, continua siendo uno de los principales problemas zoonos sanitarios, ya que merma la salud del hato *per se*, afecta la productividad del hato al generar disminución en la producción lechera y cárnica, y es una limitante para la comercialización local e internacional de animales y productos (10), en México se han realizado esfuerzos de evaluar las pérdidas económicas debidas a esta enfermedad en ganado lechero en diferentes épocas, por ejemplo: Para el año de 1975 la Campaña Nacional para el control de la Brucelosis estimó las pérdidas en poco más de 315 millones de pesos, dos años más tarde, en 1977, se calcularon en 376 millones de pesos (Aproximadamente 26 millones de dólares al tipo de cambio 14 X 1) (12, 13). Para 1987 esta cifra se incrementó a 1,016 millones de pesos según la Dirección de Salud Animal de la Dirección General de Sanidad Pecuaria, Agrícola y Forestal de la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, estimando

pérdidas económicas por concepto de leche no producida, pérdidas en crías y eliminación prematura de animales (14). Para 1996 estas pérdidas fueron cuantificadas en 576 millones de pesos (Aproximadamente 175 millones de dólares estadounidenses al tipo de cambio 3.3 X 1) (15).

No obstante se presume que estas cifras pudieran estar subestimadas en virtud de no considerar todos los elementos de impacto de la enfermedad y, generalmente están basadas en consideraciones erróneas como las siguientes (16):

- a) La enfermedad podría ser erradicada inmediatamente a costo cero. En el sentido de que se evalúa “el costo de la enfermedad”, asumiendo que si se dispone de la cantidad equivalente a la calculada por pérdidas, se eliminaría el problema.
- b) El incremento en la producción como consecuencia de la erradicación de la enfermedad, no generaría ningún cambio en los precios actuales recibidos por los productores y pagados por los consumidores.

Además, como las ramificaciones del control de la enfermedad fluyen hacia los diferentes pasos del procesamiento y comercialización de los productos antes del eventual beneficio al consumidor, intentar calcular el “costo de la enfermedad” rápidamente se convierte en un ejercicio complejo y extenso (16). Por ello se calcula el impacto sobre algunos aspectos fundamentales relacionados con la productividad o la comercialización, más que las pérdidas globales o totales, que muchas veces son incuantificables. Por ejemplo: para la exportación de hembras de bovino adultas hacia E.U.A., es necesario someter a los animales a pruebas serológicas, y garantizar que no serán usados para reproducción. Para ello es necesario castrar a las hembras en frontera. Durante el periodo de 1996 a 2000 se exportaron en promedio 170,000 vaquillas por año, con un costo por castración de \$ 8.00 dólares, por animal. A esta cantidad hay que sumar otras por manejo en las estaciones cuarentenarias, como el baño garrapaticida (que es otro requisito de exportación), pruebas de tuberculina, tratamientos cicatrizantes, documentación y herrajes, lo que arroja un total aproximado de 29 dólares por animal, lo que multiplicado por el número promedio de

vaquillas exportadas por año fiscal suma poco menos de cinco millones de dólares. Cifra, ésta, que impacta directamente en los costos de la exportación (10).

De ahí que se hayan realizado evaluaciones económicas considerando el beneficio de controlar la enfermedad sobre el costo de mantenerla en las explotaciones y, por ende, en las zonas o regiones donde éstas están y en los procesos que afectan (17,18,19,20).

La evaluación económica se define como el análisis comparativo de cada una de las diferentes alternativas de acción en términos de sus costos y beneficios (21).

La realización de este tipo de evaluaciones a los programas de control de enfermedades es una técnica que permite tomar decisiones sobre su funcionamiento y futuro desarrollo (20).

La Campaña Nacional contra la Brucelosis, aplicada a bovinos lecheros, a partir de la publicación de la Norma Oficial respectiva, necesita contar con herramientas que le permitan evaluar el impacto de su aplicación y seguimiento, aún a nivel de hato, que es la unidad mínima básica donde se puede medir el éxito de un programa de control.

Existen varios métodos para evaluaciones de este tipo: minimización de costos, análisis costo-eficacia, análisis costo-utilidad y la relación beneficio- costo (RBC), éste último considerado el método más completo. El hecho que distingue a los diferentes métodos de evaluación económica es la manera en la que son valuadas las consecuencias de la aplicación o no de un programa de control. La relación beneficio-costo (RBC), requiere que las consecuencias del programa sean valuadas en unidades monetarias (22). Con la RBC se evalúan: los impactos positivos (beneficios) y negativos (costos) resultado de la aplicación o no del programa; también si los beneficios esperados u obtenidos exceden los costos de aplicar dicho programa; asimismo permite advertir algunos efectos negativos de su posible aplicación y contribuir así, a la aplicación de medidas que puedan evitar o aminorar dichos efectos (23,24,25).

Las dificultades que implica el uso de la relación beneficio-costos en el tratamiento o prevención de una enfermedad, incluyen, entre otros aspectos, la detección de los parámetros biológicos que forman la base de los cálculos económicos (26).

La mejor manera de representar las relaciones entre los parámetros biológicos de una enfermedad de manera controlada es mediante la elaboración de modelos epidemiológicos (27).

La modelación en Epidemiología tiene por lo menos cuatro intenciones (28):

1. Entender mejor los mecanismos de difusión de una enfermedad.
2. Predecir con cierto grado de certidumbre el curso futuro de una epidemia.
3. Dilucidar mejores y más efectivas estrategias y métodos para el control de la extensión de la enfermedad.
4. Evaluar el impacto económico tanto de la enfermedad como de las medidas de intervención para su control.

Uno de los principales problemas en la Epidemiología y Economía veterinarias es la estimación de las relaciones entre los diferentes factores que determinan un proceso de enfermedad en una población ganadera. Los modelos son representaciones del comportamiento de un sistema, simulando, de manera controlada, todas las condiciones posibles. En Epidemiología y en Economía los modelos son invariablemente matemáticos, así el sistema se representa mediante relaciones matemáticas entre sus elementos (28,29).

Los modelos se construyen con la intención de predecir, por un lado, parámetros de ocurrencia de enfermedades; y por otro, la posibilidad de respuesta a diferentes estrategias alternativas de control que se adopten (28).

#### **Situación Actual.**

La Campaña Nacional contra la Brucelosis de los Animales ha sido aplicada a nivel nacional con diferente intensidad y grado de compromiso por parte de productores y



autoridades, dependiendo en gran medida de los recursos asignados, lo que implica que, aunque hay regiones con un avance notable en el control de la brucelosis, no se tiene un nivel uniforme de aplicación normativa en todo el territorio. Por otro lado los registros de vacunación en ganado bovino confirman que el mayor porcentaje de animales vacunados está en el ganado lechero, sin embargo no se ha evaluado el impacto de ésta vacunación en los avances de la campaña. En 1999 se registra la penetración de cerca de 1 millón de dosis de vacuna en hembras bovinas de acuerdo a lo reportado por los laboratorios productores de la vacuna. De esta cifra el 97 % corresponde a colocación de la vacuna en ganado lechero. Por otro lado, se observa que en hatos probados la seropositividad se mantiene constante en aquellas zonas en las que la vacunación no es prioritaria (6).

### **Justificación**

Por un lado, no se ha actualizado por lo menos en los últimos diez años la caracterización epidemiológica de la brucelosis bovina en hatos lecheros, y por tanto no se ha evaluado el impacto de la enfermedad, por otro lado no se dispone de herramientas homologadas de uso generalizado para la evaluación de las actividades de control y erradicación de brucelosis en ganado lechero. Por lo tanto es necesario contar con un modelo epidemiológico que explique de manera general el comportamiento de la brucelosis en los hatos lecheros, su impacto en la productividad y en la economía, así como el impacto de diferentes alternativas de control que colateralmente contribuya a la toma de decisiones.

### **Plantamiento del Problema.**

¿ Es posible predecir el comportamiento de la Brucelosis en hatos Bovinos Lecheros?

¿ Es posible evaluar el impacto de las diferentes acciones de control de la brucelosis en hatos lecheros?

¿ Son rentables las acciones tomadas en una campaña para los diferentes actores involucrados en ella?

### **Objetivos.**

Elaborar un modelo probabilístico sobre el comportamiento de la brucelosis en hatos lecheros estabulados y sus consecuencias, que permita predecir y proyectar el

comportamiento de la enfermedad si no se aplican medidas de control, y evaluar el impacto de diferentes alternativas de control. Estableciendo, finalmente la rentabilidad de estas acciones mediante la RBC y otros indicadores económicos, ayudando con ello a la toma de decisiones en la empresa lechera.

## **Capítulo 2.- MATERIAL Y MÉTODOS**

Para la realización de este trabajo se utilizó información de trabajos previos elaborados en el país donde se registraron modelos de comportamiento de la brucelosis en hatos bovinos (30,31,32), y trabajos de evaluación económica de la enfermedad, así como del análisis de la información registrada en la Dirección de Tuberculosis Bovina y Brucelosis (CANETB), de la entonces Comisión Nacional de Sanidad Agropecuaria (CONASAG), de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) (hoy Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA), sobre seropositividad en hatos muestreados bajo campaña inscritos en los diferentes programas que ofrece la Normatividad Vigente, misma que no ha sufrido cambios o modificaciones desde su publicación en 1996 (Norma Oficial Mexicana NOM-041-ZOO-1995 Campaña Nacional contra la Brucelosis de los animales).

### **Etapas:**

- Caracterización epidemiológica de la brucelosis en hatos lecheros,
- Construcción del modelo epidemiológico y sus variables productivas.
- Aplicación de la evaluación económica a los escenarios generados SIN y CON programa de control.

### **Caracterización epidemiológica de la brucelosis en hatos lecheros.**

Con el objeto de conocer el comportamiento real de la brucelosis en hatos lecheros estabulados, y hacer su caracterización epidemiológica, se realizó una encuesta en 52 establos bovinos lecheros de diferentes partes del país, con diferente condición sanitaria con respecto a la brucelosis, pudiendo ser hatos libres, o infectados con programa de control, o infectados sin aplicación de medidas de control, para identificar variables que pudieran ser factores de riesgo para la presencia de la enfermedad.

Las variables estudiadas se codificaron de manera dicotómica y fueron:

**Variable dependiente:**

- Presencia de brucelosis. Establecida con serología confirmatoria a la prueba de rivanol, según la NOM respectiva.

**Variables independientes (Modificadoras de efecto):**

- Tamaño del Hato (Nº de Vacas): Para analizar si existe alguna relación o asociación causal entre el tamaño del hato y la presentación de la enfermedad.
- Presencia histórica de brucelosis: Determinada por serología. Se menciona que la recurrencia de la enfermedad es determinante para el mantenimiento a largo plazo de la enfermedad (2).
- Porcentaje de positividad (Seroprevalencia): Se menciona que a mayor tamaño del hato mayor morbilidad (2).
- Presencia de Abortos: Los abortos en hatos afectados siguen siendo el principal signo de la presencia de la enfermedad, y generan pérdidas importantes (6,10).
- Actividades de Control: Se obtuvieron inquirendo sobre ¿ qué se hace para controlar la enfermedad ? vacunación, pruebas, combinación de ambas o nada. Mediante revisión de los registros de actividades del propio rancho.
- Participación en Campaña Oficial: Se analizó el impacto de esta variable en el control mediante el cuestionamiento si participa o no en la Campaña y la revisión documental de dictámenes y constancias oficiales.
- Origen de los reemplazos: Una de las variables más significativas en otros trabajos (31,32), es la introducción de reemplazos externos.
- Método de fertilización: Se analizó comparativamente el uso de la monta natural vs. Inseminación artificial.
- Presencia de otras especies animales susceptibles: Otra variable significativa para la persistencia de la enfermedad reportada es la presencia de fauna susceptible en la unidad de producción (2).

- Manejo del Parto<sup>1</sup>: Por observaciones directas se ha identificado que uno de los factores que mayor incidencia tiene en la transmisión de la enfermedad es el manejo inadecuado del parto normal. Por ello se decidió introducir en la encuesta esta variable de la que no hay antecedentes.

Las unidades encuestadas fueron 52 establos, con un total 5,655 animales distribuidos en los estados de Aguascalientes, Chiapas, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Querétaro y la región de La Laguna. El tamaño de muestra fue por conveniencia, y la característica que lo definió fue que el 100 % de los establos están vinculados a una de dos empresas lecheras que incluyen, como requisito, dentro de sus políticas, el control de la brucelosis. El sistema de producción es muy similar y salvo un establo en Chiapas, todos son de ganado Holstein especializado; y participan con diferente intensidad en los programas internos propios de la empresas para el control de brucelosis.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante la aplicación del modelo de regresión logística para variables dicotómicas (33,34,35). Los valores de probabilidad de riesgo obtenidos (OR por sus siglas en inglés) se contrastaron con lo observado por otros autores nacionales.

#### Manejo de la información.

Los datos obtenidos en campo se capturaron en una hoja de cálculo, y se analizaron con el programa Stata Ver. 4.0. (Stata Corporation) que permite aplicar varias técnicas de análisis multivariado. Como se explica posteriormente.

