

UNIVERSIDAD DE CHILE



**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE POSGRADO Y POSTITULO**

ESCENARIO EPIDEMIOLÓGICO Y ECONÓMICO DE LA REINTRODUCCIÓN DEL VIRUS DE LA FIEBRE AFTOSA EN CHILE

MARIO IGNACIO ALGÜERNO INOSTROZA

**Tesis para optar al Grado de Magíster
en Ciencias Animales y Veterinarias
y Memoria de Título para optar al
Título de Médico Veterinario.**

Director de Tesis: Santiago Urcelay Vicente, M.V., L.S.P., M.P.V.M.

Santiago - Chile

2009

BIOGRAFÍA



Nacido en Chile, en la ciudad de Buin, el día 7 de mayo del año 1981.

Inicia sus estudios primarios en las escuelas Lake Elsinore Elementary School y Garretson Elementary School, en California, EE.UU., para luego continuarlos en el Liceo A N° 131 de Buin.

Sus estudios secundarios fueron realizados en el Instituto Nacional “José Miguel Carrera”.

En el año 1999 ingresa a la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile para estudiar la carrera de Medicina Veterinaria.

Es aceptado en la Escuela de Posgrado y Postítulo de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile, en el año 2005, para formar parte del Programa de Magíster en Ciencias Animales y Veterinarias, con Mención en Medicina Preventiva Animal.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Mario y Rosy, por su apoyo y amor incondicional, por darme la oportunidad de realizar mis sueños y por hacer de mí la persona que soy.

Al Dr. Santiago Urcelay V. por su cooperación en la realización de este trabajo, por sus enseñanzas, consejos y amistad.

A mi familia y mis queridos amigos por su compañía y aliento durante este y todos los procesos de mi vida.

A todas las personas que de alguna manera me ayudaron e hicieron posible la concreción de esta Tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

BIOGRAFÍA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	7
SUMMARY	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Descripción de la enfermedad	11
2.1.1. Etiología	12
2.1.2. Transmisión	13
2.1.3. Patogenia	14
2.1.4. Signos Clínicos	15
2.1.5. Diagnóstico	16
2.1.6. Prevención y Control	17
2.2. Modelación y Simulación de Enfermedades	19
2.3. Impactos Económicos de las Enfermedades Animales	21
2.3.1. Impactos Económicos de la Fiebre Aftosa	22
3. OBJETIVOS	25
3.1. Objetivo General	25
3.2. Objetivos Específicos	25
4. MATERIAL Y MÉTODO	26
4.1. Material	26
4.1.1. Área bajo Estudio	26

4.1.2.	Fuentes de Datos _____	26
4.1.3.	Programas Computacionales _____	27
4.2.	Método _____	28
4.2.1.	Evaluación Epidemiológica _____	28
4.2.1.1.	Determinación de Parámetros _____	29
	- Revisión de Fuentes Bibliográficas _____	29
	- Consulta a Panel de Expertos _____	30
4.2.1.2.	Construcción de Escenarios _____	31
4.2.1.3.	Simulaciones de Brotes de FA _____	32
4.2.1.4.	Análisis Estadístico de los Resultados _____	32
4.2.2.	Evaluación del Impacto Económico _____	33
4.2.2.1.	Identificación de Costos _____	34
4.2.2.2.	Valorización Económica de Costos _____	34
4.2.2.2.1.	Costos Operacionales _____	35
4.2.2.2.2.	Indemnizaciones _____	36
4.2.2.2.3.	Restricciones de Comercio _____	37
4.2.2.3.	Estimación del Impacto Económico _____	38
4.2.2.3.1.	Costos Operacionales _____	38
4.2.2.3.2.	Indemnizaciones _____	39
4.2.2.3.3.	Restricciones de Comercio _____	40
4.2.2.3.4.	Impacto Económico Total _____	40
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	41
5.1.	Evaluación Epidemiológica _____	41
5.1.1.	Determinación de Parámetros _____	41
5.1.1.1.	Consulta a panel de expertos _____	41
5.1.2.	Simulaciones de brotes de FA _____	45
5.1.2.1.	Escenario sin vacunación _____	45
5.1.2.2.	Escenario con vacunación _____	47
5.1.3.	Análisis Estadístico de los Resultados _____	50

5.1.3.1.	Prueba de Bondad del Ajuste _____	51
5.1.3.2.	Prueba de Wilcoxon para rangos con signos de pares comparados _____	52
5.2.	Evaluación del Impacto Económico _____	52
5.2.1.	Identificación de Costos _____	52
5.2.1.1.	Costos Operacionales _____	52
5.2.1.2.	Indemnizaciones _____	54
5.2.1.3.	Restricciones de Comercio _____	54
5.2.2.	Valorización Económica de Costos _____	55
5.2.2.1.	Costos Operacionales _____	55
5.2.2.2.	Indemnizaciones _____	56
5.2.2.3.	Restricciones de Comercio _____	57
5.2.3.	Estimación del Impacto Económico _____	58
5.2.3.1.	Costos Operacionales _____	58
5.2.3.2.	Indemnizaciones _____	59
5.2.3.3.	Restricciones de Comercio _____	61
5.2.3.4.	Impacto Económico Total _____	62
6.	CONCLUSIONES _____	64
7.	BIBLIOGRAFÍA _____	66
8.	ANEXOS _____	73
	ANEXO N° 1: ENCUESTA A GRUPO DE EXPERTOS 1 _____	73
	ANEXO N° 2: ENCUESTA A GRUPO DE EXPERTOS 2 _____	75
	ANEXO N° 3: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS _____	77
	ANEXO N° 4: PRUEBA DE BONDAD DEL AJUSTE _____	83
	ANEXO N° 5: PRUEBA DE WILCOXON _____	85

RESUMEN

La fiebre aftosa (FA) es considerada una de las enfermedades transfronterizas más importantes de los animales de abasto, debido a las grandes pérdidas económicas que genera en los sistemas productivos.

El objetivo de este estudio es caracterizar epidemiológica y económicamente el impacto de la reintroducción del virus de la FA en Chile, bajo dos estrategias de control diferentes, con el fin de servir como material de apoyo fundamental en los procesos de toma de decisiones sobre las medidas de control más adecuadas y eficientes para enfrentar una emergencia sanitaria.

La metodología de trabajo se divide en dos fases. La primera comprende la evaluación epidemiológica de la reintroducción del virus, mediante la utilización de simulaciones computacionales de brotes de FA y, en la segunda se evaluó el impacto económico que tal hecho tendría sobre la economía del país.

Los resultados indicaron que la estrategia de sacrificio sanitario junto con la aplicación de vacunas presentó valores estadísticamente menores de duración en semanas (3,66) y número de brotes reportados (4,32), en comparación con la estrategia de sacrificio sanitario sin vacunación (3,89 y 4,46).

La estimación de los costos bajo los dos escenarios, afirmó la idea de que la estrategia de aplicar vacunas antiaftosa resulta menos eficiente, en términos económicos, que la estrategia de sacrificio sanitario sin esta medida. Los costos estimados para el escenario con vacunación ascendieron a \$36.355.396.120,73 pesos chilenos, y para el escenario sin vacunación estos fueron de \$20.707.858.630,51. En ambos casos, los mayores costos fueron representados por los ingresos no percibidos debido al cierre de los mercados internacionales (95,92 y 96,01% respectivamente).

Palabras Claves: Epidemiología, Fiebre Aftosa, Estrategias de control, Modelación y simulación, Impacto económico.

SUMMARY

Foot and Mouth Disease (FMD) is considered to be one of the most important cross-border diseases affecting livestock, due to the large economic losses that it generates in the productive systems.

The purpose of this study is to characterize, both epidemiologically and economically, the impact of the reintroduction of FMD virus into Chile, under two different control strategies, with the aim of being useful as basic support material when deciding which control measure is the most efficient and appropriate one when dealing with a sanitary emergency.