#### Análisis.

La variable de respuesta se clasifica como dependiente, y su característica en cuanto a su presentación es dicotómica (presencia o ausencia de Brucelosis), y lo que interesa conocer es el grado de asociación que tiene con otras variables presentes que pueden ser modificadoras del efecto, o variables independientes. Para este tipo de análisis es de gran

---

<sup>1</sup> Consiste en la asignación de parideros individuales de animales próximos al parto y eliminación de la placenta y líquidos del parto; desinfección, así como cuarentena de las hembras recién paridas.

utilidad la Regresión Logística Múltiple para conocer el grado de asociación entre las variables de exposición y la presencia de la enfermedad y predecir el comportamiento de la variable dependiente en función de una ó más independientes. Se evaluaron interacción y modificación del efecto y se controló por variables confusoras. Luego de identificar los factores de riesgo individuales estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) de las diferentes características estudiadas se ajustó el modelo mediante la prueba de Chi Cuadrada. El ajuste de los modelos de regresión asume que la variable de respuesta dicotómica tiene una distribución binomial, esto favorece la construcción de la prueba de máxima verosimilitud. Se construyeron diferentes modelos, se probó la hipótesis de nulidad mediante la prueba de razón de verosimilitud. Todo ello según lo recomendado por Hosmer y Lemeshow (34).

#### **Construcción del modelo epidemiológico.**

Se ajustó y modificó el modelo de Reed y Frost (27) (Anexo 1), al comportamiento de la brucelosis bovina lechera diferenciando el criterio de inmunes contra infectados, en el supuesto, para este trabajo, de que los animales que padecen la enfermedad, no quedan inmunes y sí infecciosos. El modelo de Reed y Frost se construyó con ayuda de una hoja de cálculo (MS Excel 2000). Se aplicó como probabilidad de transmisión el valor previamente establecido de 0.06 (36). El período que se utilizó entre la exposición a la enfermedad y la manifestación clínica fue de 14 semanas (37).

Mediante el uso modificado del paradigma determinístico de descenso exponencial (27), que también se construyó con ayuda de una hoja de cálculo (Microsoft Excel 2000 ©) (Anexo 2), se analizaron tres posibles escenarios de evolución de la vacunación, considerando vacunación sólo de vacas adultas, vacunación sólo de becerras y vacunación del hato completo. En todos los casos se consideró una cobertura de vacunación de 95 % y una eficacia vacunal del 80% (valores ajustables en la hoja de cálculo).

Una vez obtenidos los valores de probabilidad de riesgo de las variables, con la ayuda de una hoja de cálculo (Microsoft Excel 2000 ©) y un programa de evaluación de riesgos (@-Risk 3.5 ©, Palisade Soft) en computadora personal, se combinaron los resultados de los

modelos citados arriba y se realizaron proyecciones del comportamiento de la brucelosis, utilizando el tipo de distribución probabilística a los que se ajustaban los datos (34).

Para la aplicación de la metodología de evaluación económica se calcularon los siguientes parámetros:

- **Producción lechera:** Se calculó el valor de la producción esperada en ausencia de la enfermedad; contrastándola con el valor de la producción ante la presencia de la enfermedad, considerando una pérdida en la producción de leche por concepto de brucelosis del 20 %, tal como lo registra la SAGAR (6). Al hacer los cálculos sobre la producción de leche se optó por los parámetros reportados previamente (38,39), con una producción media de 30 litros por vaca por día. En cuanto al precio se supuso un valor de \$ 3.00 por litro que es considerado comercialmente aceptable.
- **Con respecto a la presencia de abortos** se tomó como valor de este indicador del 3 al 5 % como esperable en ausencia de brucelosis, y del 5 al 15 % en hatos afectados dependiendo del tiempo de infección (6,31), asignando un valor probabilístico de ocurrencia basado en una distribución triangular (Ver Anexo 3.). Los costos por abortos se cuantifican considerando lo calculado tanto por el Comité de Abortos de La Laguna en Torreón, Coahuila, México, como por la Gerencia Técnica de Grupo Lala S.A. de C.V., (40,41) que incluye, además del valor de la pérdida del becerro, sino además el valor de los tratamientos derivados del evento abortivo, dosis de semen perdidas, pérdida de leche, diferenciando entre vaquillas de primer parto y mayores. En el modelo de la hoja de cálculo se usa un valor probabilístico también basado en una distribución triangular de los precios pagados por este concepto en la región de referencia considerando como valor mínimo \$ 8,200.00, como valor más probable \$ 10,400.00 y como valor máximo \$ 12,550.00.

El Programa de control de Brucelosis Propuesto (Anexo 4.) es el que se recomienda con mejores resultados en campo, de acuerdo a algunas empresas lecheras (36,20). Su aplicación se evalúa, en este trabajo por los siguientes indicadores:

- **Aumento en la cosecha de becerros (becerros nacidos).** Sólo se consideró el incremento en el número de becerros nacidos por la cantidad de abortos evitados

por disminución de la brucelosis, y se incluyó un 10 % de mortalidad general en becerros neo natos. Para el cálculo del valor de becerros nacidos se usó el precio que pagan los comercializadores de becerros en los establos estudiados, considerando como becerro a aquel animal que no será destinado a la cría, y que sobrevive al menos 15 días. El valor del precio pagado también se calcula a partir de una distribución probabilística triangular con valores mínimo, más probable y máximo de \$100.00, \$ 180.00 y \$ 220.00 respectivamente.

- Costo de la Vacunación: Se estimó un costo por actividad de vacunación de \$ 20.00, considerando tanto el precio pagado por el biológico como los gastos de la actividad y el material. Está basado en los costos calculados por las empresas lecheras que participan con estos hatos en el control de la brucelosis.
- Costos de diagnóstico. Se calculó un costo de \$ 15.00 pesos promedio, considerando solamente el precio del servicio en los laboratorios que hacen la prueba tamiz. No se consideró, por facilidad, el porcentaje de muestras que requieren una prueba confirmatoria en virtud de que en hatos con baja prevalencia o libres basta la prueba tamiz para tomar decisiones sobre el destino de animales reactivos.
- Costo por desecho. Se calculó un costo de recuperación de \$ 2,000.00 por desecho, basándonos en lo que pagan en los rastros por animales de desecho lecheros. Asumiendo que en hatos afectados sin programa de control el desecho se incrementa hasta un 8.4 % con relación al porcentaje de desecho por cualquier otra causa (calculado y consignado al inicio en este trabajo). Este valor se desprende de los datos generados por Flores Castro y cols. citado por Nicoletti (36). El porcentaje de desecho por concepto de brucelosis en hatos con programa disminuye gradualmente en el tiempo. Los datos de referencia se calcularon mediante un modelo de regresión lineal para predecir el comportamiento de la disminución en presencia de un programa similar al propuesto (36).
- Costo por reemplazo. Se incluyó el valor del precio de una vaquilla de reemplazo menos el valor de recuperación pagado en el rastro por animales de desecho.



- **Costo por manejo.** Se calculó un valor de \$2,000.00 mensuales sólo por concepto de sueldo a pagar por manejo exclusivo de partos. Este valor es el que se paga en establos con programa interno de control.

Posteriormente, una vez construido el modelo y sus proyecciones, se realizó la evaluación económica de cada escenario, de acuerdo con la metodología propuesta por Trueta y Lecumberri (25) (Anexo 5.) que consiste en la identificación de todos los costos y beneficios de la aplicación de las medidas de control, su cuantificación y valuación; y compararlos con los equivalentes en ausencia de la aplicación de esas medidas. Y evaluando la participación de cada una de las variables.

### Capítulo 3.- RESULTADOS

Los resultados se muestran en los cuadros 1 a 23, y en las Gráficas 1 a 7.

#### Caracterización Epidemiológica.

Con respecto a los hallazgos del análisis de regresión logística se encontró que hay un riesgo estimado significativo (Razón de probabilidad u OR por sus siglas en inglés) cuando se tiene origen externo de los reemplazos (OR = 2.73;  $p < 0.05$ ), además, el manejo inadecuado del parto también resultó significativo (OR = 2.54;  $p < 0.05$ ), (35).

Para llegar al modelo final se siguió el método de eliminación progresiva (“backward”) (34), que se inicia incluyendo todas las variables independientes, por lo que se le llama modelo saturado, y del que se van eliminando una a una las variables que contribuyen menos al modelo. Posteriormente se valora el modelo mediante la prueba de razón de verosimilitud (LRT)(34). Con el objeto de buscar el efecto aditivo de la interacción de variables se evaluaron las interacciones siguientes: Tamaño de hato y antecedente de brucelosis, participación en campaña y control interno, antecedente de brucelosis y presencia de abortos, antecedente de brucelosis y tipo de reproducción. No se encontraron variables confusoras, ni significancia en variables de interacción; obteniendo como modelo ajustado final:

***Logit  $P(x) = \beta_0$  (constante) +  $\beta_1$ (tamaño de hato) +  $\beta_2$  (Presencia de Abortos) +  $\beta_3$  (Origen de los Reemplazos) +  $\beta_4$  (presencia de otros animales) +  $\beta_5$  (Manejo inadecuado del parto).***

Donde:

- $\beta_1$  Tamaño del hato se refiere a mayor o menor (ó igual) del promedio de vacas por hato (teniendo como valor basal 100 animales), pues se menciona que a mayor tamaño mayor prevalencia (36), no obstante no se encontró significancia.
- $\beta_2$  Presencia de abortos. Si el hato ha presentado o no abortos atribuibles a brucelosis.

- **$\beta 3$**  Origen de los reemplazos. Si el hato tiene su propia cría o si depende el reemplazo externo.
- **$\beta 4$**  Presencia de otros animales. Presencia de especies domésticas susceptibles a la brucelosis en la explotación.
- **$\beta 5$**  Manejo inadecuado del parto. Se refiere a la carencia de: parideros individuales, separación de hembras antes del parto y limpieza de líquidos y membranas placentarios y desinfección.

Al aplicar el modelo de Reed y Frost considerando un tamaño de hato de 500 animales y a partir del ingreso de un animal infectado e infeccioso al hato en un tiempo "cero"; se observó que al cabo de 42 semanas el 70 % del hato se encontraría infectado. Este porcentaje, equivalente a 350 animales, corresponde al total de animales susceptibles al principio del período, es decir, la totalidad de animales susceptibles estaría infectado.

Asimismo el modelo permite el cálculo de la prevalencia y de la incidencia por período; en este ejercicio la mayor incidencia se encontraría a las 28 semanas (48 %), con una prevalencia de 52 %.

En cuanto al uso modificado del paradigma determinístico de descenso poblacional exponencial (27), se analizaron tres posibles escenarios (cuadros 9 a 11 y gráficos 3 a 5), considerando vacunación sólo de beceras, sólo de vacas adultas y vacunación de todas las hembras bovinas del hato. Siempre considerando una cobertura de vacunación del 80 %, pues se ha observado que casi nunca se vacuna el 100 % de un hato, y estimando una eficacia vacunal del 75 % (42); encontrándose que con el escenario de vacunación tanto de beceras como de hembras adultas se mantiene un nivel de protección por encima del nivel de susceptibilidad que permita la transmisión de la enfermedad.

Para la aplicación de la metodología de evaluación económica se calcularon los siguientes parámetros:

- Aumento en la producción lechera: Ascendió a poco más de 4.6 millones de litros para el primer año, contra un valor calculado sin programa de 3.9 millones de litros,

- lo que significó una ganancia de 633 mil l, que suman 1.9 millones de pesos. Estabilizándose estos incrementos en años subsiguientes.
- Aumento en la cosecha de becerros. El cálculo fue de 324 becerros rescatados, contra 240 en un escenario sin programa, lo que sumó cerca de 14,000 pesos para el primer año. En años subsecuentes se estabiliza en un incremento de 19 becerros lo que significa una ganancia de \$ 3,150.00 por año. Sumando al cabo del período calculado \$ 60,300.00.
  - Costo de la Vacunación: Se estimó un costo por actividad de vacunación de \$ 20.00, constante considerando la vacunación como una actividad repetible anualmente a un número igual de animales. Este valor permanece constante durante todo el período evaluado.
  - Costos de diagnóstico. Se calculó un costo de \$ 15.00 pesos promedio. Igual que el valor de vacunación, el costo por diagnóstico permanece constante asumiendo que se hace serología al total de animales una vez al año.
  - Costo por desecho. Se calculó un costo de recuperación de \$ 2,000.00 por desecho de animales eliminados por concepto de enfermedad, basándonos en lo que pagan, en promedio, en los rastros por hembras de desecho lecheros, que se restan al valor del reemplazo de aproximadamente \$ 19,000.00 según las estimaciones de Aguilar y cols. (43), en La Laguna, mismo que puede generalizarse por la calidad similar de los animales del estudio.

Al actualizar los costos y los beneficios obtenidos y presuponiendo una tasa inflacionaria del 11 %, la RBC mostró una rentabilidad de 25 ( $> 1$ ), y el VAN indica utilidades de \$ 88'006,581.00 ( $> 0$ ) importantes. Al calcular la tasa interna de rentabilidad se observa que el aplicar medidas de control a los precios calculados y comparando con los beneficios obtenidos es altamente rentable, pues para el período calculado se observa una rentabilidad superior al 300 %, cifra que no ofrecen los instrumentos de inversión en el mercado disponibles comercialmente (CETES, Fondos de Inversión capitalizables, etc.).

Por otro lado si bien la cifra de \$ 683, 400.00 como inversión inicial puede percibirse alta por el productor, al dividirla, por ejemplo, entre los 1'224,510 litros de leche producidos en

el año el costo de la inversión equivale a \$ 0.56 por litro, sin embargo para el año 4 esta inversión equivale a \$ 0.05 por litro, lo cual la hace muy atractiva al productor.

#### **Capítulo 4.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.**

##### **DISCUSIÓN**

El modelo resultante de Regresión Logística, coincide con lo reportado previamente por Mejía y por Sosa (31,32). En los que la variable “origen de los reemplazos” resultó con mayor significancia. Sin embargo, es de destacar que en esos trabajos se hacía referencia a condiciones locales, mientras que en el presente modelo se consideran explotaciones de varias entidades del país, y por lo tanto bajo diferentes condiciones ecológicas de crianza, lo que permitiría, bajo las condiciones del trabajo, hacer generalizaciones sobre esta característica. El identificar variables significativas de riesgo facilita la orientación de los programas de control para minimizar el efecto de esas variables. En este estudio confirmamos lo que habíamos observado anteriormente con respecto a que el manejo adecuado del parto disminuye el riesgo de transmisión y perpetuación de la enfermedad (44). Llama la atención que, a pesar de que algunos trabajos establecen al aborto como un factor de riesgo, en éste se puede concluir que es el parto normal de animales infectados el que genera mayor riesgo. Llama la atención que la variable “Participación en Campaña Oficial”, no tuvo significancia en esta evaluación, lo que puede sugerir que son las actividades internas de control de los hatos, generadas por el riesgo o la presencia de la enfermedad, las que determinan la presencia de la enfermedad.

Con respecto al modelo de Reed y Frost se observa que bajo las condiciones del presente estudio se ajusta a las necesidades de evaluación pues facilita el análisis de datos considerando diferentes probabilidades de contacto eficiente para establecer el contagio. Si bien se trata de un modelo determinístico que deja por fuera algunas consideraciones identificadas durante el desarrollo de este trabajo, es innegable su utilidad como herramienta predictiva inicial. Es cierto que no considera *a priori* las fluctuaciones en la densidad población original y presupone que el hato no tiene crecimiento; sin embargo predice adecuadamente el comportamiento la epidemia en un hato en un tiempo

determinado. El hecho de haber obtenido un nivel de afectación del 70 % del total del hato equivalente al 100 % de los animales susceptibles al cabo de 42, semanas coincide con lo registrado en estudios observacionales por Nicoletti y García Carrillo (36,37). Lo anterior permite hacer inferencias sobre posibles riesgos en el campo.

Considerando que el comportamiento de la enfermedad en modelos determinísticos es lineal, es posible hacer predicciones sobre su presentación, siempre y cuando las condiciones de evaluación o modelización inicial se mantengan constantes (28). Por ello es necesario observar si existen factores significativos que impacten en el comportamiento de la enfermedad a través del tiempo.

Si bien en la aplicación del modelo de Reed y Frost se asumieron estimadores puntuales estáticos, el uso de simulaciones acordes a distribuciones probabilísticas para la asignación de valores de ocurrencia (distribuciones triangular, y normal tal y como se hizo para la asignación de valores de presentación de abortos, o eficiencia reproductiva por ejemplo), favorecen la comprensión de la ocurrencia de un fenómeno casi tal y como ocurre en la realidad pues incluye un factor de probabilidad (28,45).

No obstante, se identifica la necesidad de considerar otros factores como la resistencia natural que desarrollan algunos animales, el aumento en la inmunidad por revacunaciones y el que algunos animales se tornan inmunes después de padecer la enfermedad, por lo que sería conveniente evaluar el uso de modelos estocásticos que permitan analizar estas variables (27,28).

En cuanto a la aplicación del paradigma de descenso exponencial, se confirma lo que en la práctica se recomienda tradicionalmente acerca de vacunación de toda la población, y no sólo de un subgrupo. Con ello se fortalece la inmunidad de hato y se mantiene baja la proporción de susceptibles a un nivel de riesgo insignificante.

Considerando que el programa de control de brucelosis analizado como modelo ha demostrado su eficacia en otros trabajos era de esperarse que se encontraran valores que

justificaran financieramente su utilidad. El uso de simulaciones permite evaluar diferentes alternativas de control aún antes de aplicarlas en el campo. El programa incluido en el presente modelo resultó rentable, lo que coincide con trabajos previos (18,19,20), el obtener una TIR tan alta evidencia el hecho de que la inversión en Medicina Preventiva es una alternativa de incremento real en la productividad. Si bien pudiera antojarse esta cifra como artificialmente alta, el análisis de los costos permite, incluir otras variables como la construcción de un horno crematorio para placentas o la construcción de parideros individuales y aún así seguir siendo rentable.

Los incrementos en la cantidad de leche y en la cosecha de becerros, así como en la disminución de abortos, que si bien no fueron calculados bajo los mismos criterios de los trabajos previos revisados y citados, también demostraron que este programa de medicina preventiva veterinaria, impacta en la producción y productividad de las explotaciones, esto sin considerar el impacto a la salud pública que, en este trabajo, no fue evaluado.

#### **CONCLUSIONES.**

Pese a lo que pudiera creerse la brucelosis es una enfermedad cuyo impacto no ha sido totalmente evaluado, el conocimiento sobre su epidemiología permite identificar variables que antes no eran reconocidas y evaluadas; el uso de herramientas de análisis multivariado, como la regresión logística, permite cuantificar la relación de las variables consideradas de riesgo y la enfermedad. Sin embargo, es necesario disponer de datos suficientes en calidad y cantidad que permitan hacer generalizaciones y, en su caso, predicciones sobre el comportamiento de la brucelosis a partir de determinados factores de riesgo.

El uso de modelos para representar la realidad es una herramienta muy útil cuando se conocen las variables y se dispone de la información necesaria para alimentar al modelo. El avance secuencial de cada uno de los pasos en la modelización, así como en la aplicación de la evaluación financiera permite identificar variables no consideradas como importantes que pueden ser sujetas a una evaluación.

Los modelos determinísticos a pesar de su rigidez matemática son una buena herramienta para hacer predicciones sobre el comportamiento de enfermedades infectocontagiosas como la brucelosis, y permiten analizar la conveniencia de la aplicación de determinadas medidas de intervención aún en ausencia real del fenómeno.

Por otro lado la aplicación de modelos predictivos, es una excelente alternativa para evaluar diferentes opciones de medidas de intervención, bajo diferentes escenarios y condiciones epidemiológicas simuladas (como un aumento súbito en la morbilidad) que, de presentarse en la realidad sin antecedente de ellas, implicarían costos muy altos. En este sentido la modelización epidemiológica resulta una opción muy económica si se le compara con otras formas de experimentación.

Con respecto al programa de control, se concluye que es una muy buena alternativa para contribuir a la erradicación de la enfermedad. Cuando se analiza el costo del programa en términos poblacionales y productivos (Costo del programa por cabeza y costo del programa por litro de leche producida), se observa que es una inversión mínima para controlar la enfermedad, más si se le compara con lo que cuesta coexistir con ella cuando no se aplica un programa de control.



## Capítulo 5.- REFERENCIAS.

1. Ávila G., J.: Bioseguridad en empresas Lecheras. En: Novena Reunión Anual del Consejo Técnico Consultivo Nacional de Sanidad Animal. Memorias. p.p. 7-13 CONASAG, CONASA, México 2001.
2. Blaha, T.: Epidemiología Especial Veterinaria. Acribia, Zaragoza, España, 1995.
3. Castro R., J.A.: Pérdidas económicas que provoca *Brucella abortus* en el ganado bovino en la Sindicatura de El Dorado Sinaloa. Tesis de Licenciatura. FMVZ, UNAM, México, 1981.
4. Comisión Nacional para el Fomento de la Producción y el Aprovechamiento de la Leche A.C.: Análisis Beneficio – Costo de la Campaña Zoonositaria contra la Brucelosis Bovina. Mimeo, México, 1989.
5. Fernández del C. I., F.: Evaluación económica de la campaña de erradicación de la tuberculosis bovina en el estado de Sonora. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. México, D.F. 1995.
6. Luna-Martínez, J.E.: Programas de Brucelosis: Situación Epidemiológica y Estrategias para la prevención y el Control / Erradicación en Países de las Américas. En Reunión de Consulta de Expertos de la OPS / OMS sobre vacunas y estrategias de Vacunación en los Programas de Control y Erradicación de la Brucelosis. Centro Panamericano de Fiebre Aftosa, OPS, Brasil, 1999.
7. Dirección de Tuberculosis Bovina y Brucelosis. Informe Anual 2000. Resultados Preliminares. CANETB, DGSA, CONASAG, SAGAR, Coyoacán, D.F. 2001.
8. García V., E.A.: La Sanidad Animal como Limitante Comercial. Tesis de Lic. FES Cuautitlán, Cuautitlán, México, 1995.
9. SECOFI: Tratado de Libre Comercio entre México, Canadá y Estados Unidos. Resumen. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México, 1993.
10. Gurriá T., F.J.: Importancia de la Erradicación de la Brucelosis en México. Conferencia Magistral. En Luna-Martínez, J.E. y Suárez G., F. (Eds.) III Foro Nacional de Brucelosis. Memorias. SAGAR, CONASAG, FMVZ, UNAM, OPS. México, 1998.
11. Ragan, V. and Gilsdorf M.J.: Status Report – Fiscal Year 2000 Cooperative State – Federal Brucellosis Eradication Program. In One Hundred and Fourth Annual Meeting of the USAHA. Proceedings. USAHA, Birmingham, Alabama, USA, 2000.

12. Ciprián C., A.: Repercusión Económica de la Brucelosis en México. En: Flores C., R.; Pijoan A., C.; y Suárez G., F.; (Eds.): Memorias del Foro Nacional sobre Brucelosis. INIP, ENEP Cuautitlán, México, 1978.
13. Rfo, J. A. Del.: The National Brucellosis Program of México. In Crawford, R.P. and Hidalgo, R. J.(Eds.): Bovine Brucellosis. An international Symposium. Texas A & M University Press, College Station, 1977.
14. Gual N., L.F.: Programas Oficiales para el control de la brucelosis en México. En II Foro Nacional sobre Brucelosis (memorias). México, D.F., 1988., U.N.A.M., CANIFARMA, SARH, México, (1988).
15. Mejía T., C. y Luna-Martínez, J.E. (Eds.): Manual de actualización técnica para la aprobación del Médico Veterinario como Unidades de Verificación en Tuberculosis Bovina y Brucelosis. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, CANETB, Federación de Colegios y Asociaciones de Médicos Veterinarios Zootecnistas de México, A.C., México, 1996.
16. Marsh, W.: The economics of animal health in farmed livestock at the herd level. Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz. 1999, 18 (2), 357-366.
17. Guerrero L., M. L.: Evaluación Económica del programa de control de brucelosis bovina en un hato lechero del Complejo Agropecuario Industrial de Tizayuca (CAIT) durante 1993. Tesis de Licenciatura. FMVZ, UNAM, México, 1995.
18. Monroy L., J.F.: Análisis Beneficio - Costo de las acciones de control de la brucelosis bovina en el complejo agropecuario industrial de Tizayuca de 1988 a 1993. Tesis de Maestría, FMVZ, UNAM, México, 1999.
19. Valdespino O., J. R.: Análisis del daño económico producido por la brucelosis bovina a un hato lechero con programa de control. Tesis de Maestría. FMVZ, UNAM. México, D.F. 1990.
20. Xolalpa C., V.M., Jaramillo A., C.J. y Alonso P., F.: Evaluación financiera de un programa de control de la brucelosis bovina en la comarca lagunera (1987 a 1990). *Vet. Mex.*, 24: 127-134 (1993).
21. Harrison, S.R.: Cost-Benefit Análisis with Applications to Animal Health Programes: Basics of CBA. Research Papers and Reports in Animal Health Economics. Australian Centre for International Agricultural Research, Australia, 1996.
22. Toma, B.; Dufour, B.; Sanaa, M.; Bénét, J.J.; Ellis, P.; Moutou, F. et Louzà, A.: Épidémiologie Appliquée à la lutte collective contre les maladies animales transmissibles majeures. Association pour l'étude de l'épidémiologie des maladies animales AEEMA, France, 1996.