The methodology is divided in two phases. The first one covers the epidemiologic assessment of the reintroduction of the virus, by using computer FMD outbreak simulations, and the second one covers the economic impact that such situation would cause on the economy of the country.

The results indicate that the stamping out with vaccination strategy showed statistically lower values of duration in weeks (3.66) and number of reported outbreaks (4.32), compared to those from the stamping out without vaccination (3.89 y 4.46).

The estimation of the costs under both scenarios, confirmed the idea that the anti-FMD vaccination strategy is less efficient, in economic terms, than the stamping out without the use of vaccines. The estimated costs for the with vaccination scenario rose to \$36,355,396,120.73 Chilean pesos, and for the without vaccination the costs were \$20,707,858,630.51. In both cases, the greater costs were represented by the unperceived incomes, due to the closing of international markets (95.92 and 96.01% respectively).

Key Words: Epidemiology, Foot and Mouth Disease, Control strategies, Modelling and simulation, Economic impact.

1. INTRODUCCIÓN

La globalización y la apertura de los mercados internacionales para el comercio de productos pecuarios, en el último tiempo, han facilitado la diseminación de enfermedades entre países y continentes, poniendo en riesgo la salud de sus poblaciones animales y las economías de las naciones.

La fiebre aftosa (FA) es considerada una de las enfermedades transfronterizas más contagiosas e importantes de los animales de abasto, debido a las grandes pérdidas económicas que genera en los sistemas productivos alrededor del mundo. Sus efectos no sólo se limitan a la actividad pecuaria, sino que, además, repercuten indirectamente sobre otras industrias relacionadas al área, a la vez que limitan las exportaciones de diversos productos agrícolas.

La FA es una enfermedad viral, de curso agudo, que afecta principalmente a los animales biungulados domésticos. Se caracteriza por la presentación de fiebre y formación de vesículas a nivel de cavidad bucal, espacios interdigitales, rodete coronario de las pezuñas, y pezones.

Gracias a la efectividad del Plan de Control y Erradicación de la enfermedad instaurado en el país a fines de los años sesenta por el Servicio Agrícola y Ganadero, y a la participación activa de los sectores público y privado, se logró que en enero de 1981 Chile fuera reconocido oficialmente por el Comité Internacional de la OIE como país libre de FA sin vacunación. Pero el país debió enfrentar la reintroducción del virus en dos oportunidades, en los años 1984 y 1987; en ambas ocasiones la infección se originó mediante el ingreso ilegal de animales desde el país vecino de Argentina, a través de campos de

veranada en la Cordillera de Los Andes, produciendo impactos económicos y sociales importantes en la lucha por recuperar el estatus sanitario y proteger el patrimonio del país.

Considerando estos antecedentes, y la actual situación sanitaria y comercial del país, se hace necesaria la realización de una evaluación de las características epidemiológicas y del impacto económico que tendría la reintroducción del virus de la FA en Chile, con el fin de servir como material de apoyo fundamental en los procesos de toma de decisiones sobre las medidas de control más adecuadas y eficientes para enfrentar una emergencia sanitaria.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Descripción de la enfermedad

La FA es una enfermedad viral, muy contagiosa, de curso agudo, que afecta a animales biungulados domésticos y salvajes. Se caracteriza clínicamente por la presencia de fiebre y la formación de vesículas principalmente en el hocico, los espacios entre las pezuñas y sus rodetes coronarios, y con cierta frecuencia en pezones y en la superficie de la ubre (SENASA, 2006).

Afecta principalmente a los bovinos (vacunos, cebúes, búfalos domésticos, yaks), ovinos, caprinos, porcinos, todos los rumiantes salvajes y suidos. Los camélidos (camellos, dromedarios, llamas, vicuñas) tienen baja susceptibilidad frente a la enfermedad (OIE, 2008a).

Su importancia deriva de las implicancias socioeconómicas que origina su presencia, principalmente en los mercados internacionales de animales, productos y subproductos de origen animal, en los perjuicios directos sobre la producción y productividad ganadera, así como, en el gasto público y privado en su prevención, control y erradicación (FAO, 2008a).

La enfermedad se encuentra distribuida en todo el mundo, y es endémica en regiones de Asia, África, Oriente Medio y América del Sur. En el año 1870 ingresa por primera vez al continente, a través de Argentina y Estados Unidos y luego se disemina por casi todos los países de América. En los últimos años se han presentado brotes en todos los países de Sudamérica, con la excepción de Chile y Guyana, únicos países libres de la enfermedad sin vacunación; otros

países presentan zonas libres con y sin vacunación, como Argentina, Perú, Colombia y Brasil, mientras que los países de Norteamérica y la mayoría de los centroamericanos han logrado erradicar la enfermedad (OIE, 2007).

2.1.1. Etiología

El agente etiológico corresponde al virus de la fiebre aftosa, perteneciente a la familia *Picornaviridae*, género *Aphthovirus*. Presenta siete serotipos inmunológicamente distintos: A, O, C, SAT1, SAT2, SAT3 y Asia1, cada uno con diversos subtipos. El virión carece de envoltura lipoproteica, es de configuración icosaédrica y tiene un diámetro cercano a los 30 nm (Racaniello, 2007).

Aquellos animales que se han recuperado de la infección con una cepa perteneciente a un serotipo, siguen estando completamente susceptibles a la infección con cepas de los otros seis serotipos (Kitching, *et. al.*, 2005).

Cada serotipo incluye numerosos subtipos y centenares de cepas diferentes con cierto grado de protección cruzada. Esta diversidad tiene gran valor en el control de la enfermedad, exigiendo una vigilancia epidemiológica constante, y vacunas con componentes inmunológicos perfectamente identificados con la cepa del virus de campo actuante (FAO, 2008b).

El virus es rápidamente inactivado fuera del rango de pH de 6,0 a 9,0, así como por desecación y temperaturas sobre 56 °C, aunque una proporción de

virus residual puede sobrevivir por un tiempo considerable cuando se asocia con proteína animal (Merck & Co., Inc., 2006).

A temperaturas bajo el punto de congelación el virus es estable indefinidamente, sin embargo, existen algunas variaciones entre cepas en cuanto a la resistencia a temperatura y/o pH. La luz solar destruye al agente de forma rápida, pero en materiales como pelo, lana, madera, etc., puede permanecer infectante por varias semanas. En las canales, el ácido láctico que se produce inactiva al virus ubicado en las masas musculares, pero no el que se encuentra en nódulos linfáticos y médula ósea. Los procesos para producir jamones, salchichas y embutidos no alcanzan a inactivarlo. La sobrevivencia en aerosoles es principalmente influenciada por la humedad relativa (HR), presentando buena sobrevivencia sobre 60% de HR, y una rápida inactivación bajo este porcentaje (SAG, 2006).

2.1.2. Transmisión

La transmisión de la FA, generalmente, ocurre por contacto entre animales susceptibles e infectados. Los animales infectados presentan una gran cantidad de virus en forma de aerosol en el aire exhalado, el cual puede infectar a otros animales a través de las vías respiratoria u oral. Todas las excreciones y secreciones provenientes del animal infectado contienen virus, que puede estar presente en la leche y semen por hasta cuatro días antes de la aparición de signos clínicos (Merck & Co., Inc., 2006).

La transmisión también puede ocurrir por contacto indirecto, a través de vectores animados como los humanos, vectores inanimados como vehículos y artefactos, y por medio de virus aerotransportado, especialmente en zonas templadas, donde éste puede transportarse hasta 60 kilómetros sobre la tierra y 300 kilómetros sobre el mar (OIE, 2008a).