23. Comisión Nacional de Normalización: Guía Piloto para evaluación costo beneficio de los anteproyectos de Normas Oficiales Mexicanas. *C.N.N.*, México, 1993.
24. Drummond, M. F.; O'Brien, B.; Stoddart, G. L.; and Torrance, G.W.: *Methods for the Economic Evaluation of Health Care Programmes*. 2nd. Ed. Oxford University Press, Great Britain, 1997.
25. Trueta S., R. y Lecumberri L., J.: Metodología para la evaluación económica de Campañas de Salud Animal. En Olmedo G., L. (Ed.) *Memoria Electrónica (CD) de Expoveterinaria 2001*. J.H. Sampson Computer Consulting, México, 2001.
26. Cummins, P.A., Black, J.R., Bartlett, P.C., Anderson, C.R. and Mather, E.C.: Cost-Benefit analysis of dairy herd health: selected economic and statistical concepts complementary to FAHRMX. in *Third International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics*. U.S.A., 1982, 233-240 *Veterinary Medicine Publishing Co.*, Kansas, 1982.
27. Thrusfield, M.: *Veterinary Epidemiology*. 2<sup>nd</sup>. Ed. Blackwell Science Ltd. Cambridge, 1995.
28. Daley, D.J. & Gani, J.: *Epidemic Modelling. An introduction*. Cambridge University Press, United Kingdom, 1999.
29. Putt, S.N.H.; Shaw, A.P.M.; Woods, A.J.; Tyler, L. and James, A.D.: Appendix Two: Modelling in Veterinary Epidemiology and Economics. In: *Veterinary Epidemiology and Economics in Africa. A manual for use in the design and appraisal of livestock health policy*. ILCA Manual No. 3, International Livestock Centre for Africa, Addis Abeba, 1987.
30. Fragoso S., H.: Análisis de riesgo de la brucelosis humana y animal en la región de Tierra Caliente del estado de Guerrero. Desarrollo de un modelo de regresión logística. Tesis de Maestría. FMVZ, UNAM, México, 1996.
31. Mejía E., F.: *Epidemiología de la Brucelosis Bovina en la Región del Norte del Estado de Chiapas*. Tesis de Maestría. Escuela de Salud Pública de México, Instituto Nacional de Salud Pública, México, 1997.
32. Sosa M., J.F.: *Seroprevalencia de Brucelosis y exploración de algunos factores de riesgo en el ganado bovino lechero de Téjaro y Cotzío, Michoacán*. Tesis de Licenciatura. FMVZ, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. 2000.
33. Daniel, W.W.: *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. 4<sup>a</sup>. Ed. México, Limusa Wiley, 2002.
34. Hosmer, D.W. and Lemeshow, S.: *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons, USA, 1989.

35. Hamilton, L.C.: Statistics with Stata® 5. Duxbury Press, USA, 1998.
36. Nicoletti, P.: Control de la Brucelosis en Grandes Hatos Lecheros. En Tercer Encuentro Nacional de Ganaderos Lecheros. ENGALEC 95, Coahuila, México, 1995.
37. García – Carrillo, C. y Lucero, N. E.: Brucelosis Bovina. Enfermedades de los Bovinos. Vol. 2. De Diego, A.; Ed.. Hemisferio Sur, Argentina, 1993.
38. Gasque G., R.: Zootecnia Lechera Concreta. C.E.C.S.A, México, 1986.
39. Fideicomisos Instituidos en relación con la Agricultura en el Banco de México (FIRA): Instructivos Técnicos de Apoyo para la Formulación de Proyectos de Financiamiento y Asistencia Técnica. Serie Ganadería. Ganado Bovino Productor de Leche. FIRA, México, 1989.
40. Comité Técnico sobre Aborto Bovino en la Comarca Lagunera: Boletín Técnico N°1, 1998.
41. Area de Sanidad, Gerencia de Asistencia Técnica: Boletín sobre Brucelosis. Grupo Lala S.A. de C.V., La Laguna, México, 1998.
42. Povey, R. Ch. And Carman, P. S.: Technical basis of vaccination. In Pastoret, P. P.; Blancou, P.; Vannier, P. And Verschuere, L.: Veterinary Vaccinology. Elsevier Science B.V., The Netherlands, 1999.
43. Aguilar V., A.; García H., L.A.; y Luévano G., A. (Eds.): El Impacto Social y Económico de la Ganadería Lechera en la Región Lagunera. 7ª Ed..Grupo Industrial Lala, S.A. de C.V., México, 2000.
44. Luna-Martínez, J.E. y Mejía T., C. E.: Manejo del Hato Infectado. En Luna-Martínez, J.E. y Suárez G., F. (Eds.) III Foro Nacional de Brucelosis. Memorias. SAGAR, CONASAG, FMVZ, UNAM, OPS. México, 1998.
45. Diekmann, O. And Heesterbeek, J,A,P,: Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases. Model Building, Analysis and Interpretation. Wiley, England, 2000.

**CUADRO 1.**  
**Resultado de la Regresión Logística**

Variable	B	SE	OR	IC 95%	P
Tamaño del hato	0.010	0.22	1.01	1.003 - 1.022	0.015
Presencia de abortos	0.631	0.27	1.88	1.25 - 3.02	0.039
Reemplazos	1.004	0.67	2.73	1.74 - 10.05	0.023
Otros Animales	0.378	0.54	1.46	1.33 - 2.21	0.01
Manejo inadecuado del parto	0.932	0.75	2.54	1.59 - 10.85	0.02

TESIS COM  
FALLA DE ORIGEN

## CUADRO 2.

### MODELO REED-FROST: SIMULACION DE UN BROTE DE BRUCELOSIS

$$C_{(t)} = St(1-q^{CI})$$

N° de vacas      500

Donde:

Susceptibles                      S = 350  
 Casos al inicio del Brote      C = 1  
 Probabilidad de Contagio (Riesgo)      p = 0.06

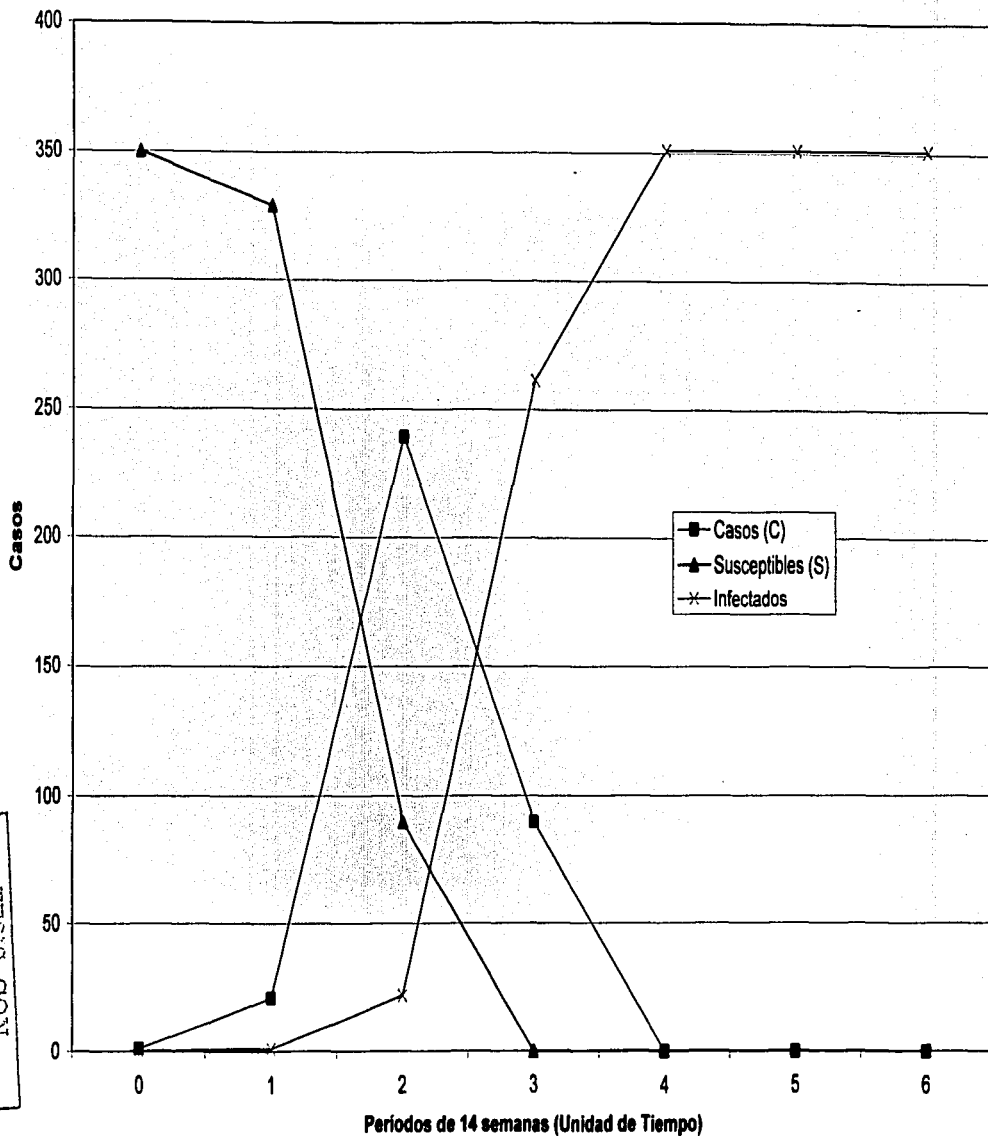
Semanas	Unidad de Tiempo	Casos	Susceptibles	Contagios	Casos	Probabilidad de Contagio	Riesgo	Probabilidad de Contagio	Riesgo
0	0	1	350	0	351	0.06	21.0	0.00	0.00
14	1	21	329	1	351	0.06	19.7	0.04	0.04
28	2	239	90	22	351	0.06	5.4	0.52	0.48
42	3	90	0	261	351	0.06	0.0	0.70	0.18
56	4	0	0	351	351	0.06	0.0	0.70	0.00
70	5	0	0	351	351	0.06	0.0	0.70	0.00
84	6	0	0	351	351	0.06	0.0	0.70	0.00
98	7	0	0	351	351	0.06	0.0	0.70	0.00
112	8	0	0	351	351	0.06	0.0	0.70	0.00
126	9	0	0	351	351	0.06	0.0	0.70	0.00
140	10	0	0	351	351	0.06	0.0	0.70	0.00

Para explicación de la formula ver anexo.

Unidad de tiempo = 14 Semanas

TESIS CON  
 FALTA DE  
 CUBRIR

GRÁFICO1.  
Modelo Reed & Frost: Brucelosis Bovina



MEMORIA DE CALIFICACION  
FALTA DE CALIFICACION

### CUADRO 3.

## Producción Láctea en Litros y Pesos en un establo SIN Programa de Control de Brucelosis

N° de Vacas **600**

Prod. Prom./día **365,050** por vaca  
 Prod. Semanal **365,050**  
 Prod. Por período **365,050**

Período	Vacas	Prod. Prom./día	Prod. Semanal	Prod. Por período	Costo	Valor	Costo	Valor	Costo	Valor	Costo	Valor
0	0	500	0.00	499	1,222,550.00	1	1,960.00	1,224,510.00	\$ 2,755,147.50	\$ 2,755,147.50	\$ 10,233,405.00	0
4	56	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 12,693,874.41	\$ 11,787,169.10	1
8	112	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	2
12	168	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	3
16	224	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	4
20	280	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	5
24	336	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	6
28	392	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	7
32	448	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	8
36	504	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	9
40	560	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	10
44	616	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	11
48	672	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	12
52	728	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	13
56	784	500	0.70	149	365,050.00	351	687,960.00	1,053,010.00	\$ 2,369,272.50	\$ 9,477,090.00	\$ 9,126,086.67	14

TESIS COM  
 FALLA DE CARRÉN



### CUADRO 4.

## Producción Láctea en Litros y Pesos en un establo CON Programa de Control de Brucelosis

N° de Vacas **600**

Prod. Prom./día **25** por vaca  
 Prod. Semanal **175**  
 Prod. Por periodo **2.400**

Periodo	Semanas	Vacas	Producción Promedio	Vacas en Lactación	Producción Esperada (Litros)	Vacas Esperadas	Producción Esperada en Litros	Producción Total	Valor \$	Valor	Valor Actualizado	%
0	0	500	0.00	499	1,222,550.00	1	1,960.00	1,224,510.00	\$ 2,755,147.50	\$ 2,755,147.50	\$ 10,233,405.00	0
4	56	500	0.01	497	1,217,561.01	3	5,951.20	1,223,512.20	\$ 2,752,902.45	\$ 13,769,317.40	\$ 12,785,794.73	1
8	112	500	0.01	496	1,216,048.62	4	7,161.11	1,223,209.72	\$ 2,752,221.88	\$ 11,009,658.04	\$ 10,223,253.89	2
12	168	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,009,332.95	\$ 10,222,952.03	3
16	224	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,223,749.48	4
20	280	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,223,749.48	5
24	336	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,602,406.87	6
28	392	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,602,406.87	7
32	448	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,602,406.87	8
36	504	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,602,406.87	9
40	560	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,602,406.87	10
44	616	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,602,406.87	11
48	672	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,602,406.87	12
52	728	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,602,406.87	13
56	784	500	0.01	497	1,216,773.20	3	6,581.44	1,223,354.64	\$ 2,752,547.94	\$ 11,010,191.75	\$ 10,602,406.87	14

TESTE COM  
 FALLA DE CASCEN

### CUADRO 5.

#### Producción de Leche en litros y pesos. Con y Sin programa de control de Brucelosis Bovina.

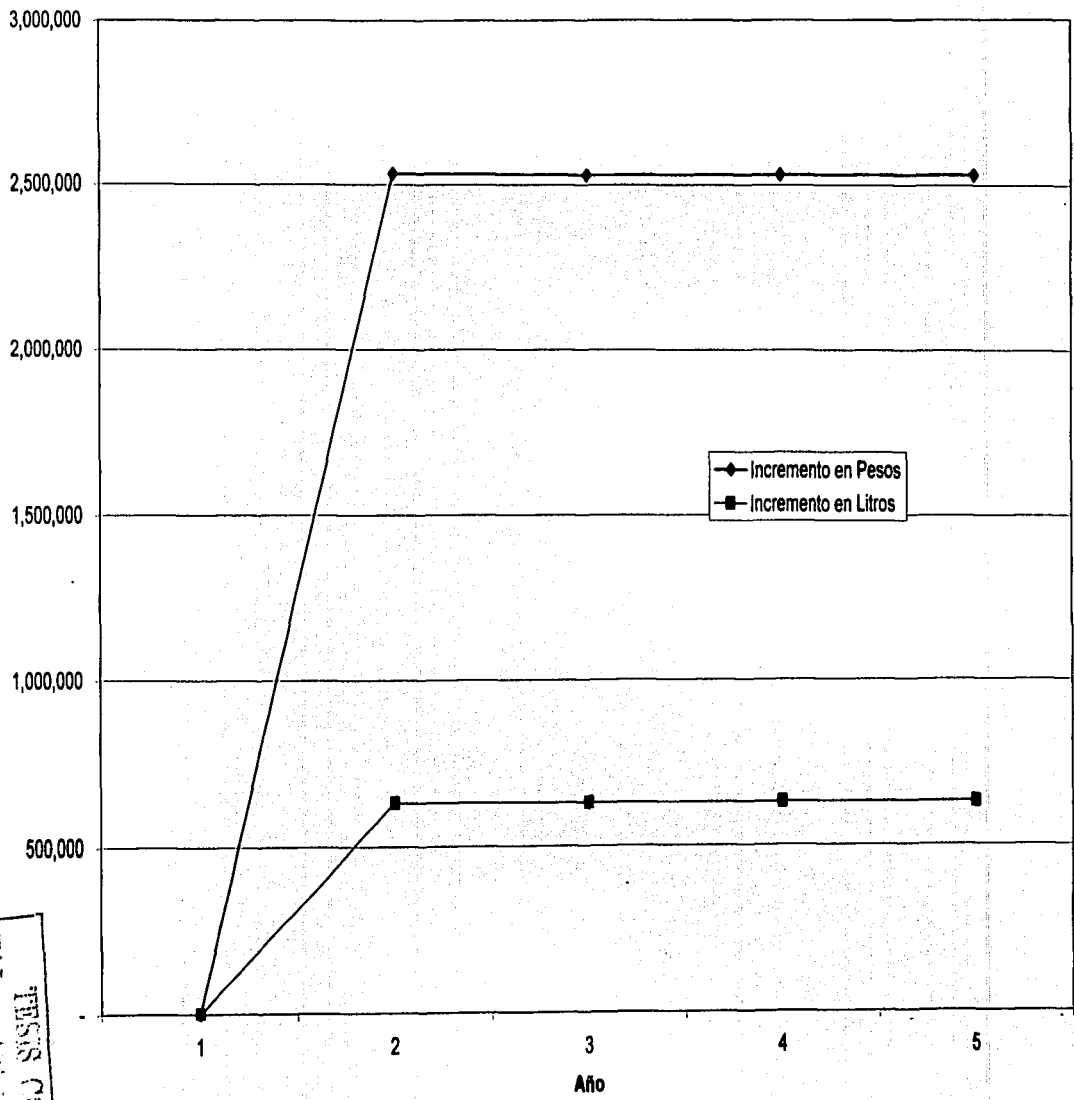
Año	Litros Esperados sin programa	Litros Esperados con programa	Diferencial	Diferencial en pesos
0	4,548,180.00	4,548,180.00	-	\$ -
1	3,911,180.00	4,544,473.89	633,293.89	\$ 1,899,881.67
2	3,911,180.00	4,543,350.40	632,170.40	\$ 1,896,511.20
3	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
4	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
5	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
6	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
7	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
8	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
9	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
10	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
11	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
12	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
13	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
14	3,911,180.00	4,543,888.66	632,708.66	\$ 1,898,125.98
<b>Total</b>	<b>50,000,000.00</b>	<b>50,000,000.00</b>	<b>0.00</b>	<b>\$ 0.00</b>

Considerandos:

Nº de vacas en Producción = 500  
 Promedio de Producción de leche por día/vaca = 25

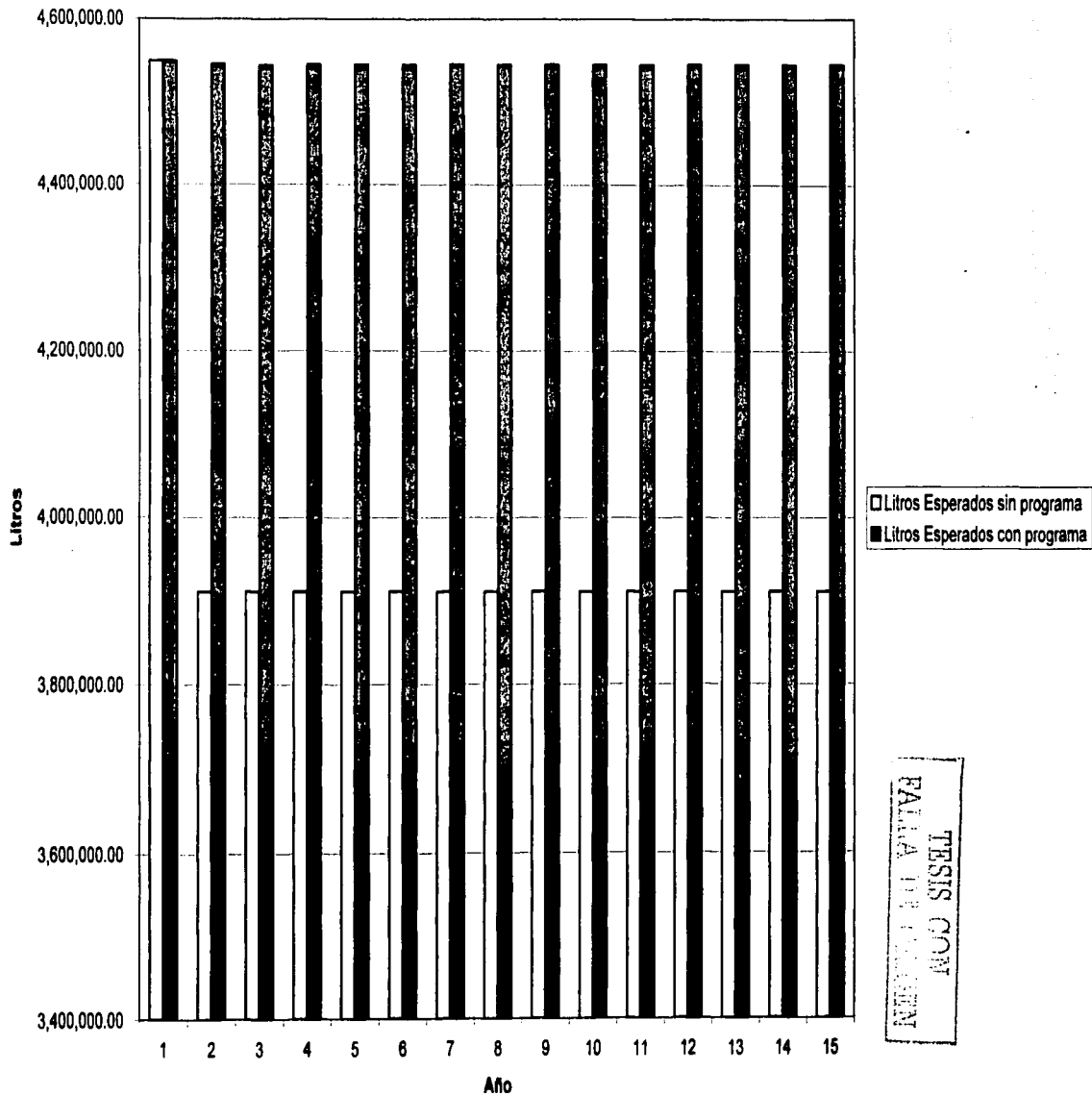
TESIS COM  
 FALLA DE CUIJEN

GRÁFICO 2.  
Incremento en la Producción de Leche (Litros y Pesos)



TESIS Nº  
FALLA DE CALDER

GRÁFICO 2b.  
Producción Diferencial de Leche



TESIS CON  
FALLA DE EJECUCIÓN

### CUADRO 6.

Presencia de Abortos en un establo SIN Programa de Control de Brucelosis

N° de Vacas = 500

Eficiencia = 75

Distribución de la Población según edad	% Poblacional	Número de Animales	N° Gestantes	N° de Abortos	Costo por Abortos
Total Año 0	100.0	500	375	144	\$ 1,436,769.00
Total Año 1	100.0	500	375	108	\$ 1,077,576.75
Total Año 2	100.0	500	375	72	\$ 718,384.50
Total Año 3	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 4	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 5	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 6	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 7	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 8	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 9	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 10	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 11	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 12	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 13	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25
Total Año 14	100.0	500	375	36	\$ 359,192.25

Considerandos:

Porcentaje Normal de Abortos =

3 - 5%

TESTES CON  
 FALLA DE ORDEN

### CUADRO 7.

Presencia de Abortos en un establo CON Programa de Control de Brucelosis

Nº de Vacas = 500

Eficiencia = 75

Distribución de la Población según edad	% Poblacional	Número de Animales	Nº Gestantes	Nº de Abortos	Costo por Abortos
Total Año 0	100.0	500	375	144	\$ 1,436,769.00
Total Año 1	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 2	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 3	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 4	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 5	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 6	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 7	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 8	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 9	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 10	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 11	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 12	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 13	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44
Total Año 14	100.0	500	375	15	\$ 149,663.44

Considerandos:

Porcentaje Normal de Abortos = 3 - 5%

REGISTRO DE  
 FALTA DE CURSOS

**CUADRO 8.**  
**Costos por Abortos Esperados SIN y CON programa**  
**de Control**

	Costos por Abortos Esperados sin programa	Costos por Abortos Esperados con programa	Diferencial en pesos
0	\$ 1,436,769.00	\$ 1,436,769.00	\$ -
1	\$ 1,077,576.75	\$ 149,663.44	\$ 927,913.31
2	\$ 718,384.50	\$ 149,663.44	\$ 568,721.06
3	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
4	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
5	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
6	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
7	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
8	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
9	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
10	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
11	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
12	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
13	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81
14	\$ 359,192.25	\$ 149,663.44	\$ 209,528.81

N° Total de Vacas = 500  
 N° de Gestantes = 375

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**CUADRO 9.**  
**MODELO POBLACIONAL DE ANIMALES SUSCEPTIBLES A BRUCELOSIS**  
**CONSIDERANDO SÓLO VACUNACION DE VACAS ADULTAS**

$N e^{-ax}$

Donde

N = Número de vacas en el establo

e = Base de los logaritmos naturales (neperianos)

a = Constante dependiente del índice de desecho, que se calcula a partir de la misma formula

x = Número de años

Numero de Vacas = 500  
 Desecho = 0.30  
 (y reposición)