2.1.3. Patogenia

Luego de que el animal susceptible ha inhalado o ingerido el virus de la FA, éste infecta las células del área orofaríngea (mucosas nasales, laringe, faringe, esófago, tráquea y pulmón); el virus se replica en estas áreas y luego se disemina a las zonas adyacentes, a través de la corriente sanguínea y linfática, llegando a infectar los linfonódulos y otras glándulas, para dirigirse a los sitios de preferencia y desarrollar las lesiones (cavidad oral, nasal, patas, glándulas mamarias y esporádicamente rumen). Luego de un corto tiempo las vesículas se rompen formando úlceras y evolucionan los signos clínicos, finaliza la fiebre y la viremia para comenzar la producción de anticuerpos detectables. En este período se inicia la cicatrización de las lesiones del animal, volviendo a alimentarse, y disminuyen los títulos de virus en los fluidos y tejidos. Aunque la cicatrización se ha completado, el virus persiste en la región faríngea del individuo dando como resultado el estado de portador (FAO, 2008b).

El virus persiste en forma latente por periodos prolongados en el animal infectado, identificándose material viral principalmente en la zona del esófago, faringe y paladar blando. Los rumiantes que sobreviven a una infección de FA, y los animales inmunes que han tenido contacto con virus vivo, pueden permanecer infectados durante un período variable (bovinos 3 años, ovinos 9

meses, búfalo africano 5 años), convirtiéndose éstos en portadores asintomáticos. En tanto que en los porcinos esta circunstancia no parece darse (De Benito *et. al.*, 2001).

2.1.4. Signos Clínicos

Diversas fuentes evidencian una gran variabilidad en la duración del período de incubación de la enfermedad, siendo uno de lo más aceptados, aquel entregado por la Organización Mundial de Sanidad Animal, el cual señala que el período de incubación de la FA tendría una duración de 2 a 14 días (OIE, 2008b). La duración dependerá de la dosis infectante, la cepa viral y el mecanismo de infección; los períodos de incubación serán cortos cuando los animales susceptibles e infectados estén confinados en un establecimiento o vehículo de transporte, ya que ,bajo aquellas circunstancias, la dosis infectante será alta y la infección por más de una ruta será posible (Donaldson, 2004).

En bovinos los signos clínicos incluyen fiebre, debilidad, anorexia, salivación excesiva, chasquido de labios y babeo, acompañados por la formación, ruptura y erosión de vesículas o aftas bucales. Cuando se afectan las patas, los animales presentan cojera. La lactación se encuentra disminuida y son comunes los abortos y la mastitis. La letalidad en los animales jóvenes puede llegar a ser hasta de un 50%, aunque en adultos pocas veces es mayor del 5%. La recuperación suele producirse en un plazo de 8 a 15 días. Las complicaciones más comunes son erosiones de la lengua, infección de las lesiones, deformación de los cascos, mastitis y disminución permanente de la producción de leche, miocarditis y aborto (SAG, 2007).

En ovinos y caprinos los síntomas clínicos son menos aparentes, pueden restringirse únicamente a pequeñas lesiones ulcerativas en la boca y leve cojera. En los cerdos se puede encontrar dificultad de los animales a ponerse de pie o moverse, pudiendo éstos desarrollar vesículas en el hocico (Rosero, 2002).

La letalidad es alta en animales jóvenes debido a la acción del virus sobre el corazón, que determina la presentación de una miocarditis hiperaguda que produce la muerte de terneros y animales jóvenes en general, sin que se lleguen a desarrollar los otros signos clínicos, como vesículas, cojera, etc. En la necropsia los animales jóvenes presentan el llamado “corazón atigrado”, por la apariencia que presenta (COPEG, 2007).

2.1.5. Diagnóstico

La concurrencia de signos clínicos de salivación y cojera con vesículas y/o erosiones, debería considerar a la FA dentro del grupo de enfermedades a diferenciar. La fiebre suele ser el primer signo, por lo tanto, estos animales deben ser cuidadosamente examinados en busca de lesiones orales o digitales tempranas. El hocico de cualquier animal que presente cojera, y las patas de animales con lesiones orales o con babeo, también deberían ser inspeccionados, así como, las glándulas mamarias de hembras en lactancia. Las pruebas de laboratorio son un requerimiento absoluto para la confirmación de FA, debido a que todas las enfermedades vesiculares tienen signos clínicos casi idénticos (CFSPH, 2007).

Como se nombró anteriormente, resulta esencial la confirmación de laboratorio, con el fin de diferenciar diagnósticos de otras enfermedades vesiculares y confundibles tales como: estomatitis vesicular, enfermedad vesicular del cerdo, exantema vesicular del cerdo, rinotraqueitis infecciosa bovina, complejo diarrea viral bovina/enfermedad de las mucosas, peste bovina, mamilitis herpética bovina y lengua azul, entre otras (Bergmann, 2003).

Las pruebas de laboratorio utilizadas para la identificación del virus de la FA son inmunoanálisis ligado a enzimas (ELISA) y fijación del complemento. Otra prueba diagnóstica utilizada es el aislamiento viral, el cual se realiza por inoculación de células primarias tiroideas de bovinos y células primarias renales de porcinos, terneros y corderos, inoculación de líneas celulares BHK-21 e IB-RS-2, o inoculación de ratones. Las pruebas de ELISA y neutralización viral pueden ser usadas para detectar anticuerpos en suero. Otros métodos de diagnóstico son hibridación y reacción en cadena de la polimerasa (PCR). El aislamiento e identificación viral deben ser llevados a cabo en el caso inicial. Posteriormente, puede usarse la detección de antígeno o ácido nucleico para diagnosticar casos adicionales en un brote (CFSPH, 2007).

2.1.6. Prevención y Control

Las medidas de acción que se tomarán contra la enfermedad, dependerán del estatus sanitario del país afectado en el momento dado. Sin embargo, diversos autores han entregado recomendaciones respecto de las actividades de prevención, control y erradicación de la enfermedad, a tomarse en cuenta en la lucha contra la FA.

La principal medida preventiva es la prohibición de la importación de animales vivos, productos y subproductos de especies susceptibles, de países en donde la FA está presente. En los países endémicos se utiliza la vacunación como método de prevención (SENASICA, 2007).

Frente a la sospecha de que existe un caso de FA es fundamental la notificación a las autoridades; los médicos veterinarios estatales y federales deben ser alertados, ya que una respuesta rápida es importante para contener un brote de la enfermedad. Los animales sospechosos deberán ser puestos en cuarentena inmediatamente, y los establecimientos, desinfectados. El hidróxido de sodio (2%), carbonato de sodio (4%) y ácido cítrico (0,2%), entre otros, son desinfectantes efectivos (CFSPH, 2007).

Se considera que la eliminación de los animales infectados y el sacrificio preventivo del ganado adyacente susceptible son las medidas más efectivas para controlar un brote de FA, sin embargo, la enfermedad debe ser diagnosticada antes de que se ponga en marcha el rifle sanitario (Amass *et al.*, 2003).

Todo programa de erradicación y control debe considerar: controlar el movimiento de animales y productos de origen animal dentro del área afectada y hacia fuera de ella, sacrificio de animales infectados y animales en contacto, destrucción de canales, desinfección de vehículos y personal que abandonan el área infectada, vacunación si la erradicación por sacrificio falla, e informar y educar a la comunidad (Montaño y Mateos, 2001).

El sacrificio de animales a gran escala que se llevó a cabo en el Reino Unido durante el brote del año 2001, horrorizó al público general, y ha impulsado a los

líderes políticos a insistir en una reevaluación del uso de la vacunación como una estrategia alternativa; pero, la voluntad política no es suficiente para sobrellevar todos los problemas asociados al uso de vacunas en el enfrentamiento de un brote de fiebre aftosa (Kitching, 2004).

La vacunación contra la FA que se realiza en la actualidad, hace uso de vacunas inactivas con etilenimina y adyuvadas con hidróxido de aluminio y saponina en los rumiantes, o con adyuvantes oleosos en porcinos. Las formulaciones de vacunas, a menudo, incluyen serotipos diferentes y deben considerar, para ser efectivas, el tipo y subtipo del virus causante del brote (De Benito *et. al.*, 2001).