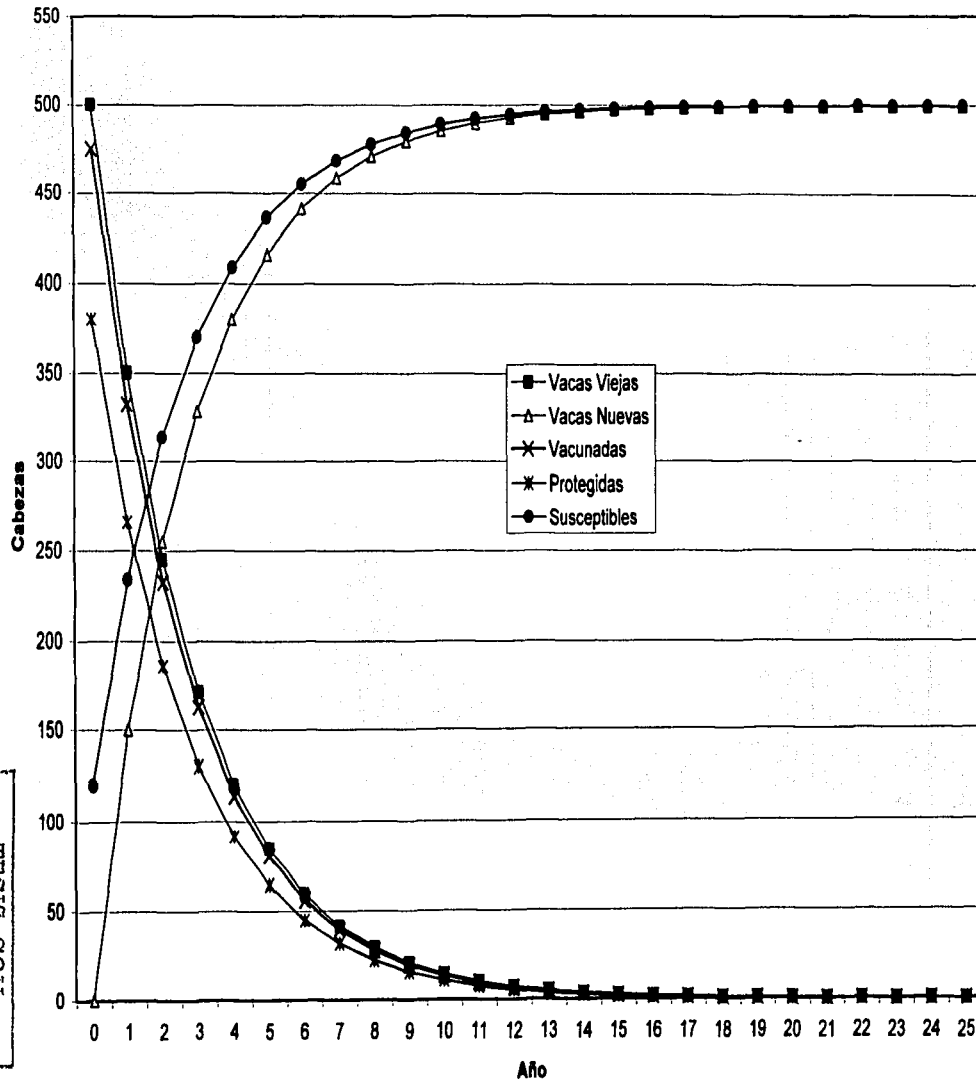
Sustituyendo N = 500  
 e = 2.718281828  
 a = 0.061875

Eficacia Vacunal = 80%  
 Cobertura = 95%

ANO	Vacas Viejas	Vacas Nuevas	Vacunadas	Protegidas	Susceptibles
0	500	0	475	380	120
1	350	150	333	266	234
2	245	255	233	186	314
3	172	329	163	130	370
4	120	380	114	91	409
5	84	416	80	64	436
6	59	441	56	45	455
7	41	459	39	31	469
8	29	471	27	22	478
9	20	480	19	15	485
10	14	486	13	11	489
11	10	490	9	8	492
12	7	493	7	5	495
13	5	495	5	4	496
14	3	497	3	3	497
15	2	498	2	2	498
16	2	498	2	1	499
17	1	499	1	1	499
18	1	499	1	1	499
19	1	499	1	0	500
20	0	500	0	0	500
21	0	500	0	0	500
22	0	500	0	0	500
23	0	500	0	0	500
24	0	500	0	0	500
25	0	500	0	0	500
26	0	500	0	0	500
27	0	500	0	0	500
28	0	500	0	0	500
29	0	500	0	0	500
30	0	500	0	0	500
31	0	500	0	0	500
32	0	500	0	0	500
33	0	500	0	0	500
34	0	500	0	0	500
35	0	500	0	0	500



**GRÁFICO 3.**  
**Modelo de Vacunación sólo de Vacas**



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**CUADRO 10.**

**MODELO POBLACIONAL DE ANIMALES SUSCEPTIBLES A BRUCELOSIS  
CONSIDERANDO SÓLO VACUNACION DE BECERRAS DE REPOSICIÓN**

$Ne^{-ax}$

Donde

**N** = Número de vacas en el establo

**e** = Base de los logaritmos naturales (neperianos)

**a** = Constante dependiente del índice de desecho, que se calcula a partir de la misma formula

**x** = Número de años

Numero de Vacas = 500  
Desecho = 0.30  
(y reposición)

Sustituyendo  
**N** = 500  
**e** = 2.718281828  
**a** = 0.061875

Eficacia Vacunal = 80%  
Cobertura = 95%

ANO	Vacas Viejas	Vacas Nuevas	Vacunadas	Protegidas	Susceptibles
0	500	0	0	0	500
1	350	150	143	114	386
2	245	255	242	194	306
3	172	329	312	250	250
4	120	380	361	289	211
5	84	416	395	316	184
6	59	441	419	335	165
7	41	459	436	349	151
8	29	471	448	358	142
9	20	480	456	365	135
10	14	486	462	369	131
11	10	490	466	372	128
12	7	493	468	375	125
13	5	495	470	376	124
14	3	497	472	377	123
15	2	498	473	378	122
16	2	498	473	379	121
17	1	499	474	379	121
18	1	499	474	379	121
19	1	499	474	380	120
20	0	500	475	380	120
21	0	500	475	380	120
22	0	500	475	380	120
23	0	500	475	380	120
24	0	500	475	380	120
25	0	500	475	380	120

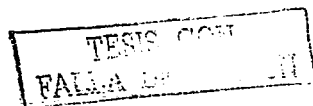
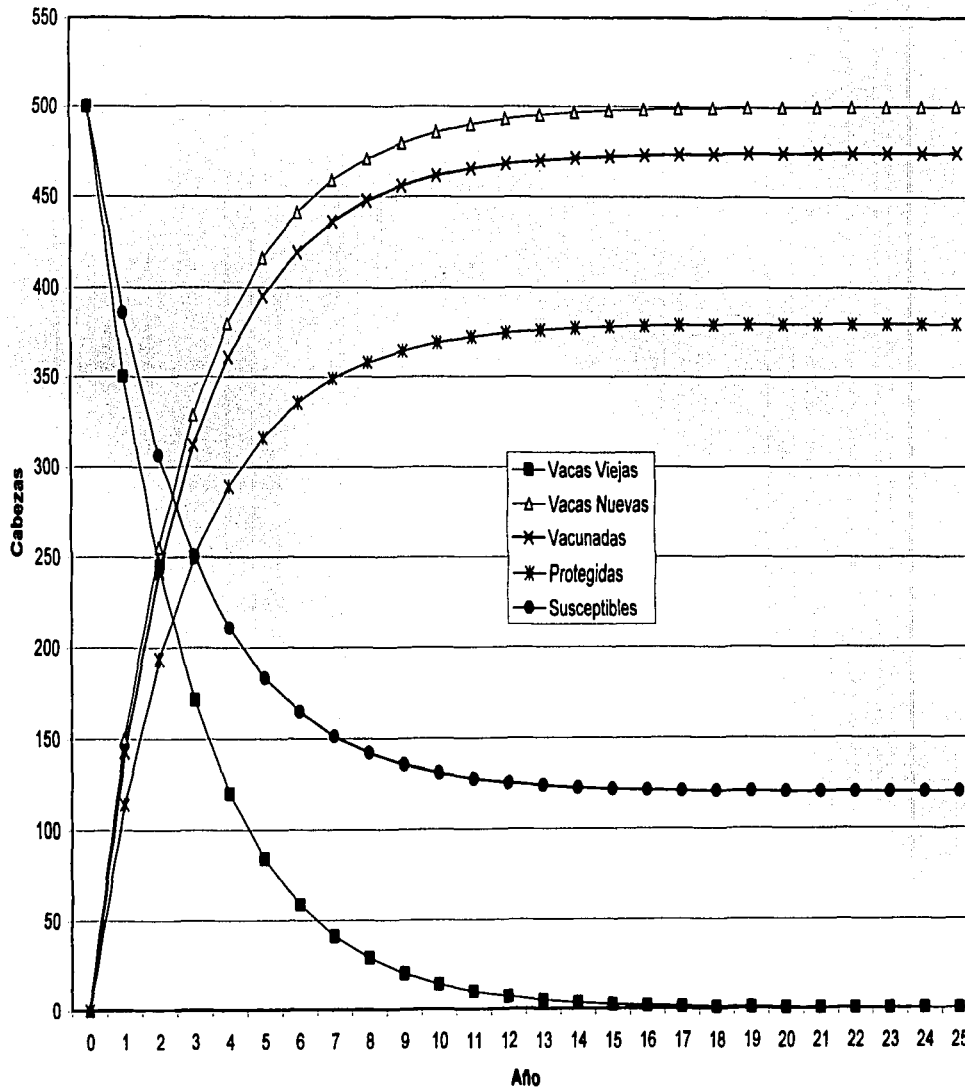


GRÁFICO 4  
Modelo de Vacunación sólo de Becerras



TESIS  
 RALFA DE  
 1990

**CUADRO 11.**  
**MODELO POBLACIONAL DE ANIMALES SUSCEPTIBLES A BRUCELOSIS**  
**CONSIDERANDO VACUNACION DE BECERRAS Y VACAS**

$N e^{-ax}$

Donde

**N** = Número de vacas en el establo

**e** = Base de los logaritmos naturales (neperianos)

**a** = Constante dependiente del índice de desecho, que se calcula a partir de la misma fórmula

**x** = Número de años

Numero de Vacas = 500  
 Desecho = 0.30  
 (y reposición)

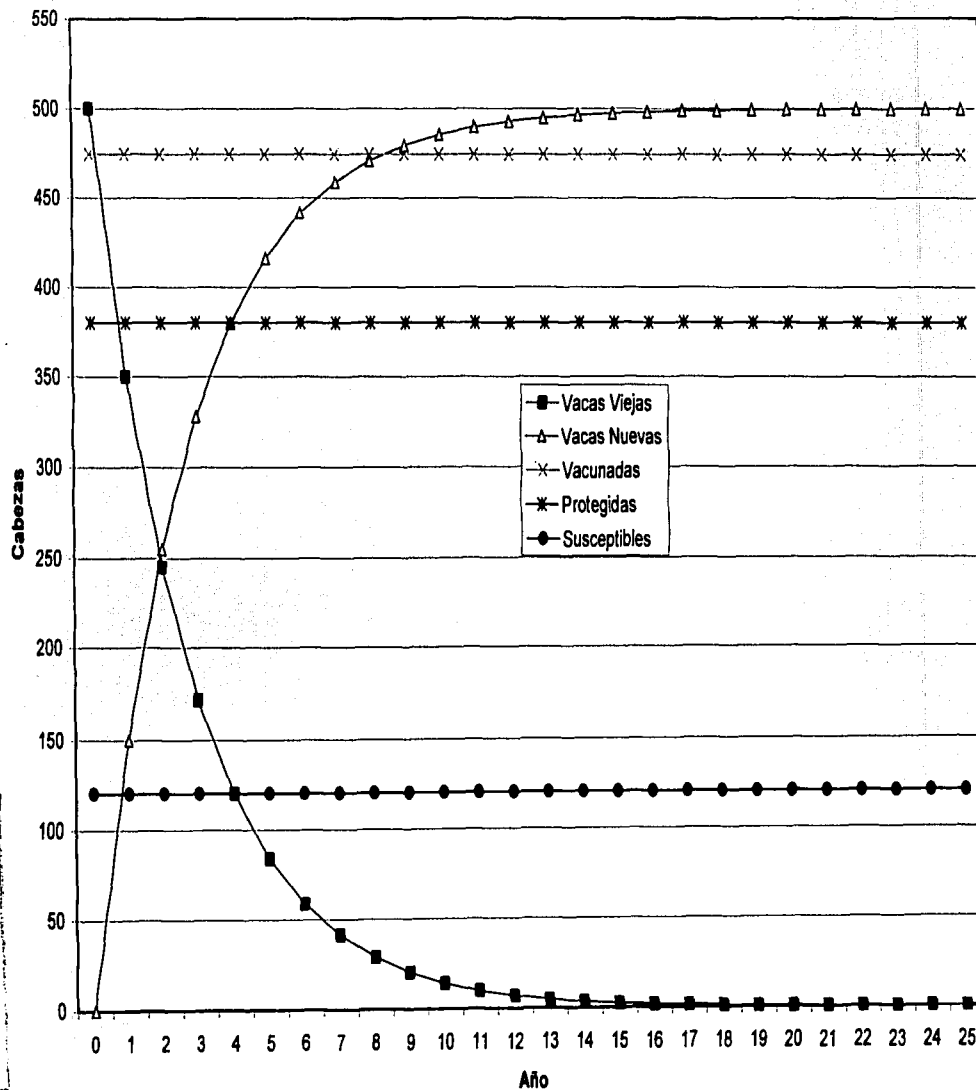
Sustituyendo **N** = 500  
**e** = 2.718281828  
**a** = 0.061875

Eficacia Vacunal = 80%  
 Cobertura = 95%

ANO	Vacas Viejas	Vacas Nuevas	Vacunadas	Protegidas	Susceptibles
0	500	0	475	380	120
1	350	150	475	380	120
2	245	255	475	380	120
3	172	329	475	380	120
4	120	380	475	380	120
5	84	416	475	380	120
6	59	441	475	380	120
7	41	459	475	380	120
8	29	471	475	380	120
9	20	480	475	380	120
10	14	486	475	380	120
11	10	490	475	380	120
12	7	493	475	380	120
13	5	495	475	380	120
14	3	497	475	380	120
15	2	498	475	380	120
16	2	498	475	380	120
17	1	499	475	380	120
18	1	499	475	380	120
19	1	499	475	380	120
20	0	500	475	380	120
21	0	500	475	380	120
22	0	500	475	380	120
23	0	500	475	380	120
24	0	500	475	380	120
25	0	500	475	380	120