2.2. Modelación y Simulación de Enfermedades

La modelación es la representación de procesos físicos, diseñada para aumentar la apreciación y comprensión de éstos. Una definición más específica de modelación es la representación de eventos en términos matemáticos cuantitativos, para que puedan realizarse predicciones acerca de los eventos. En epidemiología, los modelos son construidos con el fin de intentar predecir patrones de ocurrencia de enfermedades, y qué podría ocurrir si diversas estrategias de control fueran adoptadas. Los modelos precisos pueden resultar ser guías útiles para escoger las técnicas más eficientes de control de la enfermedad, así como, para incrementar la comprensión de los ciclos de vida de los agentes infecciosos (Thrusfield, 2005).

La mayoría de los modelos pueden utilizarse para ayudar a decidir entre métodos de control alternativos en situaciones adversas (es decir, pueden usarse como un instrumento para ayudar a tomar la decisión) (Martin *et. al.*, 1997).

Los modelos son, necesariamente, abstracciones y simplificaciones del mundo real, y como tales, los resultados que generan siempre serán aproximaciones. Estos modelos matemáticos pueden ser fácilmente simulados por computador y, por lo tanto, nuestras ideas básicas en una escala pueden ser integradas para proveer predicciones de las dinámicas a una mayor escala. Los modelos pueden ser usados experimentalmente para probar de forma rápida un amplio rango de estrategias de control y escenarios de brotes sin ninguno de los riesgos asociados con probar durante una epidemia real (Keeling, 2005).

El objetivo de modelar enfermedades contagiosas como la FA, es predecir o entender el comportamiento de una epidemia. La manera en la que una epidemia se disemina es altamente variable por naturaleza, y es influenciada por la población animal, el agente, el ambiente y las medidas aplicadas para controlar la enfermedad. Los efectos de cada uno de estos factores son difíciles de distinguir y pueden, en algunos casos, interactuar entre ellos (Gerbier *et. al.*, 2002).

Como los modelos epidemiológicos pueden ser ajustados a datos históricos (esencialmente reconstruyendo el pasado), y cuando son correctamente formulados, pueden simular el futuro y ser usados como herramientas tutoriales para ayudar a responder problemas epidemiológicos: un conocimiento de la biología de enfermedades dadas es también requerido (Kitching *et. al.*, 2005).

Así mismo, Jalvingh *et al.* (1998) llegaron a la conclusión de que la simulación computacional puede ser una herramienta adecuada para el análisis de las consecuencias económicas y epidemiológicas de enfermedades y diferentes programas de control.

Un modelo de simulación implica un proceso o representación dinámico de un sistema que se obtiene construyendo un modelo y desplazándolo a través del tiempo. Por lo general, los modelos de simulación se diseñan para imitar el sistema que se estudia lo más aproximadamente posible. Por ello, el constructor del modelo trata de obtener en la estructura de este, un grado importante de realismo epidemiológico y los parámetros utilizados se escogen de forma que puedan referirse fácilmente a los caracteres del sistema que se modela (Martin *et al.*, 1997).

2.3. Impactos Económicos de las Enfermedades Animales

Los efectos económicos de las enfermedades de animales de producción pueden ser complejos y exceder el efecto inmediato en los productos agrícolas directamente afectados. El mayor efecto económico directo es la pérdida de la producción o la menor eficiencia de la misma, lo que reduce los ingresos agrícolas. Estos efectos pueden ir acompañados de variaciones en los precios, determinados por los efectos en la oferta y la demanda de los productos. Los efectos en los mercados pueden inducir también variaciones en los salarios agrícolas y en el empleo de las industrias relacionadas. Estas enfermedades también conllevan consecuencias presupuestarias. Las medidas para combatirlas generalmente implican gastos que incluyen los costos de inspección, seguimiento, prevención y reacción (FAO, 2001).

Bennett y Kitching (2000) identificaron siete impactos económicos principales de las enfermedades en el ganado. Estos son: reducción en el nivel de producción comercial, reducción en la calidad de los productos, desperdicio de insumos, costos de recursos asociados al control de la enfermedad, impactos en la salud humana, impactos en el bienestar animal, e implicancias en el comercio internacional.

Por otro lado, las enfermedades que afectan a los rebaños, pueden llegar a comprometer la eficiencia de toda la cadena de producción, contrayendo la inversión, afectando la dinámica de la economía a nivel regional, nacional o internacional; y el control de éstas es uno de los problemas más importantes en producción pecuaria (García, 1990).

2.3.1. Impactos Económicos de la Fiebre Aftosa

La FA genera pérdidas económicas directas a los ganaderos e industrias relacionadas, como mataderos, ferias, comercializadoras de insumos y otras, e indirectas como las ocasionadas en distintas actividades agrícolas. Un brote de la enfermedad provocaría importantes pérdidas para la producción pecuaria nacional, comprometiendo directamente su patrimonio y limitando las exportaciones presentes y futuras de animales y productos. También, es posible que otras actividades de la agricultura pudieran ser parcial o temporalmente afectadas, especialmente las exportaciones de productos agrícolas.

En Chile, posterior a la erradicación de FA lograda en 1981, la enfermedad volvió a presentarse en el territorio en dos ocasiones. En el año 1984 el virus

ingresó por la VIII Región del Bío-Bío y se mantuvo en la alta cordillera. Se sacrificaron 5.000 animales en una operación que demoró seis meses y tuvo un costo de 2 millones de dólares. En 1987 nuevamente se presenta la enfermedad, por ingreso ilegal de ganado en la VII Región del Maule, extendiéndose a otras regiones, produciendo un impacto económico y social mayor. Durante los trece meses de la campaña fueron sacrificados 35.000 animales con un costo de 25 millones de dólares (SAG, 2001).

Los costos asociados a la FA han sido extensamente descritos en diversos estudios; éstos pueden ser divididos en costos de control de la enfermedad, los que son causados por el programa de vigilancia en el área de control y el programa de sacrificio (cuarentena, sacrificio, disposición de carcasas, limpieza y desinfección) y costos de vacunación; pagos de compensación; y costos debidos a restricciones de movimiento de ganado y productos ganaderos. Además, al aplicar un modelo de exportación, se suman a los costos nombrados, aquellos generados por la zonificación y los períodos de exclusión de mercado internacional. La reducción de las exportaciones causadas por restricciones de comercio internacional, dependerá de los ganados y productos ganaderos sujetos a prohibición, así como, la duración y regiones bajo esta medida. Los productos que deberían ser sujetos a prohibiciones de importación son ganado vacuno, porcino, ovino y caprino, carne fresca, productos cárneos, productos lácteos, cueros, grasas, lanas y pelos (Mahul y Durand, 2000).

Schoenbaum y Disney señalan, en su estudio del año 2003, que el costo total de un brote de FA en los EE.UU. comprendería la suma de los costos de erradicación, las pérdidas de producción, y la consecuencia más inmediata y severa de la ocurrencia de cualquier enfermedad animal – la pérdida potencial de los mercados de exportación. Costos indirectos, como impactos en otros

sectores de la economía (restricciones al turismo, etc.) también pueden ser importantes.

En 1999, Ekboir examinó los impactos potenciales de un brote de FA en California (EE.UU.) y estimó que las pérdidas se ubicarían entre los 8,5 a 13,5 billones de dólares. Un hallazgo importante en ese estudio fue que aproximadamente 6 billones del impacto total fue atribuible a pérdida de mercados internacionales para exportación de productos de ganado estadounidense.

Posteriormente, un nuevo estudio realizado en el país anteriormente nombrado, el año 2002, las pérdidas potenciales en producción de un brote de FA no fueron la fuente de los mayores impactos. A pesar de que la remoción de ganado inducida por FA sería devastadora para los productores individuales, el impacto desde la perspectiva del sector agrícola agregado sería pequeño. Los mayores impactos de un brote de FA en este caso fueron de la pérdida de mercados de exportación y temor de los consumidores (Paarlberg, 2003).

Es importante mencionar que los costos asociados a un brote de FA dependerán de los sistemas productivos de los países que se encuentren afectados, así como del estatus sanitario y acceso al comercio internacional que éstos tengan. De este modo, un caso opuesto a los señalados anteriormente, es el ocurrido durante la década de 1980 en Kenya, donde un brote de FA produjo pérdidas en la producción de leche que representaron el 30% de las pérdidas totales (Le Gall, 2006).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Caracterizar epidemiológica y económicamente el impacto de la reintroducción del virus de la FA en Chile bajo dos estrategias de control diferentes.

3.2. Objetivos Específicos

- Construir dos escenarios teóricos de presentación de FA.
- Determinar los parámetros epidemiológicos que conforman los escenarios.
- Analizar y comparar estadísticamente las características epidemiológicas de los resultados de simulaciones en ambos escenarios.
- Identificar y describir los costos económicos asociados a la ocurrencia de la enfermedad en el país.
- Estimar y comparar el impacto económico generado por la presentación de FA en los dos escenarios simulados.

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1. Material

4.1.1. Área bajo Estudio

El área de estudio se determinó en base a los resultados de la investigación de Rojas *et al.* del año 2003, en la cual se utilizó la metodología del análisis de riesgo con el fin de determinar el riesgo cualitativo de introducción de la fiebre aftosa en el territorio nacional, a través del ingreso de animales de países limítrofes y el posterior contacto con animales susceptibles. Se concluyó que la unidad territorial epidemiológica de mayor riesgo de ingreso y mayor impacto es la zona centro sur del país, que comprende las Regiones VII del Maule, VIII del Bío-Bío y IX de La Araucanía, siendo éste el área a estudiar en el presente análisis.

4.1.2. Fuentes de Datos

Los datos requeridos en el estudio fueron obtenidos de dos fuentes principales:

- Fuentes bibliográficas:
 - Instituto Nacional de Estadísticas (INE): Índice de Precios al Consumidor, Resultados del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal.

- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA): Estadísticas Económicas y Productivas, Series de Precios de Productos Agropecuarios.
 - Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE): Código Sanitario para los Animales Terrestres, Manual de Pruebas de Diagnóstico y Vacunas para los Animales Terrestres.
 - Servicio Agrícola y Ganadero (SAG): Manual de Contingencia para Fiebre Aftosa.
- Panel de expertos:
- Consulta dirigida a un grupo de profesionales expertos en el tema, mediante la elaboración de una encuesta.

4.1.3. Programas Computacionales

Los programas computacionales que se utilizaron en el estudio son:

- Transboundary Animal Disease Simulator (TADSimulator) version 4.default. Programa desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el año 2001. Es una herramienta diseñada para simular el curso de una epidemia de una enfermedad animal transfronteriza en un área dada y los efectos de la vigilancia y las medidas de control tomadas.

- Microsoft® Office Excel 2003. Aplicación desarrollada por Microsoft Corporation y distribuido en el paquete Office. El programa se utiliza para la creación de hojas de cálculo y la manipulación y almacenamiento de datos.

4.2. Método

La metodología del trabajo se divide en dos fases. La primera comprende la evaluación epidemiológica de la reintroducción del virus de FA, y en la segunda se evaluó el impacto económico que tal hecho tendría sobre los distintos actores involucrados.

4.2.1. Evaluación Epidemiológica

En esta primera fase se realizaron múltiples simulaciones computacionales de brotes de FA en dos escenarios de medidas de control diferentes, con el fin de obtener como resultado, características epidemiológicas de estos posibles eventos. Para esto, se utilizó el programa TADSimulator version 4.default. Y, posteriormente, los resultados fueron analizados y comparados estadísticamente en planillas de Microsoft® Office Excel 2003.

Con el fin de destacar la variabilidad en el comportamiento de una epidemia, el programa TADSimulator version 4.default utiliza un modelo de tipo estocástico, es decir, un modelo que describe procesos o eventos sujetos a variación causada por el azar (opuesto al modelo determinístico, que no toma

en cuenta la incertidumbre). El modelo se enfoca en la descripción de las interacciones complejas existentes entre una población animal, una enfermedad dada y las medidas de vigilancia y control aplicadas; es así que ha sido diseñado como un modelo de simulación de *Monte-Carlo*, en el cual las ocurrencias de los principales eventos epidémicos son elegidos aleatoriamente, de acuerdo a probabilidades predefinidas, que corresponden a los parámetros del modelo.

4.2.1.1. Determinación de Parámetros

En esta etapa se definió el valor de los sesenta y un parámetros que componen cada escenario, de acuerdo al modelo del 'software'. Algunos de estos valores son determinados por el investigador, según los objetivos del estudio, y el resto fueron establecidos a partir de datos obtenidos por medio de dos metodologías, de acuerdo a la existencia y disponibilidad de la información:

- Revisión de Fuentes Bibliográficas

Mediante la revisión de las fuentes bibliográficas detalladas en el punto 4.1.2, se recopiló los datos necesarios para la determinación de parámetros relacionados con características de la enfermedad y de la población, medidas de detección y control de la enfermedad, y recursos humanos a ser utilizados en la emergencia.

- Consulta a Panel de Expertos

Se realizó una encuesta a un grupo de expertos, con el fin de definir aquellos parámetros del modelo para los cuales no se disponía de datos publicados.

Se utilizó, para esto, la metodología Delphi, que se caracteriza por ser un método que permite estructurar un proceso de comunicación de grupo, de modo que el proceso es efectivo en permitir a un grupo de individuos, como un conjunto, lidiar con un problema complejo (Linstone y Turoff, 2002).

La capacidad de predicción de la metodología Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos. Este método procede por medio de la interrogación a expertos, con ayuda de cuestionarios sucesivos, anónimos, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos (Astigarraga, s.f.).

El grupo quedó compuesto por veinte expertos en el tema, abarcando profesionales de la academia e investigadores del área de la epidemiología veterinaria, médicos veterinarios del Servicio Agrícola y Ganadero, entre otros. La selección de los participantes tomó en cuenta: conocimientos sobre las características y la epidemiología de la FA y las enfermedades animales, experiencia en vigilancia y control de FA, cargos desempeñados y publicaciones científicas.

La encuesta consta de dos rondas de preguntas, y fue distribuida a los participantes del panel mediante vía correo electrónico. El tipo de preguntas

que se incluyó fue de probabilidades de ocurrencia de eventos, éstas fueron once, y su objetivo es llegar a consenso en la definición de parámetros referentes a medidas de detección y control de la enfermedad. En una primera ronda los expertos entregaron su opinión respecto de cada pregunta (Anexo N° 1); luego estas respuestas fueron analizadas estadísticamente, obteniendo como resultado medidas de tendencia central y dispersión (media, mediana, cuartiles, desviación típica), lo que permitió tener una visión de conjunto de los resultados obtenidos. Con el fin de reducir la dispersión en las respuestas, se llevó a cabo una segunda ronda de consulta (Anexo N° 2), en la cual se informó a los participantes la media obtenida para cada pregunta, y se les solicitó su opinión con respecto a éstas; si los participantes aprobaban los resultados obtenidos, se tomó como respuestas de la segunda ronda las medias de las respuestas de la ronda anterior; por el contrario, si los expertos no concordaban con el valor promedio, éstos debieron indicar una nueva probabilidad de ocurrencia del hecho. Así, al término de la segunda ronda se calcularon las nuevas medidas de posición y variación de las respuestas y se obtuvo los resultados finales para los parámetros consultados.

4.2.1.2. Construcción de Escenarios

Una vez determinados los parámetros que caracterizan los escenarios, éstos fueron ingresados en el modelo de simulación del programa computacional. Se construyeron dos escenarios, compuestos por las regiones 1, 2 y 3 (representadas por las Regiones VII del Maule, VIII del Bío-Bío y IX de La Araucanía respectivamente (Ver punto 4.1.1)), y que tienen como diferencia la aplicación o no de la vacunación como herramienta de control de la enfermedad (escenario sin vacunación y escenario con vacunación). Esta

decisión implicó que los escenarios difirieran entre sí en los valores de tres de los parámetros que los conforman, estos son: “Usar vacunación” y “Radio del anillo de vacunación”, dentro del grupo “Medidas médicas”, y “Capacidad de trabajo del equipo”, del grupo “Recursos humanos – Personal”; mientras que el resto se mantuvieron comunes para ambos (Ver Anexo N° 3).

4.2.1.3. Simulaciones de Brotes de FA

Para cada uno de los escenarios (sin vacunación y con vacunación) se realizaron simulaciones de brotes de FA en el programa TADSimulator version 4.default. El número de iteraciones fue el recomendado por el modelo de *Monte-Carlo* (10.000 iteraciones) para obtener resultados estadísticos. Primero se hicieron las simulaciones para el escenario sin aplicación de vacunas, y luego se modificaron los valores de los parámetros nombrados en el punto anterior (Ver Anexo N° 3), para formar el segundo escenario, y se repitieron las 10.000 simulaciones de brotes realizadas previamente. Los resultados fueron exportados como archivos de texto, para su posterior análisis mediante pruebas estadísticas en planillas del programa Microsoft® Office Excel 2003.

4.2.1.4. Análisis Estadístico de los Resultados

Los resultados entregados por el programa de simulación, incluyen una serie de datos referentes al comportamiento de la enfermedad. De acuerdo a los objetivos del estudio, se determinó si existen diferencias estadísticamente significativas en la duración (en semanas) y el número de brotes reportados de

las epidemias simuladas en los dos escenarios de medidas de control diferentes.

El primer análisis que se llevó a cabo tuvo como propósito determinar si las distribuciones de los datos correspondientes a las 10.000 muestras de cada escenario, y para las variables duración y número de brotes reportados, se ajustan a una distribución normal teórica. La prueba que se utilizó para esto fue la Prueba de Bondad del Ajuste mediante la distribución de *chi* cuadrado (χ^2). La información obtenida de este análisis permitió realizar la elección entre el uso de los métodos de estadística paramétrica y no paramétrica en el siguiente paso, donde se probó la existencia de diferencias significativas entre los datos muestrales de los escenarios a ser estudiados.

En caso de haberse demostrado que las muestras seguían una distribución normal, se utilizaría la Prueba t de Student de diferencias entre dos medias de muestras asociadas; en caso contrario, la prueba de elección sería la Prueba de Wilcoxon para rangos con signos de pares comparados. Cualquiera que fuera el caso, se harían dos pruebas para comparar las diferencias entre los escenarios, una para la variable duración y otra para la variable número de brotes.

4.2.2. Evaluación del Impacto Económico

En esta segunda fase del estudio, se evaluó el impacto en términos económicos que podría tener como consecuencia la reintroducción de la FA en Chile.

Inicialmente se identificó los costos asociados a la ocurrencia de la enfermedad, y luego se estimó el valor económico de éstos, en relación a los resultados obtenidos de las simulaciones de brotes de FA en los dos escenarios estudiados.

4.2.2.1. Identificación de Costos

En base a la información recopilada en la revisión bibliográfica, se identificó los costos que la presentación de la enfermedad tendría sobre la situación actual del país. Primero fueron definidas categorías de costos y, posteriormente, se detallaron costos específicos para cada categoría.

4.2.2.2. Valorización Económica de Costos

En este punto se estimó el valor económico de cada uno de los costos previamente identificados, expresándose éstos, en valor monetario por unidad (de tiempo (una semana) o animal, según fuera el caso), a la fecha del estudio. Este proceso requirió de la revisión bibliográfica de las fuentes citadas en el punto 4.1.2.

4.2.2.2.1. Costos Operacionales

Estos costos se expresaron en valor por unidad de tiempo (una semana), en base a los gastos operacionales del último brote de FA que afectó al país en el año 1987, publicados por el Servicio Agrícola y Ganadero (Cancino, 1988).

Los costos fueron actualizados mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Costos actualizados} = \frac{\text{Costos (1987)} \times \text{IPC (2008)}}{\text{IPC (1987)}}$$

Donde:

Costos (1987): Costos operacionales del brote del año 1987.

IPC (2008): Índice de Precios al Consumidor de diciembre del año 2008.

IPC (1987): Índice de Precios al Consumidor de diciembre del año 1987 (mes anterior a la fecha de publicación de los datos).

Posteriormente, se dividió el valor actualizado de los costos operacionales por el número de semanas que tuvo como duración el brote de 1987, para obtener el valor de los costos operacionales correspondientes a una unidad de tiempo.

El costo de las vacunas fue medido en valor por unidad (dosis), y se obtuvo mediante el cálculo de un valor internacional promedio, ya que, debido al estatus sanitario del país, la vacuna no puede ser fabricada en laboratorios nacionales.

4.2.2.2. Indemnizaciones

El valor de los costos por concepto de indemnizaciones fue expresado en unidades animales proporcionales. Para realizar el cálculo de este ítem, primero se debió definir este concepto. Una unidad animal proporcional corresponde a la representación proporcional de las especies animales susceptibles e indemnizables incluidas en este estudio (bovino, ovino, caprino y porcino) de la población ganadera en las tres regiones en estudio, según datos de existencia de ganado en explotaciones agropecuarias del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal (INE, 2008b).

El valor por unidad animal proporcional a indemnizar se obtuvo mediante la fórmula:

$$\text{Valor indem. unidad animal prop} = \sum \text{prop. especie} \times \$ \text{ animal (esp)}$$

Donde:

prop. especie: Proporción de especie del total de animales.

\$ animal (esp): Valor por animal para cada especie.

A su vez, el valor por animal de cada especie resultó del siguiente cálculo:

$$\$ \text{ animal (esp)} = \text{peso } \overline{X} \times \$ \text{ kg}$$

Donde:

peso \overline{X} : Peso promedio animal.

\$ kg: Valor por kilogramo de animal.

El valor por kilogramo deriva de los precios a productor durante el año 2008, publicados por ODEPA. En tanto, el peso promedio es obtenido a partir de los datos de beneficio de ganado por especie (número de animales y toneladas de carne en vara), publicados por la misma entidad durante el periodo mencionado (no se considera subproductos de la faena).

$$\text{peso } \bar{X} = \frac{\text{ton carne}}{N^{\circ} \text{anim. benef.}}$$

Donde:

ton carne: Toneladas de carne en vara.

N° anim. benef.: Número de animales beneficiados.

4.2.2.2.3. Restricciones de Comercio

Los costos asociados a pérdidas por exclusión de los mercados internacionales frente a una epidemia de FA, fueron expresados en valor por unidad de tiempo (una semana).

Se utilizó los datos publicados por ODEPA de valor en dólares correspondientes a exportaciones de productos pecuarios sujetos a restricción comercial por FA, durante el año 2008. Este monto luego fue multiplicado por el porcentaje de rentabilidad de este grupo de productos, para obtener las ganancias recibidas en el periodo. Este dato es dividido por el número de semanas de un año, y se obtiene, así, el valor de los ingresos percibidos por unidad de tiempo. Por lo tanto, frente a una situación de prohibición de

comercio internacional, esta cifra corresponde a los ingresos no percibidos por este concepto en una unidad de tiempo. Finalmente, el resultado es convertido a moneda nacional.

4.2.2.3. Estimación del Impacto Económico

En la última etapa del estudio se llevó a cabo la estimación del impacto económico de la reintroducción de FA en el área bajo estudio, y para la economía del país, bajo dos estrategias de control diferentes.

Se calculó el costo total en términos monetarios que tendría la emergencia sanitaria en los dos escenarios simulados. Las estimaciones representan el producto entre los valores de las variables duración y número de brotes reportados, según corresponda, resultantes de las simulaciones computacionales, y los valores por unidad de los costos identificados.