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

GRÁFICO 5  
Modelo de Vacunación del Hato Completo



FALLA DE CUENEN

### CUADRO 12.

Cosecha de Becerros en un estable SIN Programa de Control de Brucelosis

N° de Vacas = 500

Eficiencia = 75

Distribución de la Población según edad	% Poblacional	Número de Animales	N° de Costantes	N° de Becerros Destetados	Costo Becerros
Total Año 0	100	500	375	208	\$ 34,650.00
Total Año 1	100	500	375	240	\$ 40,050.00
Total Año 2	100	500	375	273	\$ 45,450.00
Total Año 3	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 4	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 5	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 6	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 7	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 8	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 9	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 10	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 11	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 12	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 13	100	500	375	305	\$ 50,850.00
Total Año 14	100	500	375	305	\$ 50,850.00

Considerandos:

Porcentaje de Mortalidad =

10%

INSTITUTO VETERINARIO  
 NACIONAL DE CHILE

**CUADRO 13.**  
Cosecha de Becerros en un establo CON Programa de Control de Brucelosis

N° de Vacas = 500

Eficiencia = 75

Distribución de la Población según edad	% Poblacional	Número de Animales	N° Gestantes	N° de Abortos	N° de Becerros Destetados	Costo Becerros
Total Año 0	100.0	500	375	144	208	\$ 34,650.00
Total Año 1	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 2	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 3	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 4	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 5	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 6	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 7	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 8	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 9	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 10	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 11	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 12	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 13	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00
Total Año 14	100.0	500	375	15	324	\$ 54,000.00

Considerandos:

Porcentaje de Mortalidad = 10%

REGIS CON FALLA DE DATOS

## CUADRO 14.

### Becerras Esperadas SIN programa y CON programa de Control

Año	Becerras Destetadas sin programa	Valor de Becerras Destetadas sin programa	Becerras Destetadas con programa	Valor de Becerras Destetadas con programa	Diferencia en Becerras	Diferencia en pesos
0	208	\$ 34,650.00	208	\$ 34,650.00	-	\$ -
1	240	\$ 40,050.00	324	\$ 54,000.00	84	\$ 13,950.00
2	273	\$ 45,450.00	324	\$ 54,000.00	51	\$ 8,550.00
3	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
4	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
5	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
6	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
7	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
8	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
9	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
10	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
11	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
12	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
13	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00
14	305	\$ 50,850.00	324	\$ 54,000.00	19	\$ 3,150.00

**N° Total de Vacas = 500**  
**N° de Gestantes = 375**

FALLA DE ORIGEN  
 TERCER CON



**CUADRO 15.**  
**Costo por concepto de Vacunación**

Año	Animales Vacunados	Costo de la Vacunación	Costo Total
0	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
1	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
2	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
3	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
4	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
5	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
6	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
7	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
8	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
9	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
10	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
11	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
12	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
13	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
14	475	\$ 20.00	\$ 9,500.00
<b>Total</b>	<b>7,125</b>		<b>142,500.00</b>

\* Considerando 80 % de cobertura vacunal.

**CUADRO 16.**  
**Costo por concepto de Diagnóstico**

Año	Animales Diagnosticados*	Costo del Diagnóstico	Costo Total
0	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
1	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
2	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
3	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
4	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
5	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
6	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
7	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
8	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
9	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
10	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
11	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
12	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
13	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
14	500	\$ 15.00	\$ 7,500.00
<b>Total</b>	<b>7,500</b>		<b>112,500.00</b>

TESIS CON  
FALLAS DE ALIEN

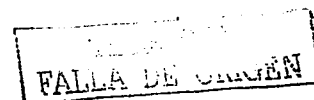
**CUADRO 17.**  
**Costo por concepto de Desecho por Brucelosis en**  
**un hato SIN programa**

Año	Animales Desechados	Costo del Desecho	Costo Total
0	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
1	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
2	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
3	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
4	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
5	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
6	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
7	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
8	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
9	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
10	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
11	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
12	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
13	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
14	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
<b>Total</b>	<b>630</b>		<b>\$ 9,455,961.90</b>

\* Considerando como costo de la enfermedad la eliminación de animales enfermos (8.4 % por arriba de la tasa de desecho normal)

**CUADRO 18.**  
**Costo por concepto de Desecho por Brucelosis en**  
**un hato CON programa**

Año	Animales Desechados	Costo del Desecho	Costo Total
0	42	\$ 15,009.46	\$ 630,397.46
1	30	\$ 15,009.46	\$ 451,034.37
2	18	\$ 15,009.46	\$ 271,671.29
3	6	\$ 15,009.46	\$ 92,308.20
4	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
5	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
6	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
7	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
8	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
9	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
10	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
11	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
12	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
13	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
14	1	\$ 15,009.46	\$ 7,504.73
<b>Total</b>	<b>102</b>		<b>\$ 1,527,963.37</b>



**CUADRO 19.**

**Desechos Esperados SIN programa y CON programa de Control**

<b>Año</b>	<b>Animales Desechados SIN Programa</b>	<b>Animales Desechados CON Programa</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Costo (COP)</b>
0	42	42	-	\$ -
1	42	30	12	\$ 179,363.09
2	42	18	24	\$ 358,726.17
3	42	6	36	\$ 538,089.26
4	42	1	42	\$ 622,892.73
5	42	1	42	\$ 622,892.73
6	42	1	42	\$ 622,892.73
7	42	1	42	\$ 622,892.73
8	42	1	42	\$ 622,892.73
9	42	1	42	\$ 622,892.73
10	42	1	42	\$ 622,892.73
11	42	1	42	\$ 622,892.73
12	42	1	42	\$ 622,892.73
13	42	1	42	\$ 622,892.73
14	42	1	42	\$ 622,892.73
<b>Total</b>	<b>630</b>	<b>102</b>	<b>528</b>	<b>\$ 7,927,998.53</b>

TESTES CON  
FALLA DE ORIGEN

**CUADRO 20.**  
**Incremento en la Producción de Leche, Disminución de Abortos e**  
**incremento en la cosecha de becerros (Beneficios)**

Año	Aumento en la Producción Lechera	Ganancia por la Disminución de Abortos	Aumento en la Producción de Becerros	Diferencial de Desecho	Ganancias Totales
0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1	\$ 1,899,881.67	\$ 927,913.31	\$ 13,950.00	\$ 179,363.09	\$ 3,021,108.07
2	\$ 1,896,511.20	\$ 568,721.06	\$ 8,550.00	\$ 358,726.17	\$ 2,832,508.44
3	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 538,089.26	\$ 2,648,894.05
4	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
5	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
6	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
7	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
8	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
9	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
10	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
11	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
12	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
13	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
14	\$ 1,898,125.98	\$ 209,528.81	\$ 3,150.00	\$ 622,892.73	\$ 2,733,697.52
<b>Total</b>					

FALTA DE CUBIEN  
 PARA CON

## CUADRO 21.

### Costos CON programa por concepto de Diagnóstico, Vacunación, Reemplazo y Desecho de Reactores

Año	Vacunación	Diagnóstico	Reemplazos	Manejo*	Total
0	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 630,397.46	\$ 36,000.00	\$ 683,397.46
1	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 451,034.37	\$ 36,000.00	\$ 504,034.37
2	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 271,671.29	\$ 36,000.00	\$ 324,671.29
3	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 92,308.20	\$ 36,000.00	\$ 145,308.20
4	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
5	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
6	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
7	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
8	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
9	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
10	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
11	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
12	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
13	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73
14	\$ 9,500.00	\$ 7,500.00	\$ 7,504.73	\$ 36,000.00	\$ 60,504.73

\* Considera el pago mensual de \$3,000.00 por concepto exclusivo de manejo de partos.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## CUADRO 22.

### Evaluación Financiera: Relación Beneficio - Costo (RBC) y Valor Actual Neto (VAN)

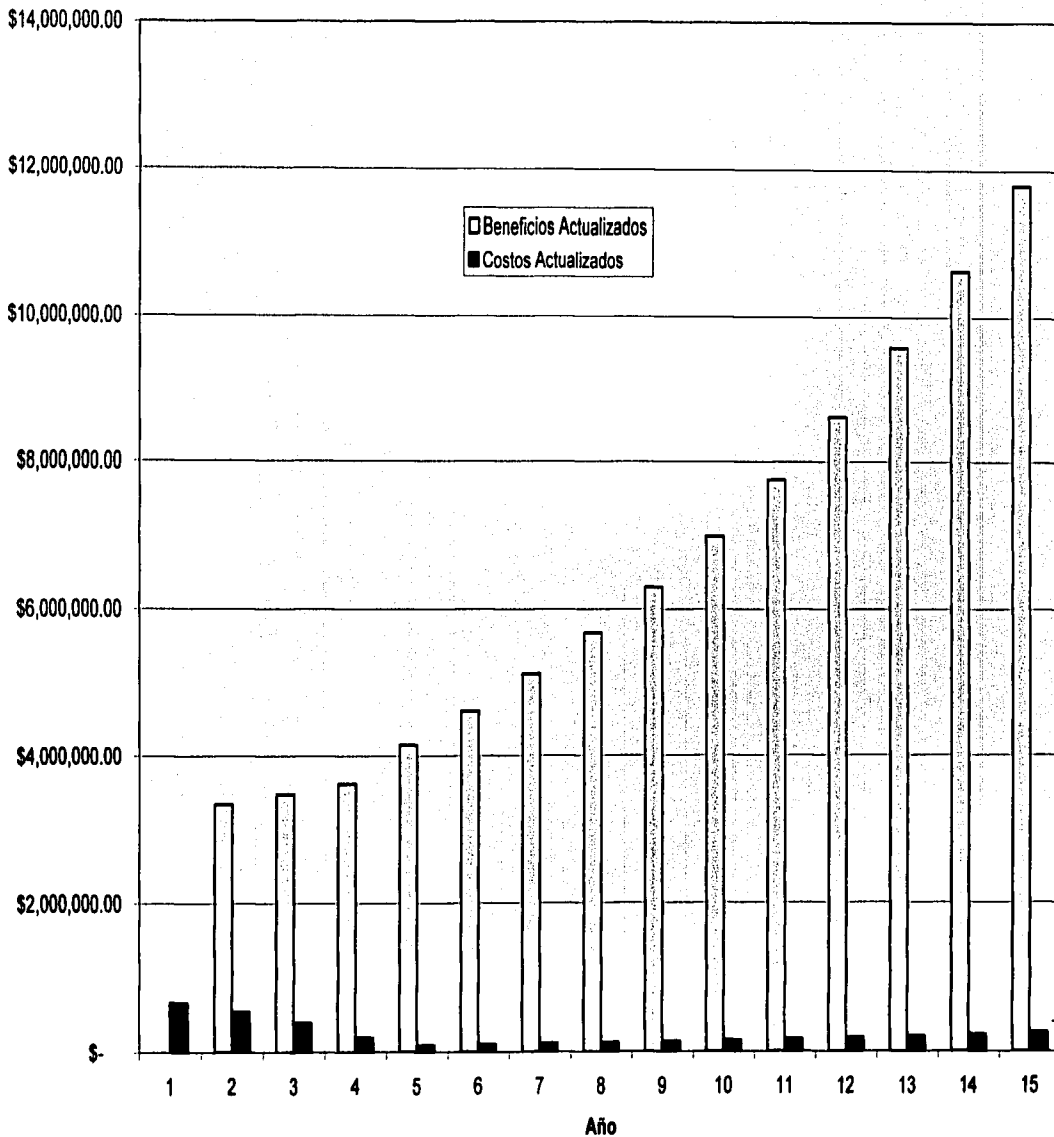
Año	Beneficios	Beneficios Actualizados	Costos	Costos Actualizados	Relación Beneficio / Costo (RBC)	Valor Actual Neto (VAN)
0	\$ -	\$ -	\$ 683,397.46	\$ 683,397.46	0.00	-\$ 683,397.46
1	\$ 3,021,108.07	\$ 3,353,429.95	\$ 504,034.37	\$ 559,478.15	5.99	\$ 2,793,951.80
2	\$ 2,832,508.44	\$ 3,489,933.64	\$ 324,671.29	\$ 400,027.49	8.72	\$ 3,089,906.15
3	\$ 2,648,894.05	\$ 3,622,709.62	\$ 145,308.20	\$ 198,728.00	18.23	\$ 3,423,981.62
4	\$ 2,733,697.52	\$ 4,149,945.31	\$ 60,504.73	\$ 91,850.44	45.18	\$ 4,058,094.87
5	\$ 2,733,697.52	\$ 4,606,439.30	\$ 60,504.73	\$ 101,953.99	45.18	\$ 4,504,485.31
6	\$ 2,733,697.52	\$ 5,113,147.62	\$ 60,504.73	\$ 113,168.93	45.18	\$ 4,999,978.69
7	\$ 2,733,697.52	\$ 5,675,593.86	\$ 60,504.73	\$ 125,617.51	45.18	\$ 5,549,976.35
8	\$ 2,733,697.52	\$ 6,299,909.18	\$ 60,504.73	\$ 139,435.44	45.18	\$ 6,160,473.74
9	\$ 2,733,697.52	\$ 6,992,899.19	\$ 60,504.73	\$ 154,773.34	45.18	\$ 6,838,125.86
10	\$ 2,733,697.52	\$ 7,762,118.10	\$ 60,504.73	\$ 171,798.40	45.18	\$ 7,590,319.70
11	\$ 2,733,697.52	\$ 8,615,951.10	\$ 60,504.73	\$ 190,696.23	45.18	\$ 8,425,254.87
12	\$ 2,733,697.52	\$ 9,563,705.72	\$ 60,504.73	\$ 211,672.81	45.18	\$ 9,352,032.90
13	\$ 2,733,697.52	\$ 10,615,713.34	\$ 60,504.73	\$ 234,956.82	45.18	\$ 10,380,756.52
14	\$ 2,733,697.52	\$ 11,783,441.81	\$ 60,504.73	\$ 260,802.07	45.18	\$ 11,522,639.74
<b>Total</b>						