4.2.2.3.1. Costos Operacionales

Una vez obtenido el valor de los costos operacionales por unidad de tiempo, éste fue multiplicado por los valores promedio de duración en semanas de las simulaciones computacionales de ambos escenarios. En tanto, el costo por dosis de vacuna (escenario con vacunación) fue multiplicado por el número de dosis necesarias para lograr inmunidad de masa, el que se asumió correspondiente al 80% de la población susceptible del área bajo estudio. Los costos operacionales totales resultaron de la suma de ambos ítemes.

4.2.2.3.2. Indemnizaciones

El valor por unidad animal proporcional del costo por indemnización fue multiplicado por el número de animales sujetos a sacrificio sanitario en ambos escenarios, con el fin de obtener la estimación del impacto económico por este concepto.

El cálculo del número de animales sacrificados en cada escenario, tomó en consideración que la estrategia a utilizar para llevar a cabo el sacrificio sanitario contempla la eliminación de todos los animales susceptibles pertenecientes al foco, además de todos los animales susceptibles dentro de un radio de 3 km desde este punto, por lo tanto, primero se debió calcular el número de animales existentes dentro un área de sacrificio (28,27 km²).

$$N^{\circ} \text{ anim. área sacrif.} = N^{\circ} \text{ predios área sacrif.} \times N^{\circ} \text{ anim. predio}$$

Donde:

N^o predios área sacrif.: Número de predios por área de sacrificio (28,27 x N^o predios km²).

N^o anim. predio: Número de animales por predio.

Los datos utilizados en el cálculo del número de animales por predio y el número de predios por km² provienen de datos publicados por INE en el año 2008 (superficie del área bajo estudio, número total de explotaciones agropecuarias y existencia de ganado en explotaciones agropecuarias).

El número de animales dentro de un área de sacrificio corresponde, evidentemente, al número de animales a sacrificar en un escenario de presentación de FA con un único brote; así, el producto entre este número de animales y el número de brotes reportados para cada escenario dará como resultado el número de animales sacrificados en cada escenario.

4.2.2.3.3. Restricciones de Comercio

La estimación de los costos por restricciones de comercio internacional resultó de la multiplicación entre el valor obtenido por unidad de tiempo y la duración en semanas de las simulaciones de brotes de FA en ambos escenarios, más el período adicional de exclusión del mercado, el cual corresponde a 3 meses desde la declaración del último brote para el escenario sin vacunación, y 6 meses para el escenario con vacunación.

4.2.2.3.4. Impacto Económico Total

La sumatoria de las estimaciones de los costos operacionales, por indemnizaciones y por restricciones de comercio, conforman la estimación del impacto económico total de la presentación de FA bajo las dos estrategias de control estudiadas.

Finalmente, las estimaciones de los impactos económicos de ambos escenarios pueden ser comparados al momento de decidir la estrategia más eficiente al enfrentarse a una situación similar en la realidad.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Evaluación Epidemiológica

5.1.1. Determinación de Parámetros

Como se mencionó en el punto 4.2.1.1, los parámetros que definen cada escenario fueron determinados mediante la utilización de diferentes fuentes de información. Éstos se encuentran detallados en el Anexo N° 3. A continuación se presentan los resultados de la consulta a panel de expertos.

5.1.1.1. Consulta a panel de expertos

De las veinte encuestas enviadas, se recibieron once; de éstas, dos se encontraban incompletas, por lo que finalmente nueve fueron aceptadas para conformar el grupo. Las respuestas de la primera ronda de preguntas se encuentran en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1: Respuestas de la 1ª ronda de encuesta a expertos, por expertos, según preguntas.

Preguntas	Expertos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	80	20	90	80	80	60	50	90	90
2	50	80	99	80	60	80	90	90	95
3	30	50	98	80	90	70	85	100	95
4	20	30	95	90	85	80	60	90	80
5	10	20	95	90	85	90	90	90	75
6	70	90	80	80	90	85	80	70	97
7	70	60	98	85	80	90	95	70	98
8	70	40	99	90	80	95	95	100	99
9	40	80	98	80	95	80	90	70	97
10	60	60	99	85	95	85	95	80	98
11	70	80	99	90	95	90	95	100	99

Estas respuestas fueron analizadas estadísticamente para obtener medidas de posición (valor mínimo (Mín), 1^{er} cuartil (Q1), mediana (Med.), 3^{er} cuartil (Q3), valor máximo (Máx.) y Media) y variación (desviación estándar (S) y coeficiente de variación (C.V.)) (Cuadro N° 2). Se puede ver que las preguntas, en general, presentan una alta dispersión en sus respuestas, en especial las preguntas 1, 3, 4 y 5. Esta dispersión denota cierta heterogeneidad en las respuestas de los expertos, motivo por el cual se realizó la segunda ronda de preguntas.

Cuadro N° 2: Descripción estadística de la 1ª ronda de encuesta a expertos, según preguntas.

Preguntas	Min.	Q1	Med.	Q3	Máx.	Media	S	C.V.
1	20	60	80	90	90	71	23,69	33,31%
2	50	80	80	90	99	80	16,14	20,06%
3	30	70	85	95	100	78	23,77	30,65%
4	20	60	80	90	95	70	27,50	39,29%
5	10	75	90	90	95	72	32,69	45,62%
6	70	80	80	90	97	82	9,08	11,02%
7	60	70	85	95	98	83	13,80	16,65%
8	40	80	95	99	100	85	19,74	23,13%
9	40	80	80	95	98	81	18,12	22,34%
10	60	80	85	95	99	84	15,14	18,00%
11	70	90	95	99	100	91	10,03	11,04%

Las respuestas entregadas por los expertos del panel en la segunda ronda de preguntas de la encuesta se detallan en el Cuadro N° 3, y los resultados de la descripción estadística de éstas, en el Cuadro N° 4.

Los resultados de la segunda ronda demuestran que se logró reducir la dispersión en cada una de las respuestas y llegar, por lo tanto, a consenso en la determinación de los parámetros consultados, los que son representados por el valor de las medias.

Cuadro Nº 3: Respuestas de la 2ª ronda de encuesta a expertos, por expertos, según preguntas.

Preguntas	Expertos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	71	50	71	71	80	71	71	90	90
2	80	80	80	80	80	80	80	80	95
3	78	60	78	78	90	78	78	100	95
4	70	50	70	70	85	70	70	90	85
5	72	50	72	72	85	72	72	80	72
6	82	82	82	82	90	82	82	70	97
7	83	70	83	83	80	83	83	83	98
8	85	60	85	85	85	85	85	90	99
9	81	81	81	81	95	81	81	70	97
10	84	70	84	84	95	84	84	80	98
11	91	91	91	91	95	91	91	91	99

Cuadro Nº 4: Descripción estadística de la 2ª ronda de encuesta a expertos, según preguntas.

Preguntas	Min.	Q1	Med.	Q3	Máx.	Media	S	C.V.
1	50	71	71	80	90	74	12,09	16,36%
2	80	80	80	80	95	82	5,00	6,12%
3	60	78	78	90	100	82	11,83	14,49%
4	50	70	70	85	90	73	11,99	16,35%
5	50	72	72	72	85	72	9,47	13,17%
6	70	82	82	82	97	83	7,24	8,70%
7	70	83	83	83	98	83	7,10	8,56%
8	60	85	85	85	99	84	10,26	12,16%
9	70	81	81	81	97	83	8,16	9,82%
10	70	84	84	84	98	85	8,09	9,54%
11	91	91	91	91	99	92	2,83	3,06%

5.1.2. Simulaciones de brotes de FA

Tras realizar las simulaciones computacionales para ambos escenarios, se emplearon los resultados correspondientes a las variables duración en semanas y número de brotes reportados, con el fin de presentar descripciones estadísticas y distribuciones de frecuencias de ellos.

5.1.2.1. Escenario sin vacunación

El Cuadro N° 5 presenta una descripción estadística de los resultados de las 10.000 simulaciones de brotes de FA del escenario sin vacunación. Resulta interesante notar que el valor de la media aritmética de ambas variables es bastante reducido, lo que indica que bajo las condiciones establecidas en este escenario, las epidemias de FA tendrían una duración relativamente corta (3,89 semanas) en promedio, afectando a un número igualmente menor de predios (4,46).

Cuadro N° 5: Descripción estadística de las simulaciones de brotes de FA para el escenario sin vacunación, según variables.

Variables	Min.	Q1	Med.	Q3	Máx.	Media	S	C.V.
Duración	0	1	3	5	26	3,89	3,10	79,5%
N° brotes	0	1	2	6	59	4,46	5,23	117,2%

Las distribuciones de frecuencias para las variables duración y número de brotes reportados están representadas en los Gráficos N° 1 y N° 2 respectivamente. Mediante la observación de estos gráficos, se percibe una tendencia a la concentración de datos hacia la izquierda, lo que posteriormente

fue confirmado mediante el cálculo del coeficiente de asimetría con respecto a la media.

Los valores resultantes de este cálculo (duración: 1,49; N° de brotes: 2,97), evidencian que estas distribuciones se caracterizan por ser asimétricamente positivas, es decir, una mayor cantidad de datos se aglomeran bajo el valor de la media.

Gráfico N° 1: Simulaciones de brotes de FA según duración en semanas para el escenario sin vacunación.

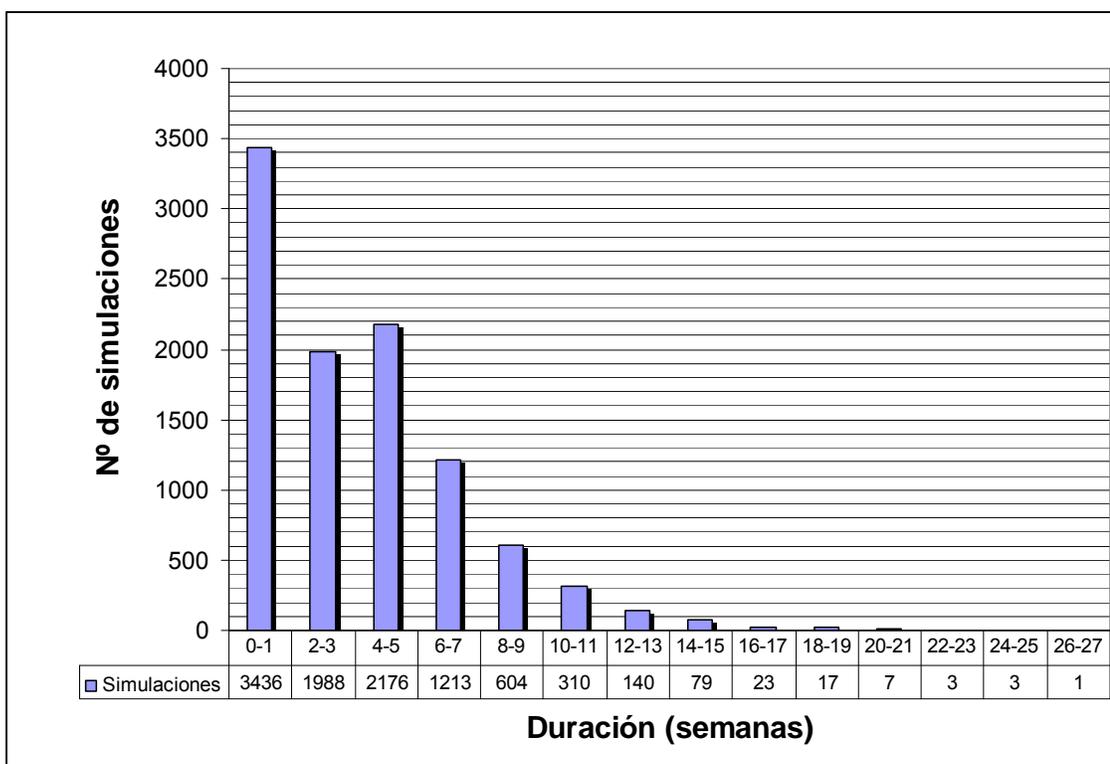
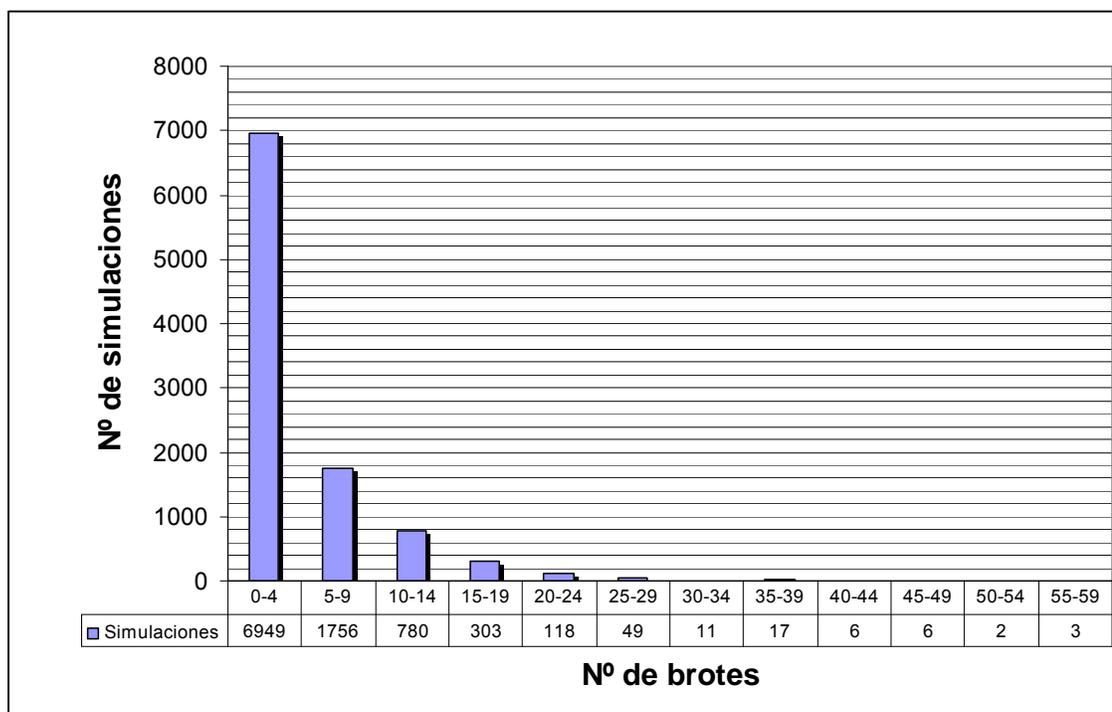


Gráfico N° 2: Simulaciones de brotes de FA según número de brotes reportados para el escenario sin vacunación.



5.1.2.2. Escenario con vacunación

Los resultados de las simulaciones para el escenario con vacunación se resumen en el Cuadro N° 6. Al igual que para el escenario anterior, una característica importante es el bajo valor que toma la media aritmética para las variables duración en semanas y número de brotes reportados. En este caso, la duración de las epidemias simuladas sería en promedio 3,66 semanas, en tanto que se verían afectados 4,32 predios.

Cuadro N° 6: Descripción estadística de las simulaciones de brotes de FA para el escenario con vacunación, según variables.

Variables	Mín.	Q1	Med.	Q3	Máx.	Media	S	C.V.
Duración	0	1	3	5	20	3,66	2,58	70,5%
N° brotes	0	1	2	5	59	4,32	5,03	116,3%

Los Gráficos N° 3 y N° 4 representan las distribuciones de frecuencias de las variables bajo estudio para el escenario con vacunación. En estos gráficos se repite la tendencia al sesgo hacia la izquierda observada en el primer escenario (Ver punto 5.1.2.1).

El valor del coeficiente de asimetría calculado para las variables duración y número de brotes (0,94 y 3,03 respectivamente), confirma la asimetría positiva de sus distribuciones, tal como ocurrió con el escenario sin vacunación.

Gráfico Nº 3: Simulaciones de brotes de FA según duración en semanas para el escenario con vacunación.