Tasa=

0.11

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

GRÁFICO 6.  
Variables Económicas



TESIS CON  
FALLA DE CALIEN

### CUADRO 23.

#### Evaluación Financiera: Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

Año	Costos	Beneficios	Utilidad	TIR
0	\$ 683,397.46	\$ -	-\$ 683,397.46	268%
1	\$ 504,034.37	\$ 3,021,108.07	\$ 2,517,073.69	
2	\$ 324,671.29	\$ 2,832,508.44	\$ 2,507,837.15	
3	\$ 145,308.20	\$ 2,648,894.05	\$ 2,503,585.85	
4	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	367.4%
5	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	
6	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	
7	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	
8	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	
9	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	368.2%
10	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	
11	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	
12	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	
13	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	
14	\$ 60,504.73	\$ 2,733,697.52	\$ 2,673,192.79	368.2%

TESIS CONT  
 FALTA DE CARGEN



## Anexo 1.

### MODELO REED-FROST: SIMULACIÓN DE UN BROTE DE BRUCELOSIS

El modelo de Reed-Frost se presenta en su forma más simple. Expresa la manera como operan los factores condicionantes de una epidemia. El inicio, curso y término de un brote dependen de la proporción de susceptibles, del número de casos y de la probabilidad de contacto adecuado en una comunidad. En este trabajo no se incluyó el que los animales que se recuperan de la infección quedan inmunes, sino infecciosos:

La fórmula matemática del modelo es la siguiente:

$$C_{t+1} = St(1-q^{C_t})$$

donde:

- **C:** número de casos
- **S:** número de animales susceptibles
- **q = 1-p:** Valor recíproco de p, es decir, la probabilidad de escapar indemne a la infección
- **p:** probabilidad de que un contacto sea suficiente para transmitir la enfermedad, es aquella forma de exposición entre un caso y un susceptible capaz de ocasionar su transformación en un nuevo caso. Esto no significa, necesariamente, un contacto "cara a cara", sino que depende de la forma de transmisión de la enfermedad. En el caso de brucelosis se ha establecido un valor teórico de 0.06 (36)
- **t:** contador del tiempo: la longitud del periodo de tiempo se establece igual al periodo de prepatencia de la enfermedad. El momento en que se produce el primer caso en la población es t=0. En el caso de brucelosis bovina el periodo de prepatencia es de 14 semanas (37)

Si el producto de P x S es mayor que 1 entonces la epidemia se producirá, mientras que si el producto P x S es menor que 1, la epidemia se extinguirá o no se producirá del todo.

## Anexo 2.

### PARADIGMA DETERMINÍSTICO DE DESCENSO EXPONENCIAL

Uno de los métodos más sencillo y antiguos de modelar con cálculo diferencial. La tasa instantánea a la cual los sujetos susceptibles en una población se convierten en infectados, marcada por  $dx/dt$  (donde  $dx$  es el cambio en la población en un período  $dt$ ):

$$dx/dt = -\alpha x.$$

En el modelo  $\alpha$  es un número positivo que permanece constante y por tanto es el parámetro del modelo. Si se conoce una condición determinada como el número de susceptibles en una población en el momento 0, entonces la ecuación es:

$$X_t = N e^{-\alpha t}$$

Donde:

$X_t$  = No. De susceptibles al tiempo 0

$N$  = No. De susceptibles al tiempo 1

$e$  = Logaritmo neperiano base (2.718)

$e^\alpha = (N^\circ \text{ de Vacas} / (N^\circ \text{ de vacas} - \text{Desecho}))$

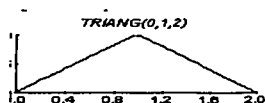
$\alpha = LN e$

### Anexo 3.

#### **FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA TRIANGULAR.**

Esta función especifica una distribución triangular con tres puntos o valores posibles: uno mínimo, uno más probable y uno máximo. La dirección de la " inclinación" de la distribución triangular es determinada por el tamaño del valor mas probable en relación con el valor mínimo y el máximo. La probabilidad de ocurrencia de los valores mínimo y máximo es cero.

Ejemplo: Triang(0,1,2) especifica una distribución triangular con un valor mínimo de 0, uno más probable de 1 y un valor máximo de 2.



Parámetros:

$$a < b < c; a < c$$

El valor mínimo debe ser menor o igual que el valor probable.

El valor más probable debe ser menor o igual al valor máximo.

El valor mínimo debe ser menor que el valor máximo.

Las aplicaciones para la función triangular incluyen el modelo crudo en ausencia de datos.

Densidad:

$$f(x) = 2(x-a)/[(b-a)(c-a)] \quad \text{si } a < x < b$$

$$f(x) = 2(c-x)/[(c-a)(c-b)] \quad \text{si } b < x < c$$

Distribución:

$$F(x) = 0 \quad \text{si } x < a$$

$$F(x) = (x-a)^2/[(b-a)(c-a)] \quad \text{si } a < x < b$$

$$F(x) = 1 - (c-x)^2/[(c-a)(c-b)] \quad \text{si } b < x < c$$

$$F(x) = 1 \quad \text{si } c < x$$

Dominio:  $a < x < b$

Media:  $(a+b+c)/3$

Moda:  $b$

Varianza:  $(a^2+b^2+c^2-ab-ac-bc)/18$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### **Anexo 4.**

### **PROGRAMA DE CONTROL DE BRUCELOSIS PROPUESTO PARA SER USADO EN EL MODELO.**

#### **Objetivo del programa:**

Controlar y Erradicar la brucelosis en una Unidad de Producción Pecuaria destinada a la Cría y Reproducción de Ganado Bovino Lechero Bajo condiciones de Estabulación.

#### **Objetivos intermedios.**

Disminuir la frecuencia de abortos de origen brucelar

Mejorar la Productividad del hato por concepto de leche producida

#### **Actividades de Control Propuestas.**

##### Diagnóstico Serológico

- Conforme a lo establecido en la Normatividad Vigente.

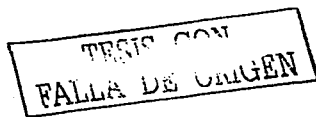
##### Vacunación de hembras Bovinas

- Uso de la cepa RB51 de *Brucella abortus*. Tanto a becerras de 3 a 11 meses, como a hembras mayores de 11 meses.

##### Manejo de hato infectado que incluye

- Aislamiento en parideros individuales
- Recolección de placentas, limpieza y desinfección de parideros
- Alimentación de crías sólo con calostro de madres negativas

Incremento en la tasa de desecho mediante la eliminación de animales reactivos a las pruebas.



## **Anexo 5.**

### **EVALUACIÓN FINANCIERA (SEGÚN TRUETA Y LECUMBERRI (25))**

#### **Identificación de los beneficios del Programa.**

De conformidad con lo reportado por varios autores que coinciden en que los beneficios financieros se circunscriben a:

- Incremento en la Producción Láctea
- Disminución en la frecuencia de abortos
- Incremento en el número de Becerros destetados

#### **Cuantificación de Beneficios**

Considerando la aplicación hipotética del programa, las variables analizadas en las que se considera que son medibles los beneficios del programa fueron:

- Número de vacas
- Número de vacas en producción
- Vacas Infechadas
- Producción de leche
- Tasa de abortos
- Becerros Cosechados
- Precios (Litro de Leche, Costo de un aborto, crías destetadas)

TESIS CO  
FALLA DE ORIGEN

#### **Unidades de Medición de las Variables.**

<b>Variables</b>	<b>Unidad de Medición.</b>
Número de vacas	Número total de hembras en el hato.
Número de vacas en producción	Número de hembras en ordeña.
Vacas Infechadas	Número de hembras rectoras a las

	pruebas diagnósticas.
<b>Producción de leche</b>	Total de litros de leche producidos tanto por las hembras infectadas como por las no infectadas.
<b>Tasa de abortos</b>	Número de eventos abortivos atribuibles a brucelosis
<b>Becerras Cosechados</b>	Total de becerros que sobreviven al parto y son destetados. (Incluye sólo destete real de la madre)
<b>Precios (Litro de Leche, Costo de un aborto, crías destetadas)</b>	Pesos por litro Costo total de un Aborto Peso por becerro

### **Criterios de Valuación**

- Número de vacas. Se refiere al número total de hembras en la explotación a analizar.
- Número de vacas en producción. Se considera a las hembras que están en ordeña, de acuerdo a los parámetros propuestos por Gasque (38) y por el FIRA (39).
- Vacas Infectadas. Se consideran infectadas a todas las vacas que de acuerdo a las pruebas diagnósticas resultan positivas. Se utiliza el valor arrojado por el modelo mismo.
- Producción de leche. Se utiliza el promedio de producción de leche captado en la encuesta.
- Tasa de abortos. Se consideran sólo abortos presentes por Brucelosis. Otorgando un valor probabilístico con distribución probabilística triangular y de acuerdo al momento de infección. Es decir. La tasa de abortos es intensa al principio de la infección llegando a 60 % de abortos y decrece en años posteriores (36,37,44).
- Becerras Cosechados. Total de becerros que sobreviven al parto y son destetados a los 15 días. (Incluye sólo destete real de la madre y no crianza con sustitutos)

- Precio por Litro de Leche: Se utiliza el valor mínimo pagado por una de las empresas pasteurizadoras con mayor influencia en la región (\$ 3.00 por litro), sin considerar sobrepuestos por estímulo ni descuentos por castigos propios de la empresa.
- Costo de un aborto. Se utiliza un precio calculado previamente, ajustado en términos de fluctuaciones de precio.
- Precio de la crías destetadas: Precio promedio ajustado de los becerros calostrados pagado por lo comercializadores de becerros.

#### **Identificación de los Costos del Programa.**

- Costo del Diagnóstico
- Costo de la Vacunación
- Costo por desecho prematuro

#### **Cuantificación de los costos**

- Diagnósticos
- Precio del Diagnóstico
- N° de hembras vacunadas
- Costo de la Vacunación
- N° de Vacas desechadas
- Reemplazos

#### **Unidades de Medición de las Variables.**

<b>Variables</b>	<b>Unidad de Medición.</b>
Diagnósticos	Número de hembras diagnosticadas.
Precio del Diagnóstico	Costo en pesos del diagnóstico.
N° de Vacas Vacunadas	N° de hembras vacunadas.
Precio de la Vacunación	Costo en pesos de la vacunación

Nº de Vacas Desechadas  
Reemplazos

Hembras desechadas  
Pesos por reemplazo

### **Criterios de Valuación.**

- **Diagnósticos.** Se calculó en términos de muestreo total del hato considerado.
- **Precio del Diagnóstico.** Se tomó como valor el precio pagado por los productores encuestados.
- **Nº de Vacas Vacunadas.** Nº de hembras jóvenes y adultas a las que se les aplica la vacuna RB51 en cualquiera de sus presentaciones considerando un 95 % mínimo de cobertura vacunal.
- **Precio de la Vacunación.** Se utilizó el costo promedio cuantificado por las empresas pasteurizadoras de influenza en la zona de la vacunación, que comprende consto del biológico, materiales y de la actividad en si misma.
- **Nº de Vacas desechadas.** Se tomó el valor de desecho en hatos afectados por brucelosis considerando un incremento promedio hasta del 8 % superior a las cifras de desecho propias del hato. Así como su valor comercial al rastro.
- **Reemplazos.** Se considera reemplazos a todos los animales que sustituyen a los animales desechados. Su valuación se consideró tomando el precio de lo que cuesta una vaquilla nacional y una importada (43).



**FÓRMULAS MATEMÁTICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS FINANCIERO  
 RAZÓN BENEFICIO – COSTO.**

Razón Beneficio Costo (RBC).	Valor Actual Neto (VAN).
$\text{RBC} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{\text{Bt}}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{\text{Ct}}{(1+i)^t}}$	$\text{VAN} = \sum_{t=0}^n \text{Bt} - \text{Ct}(1+i)^{-t}$

**Donde:**

**n = Período de la evaluación (Años)**

**t = Tiempo de inicio de la evaluación**

**Bt = Beneficios al tiempo t-ésimo (Año)**

**Ct = Costos al tiempo t-ésimo (Año)**

**(1+i)<sup>t</sup> = Tasa de Actualización**

TESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN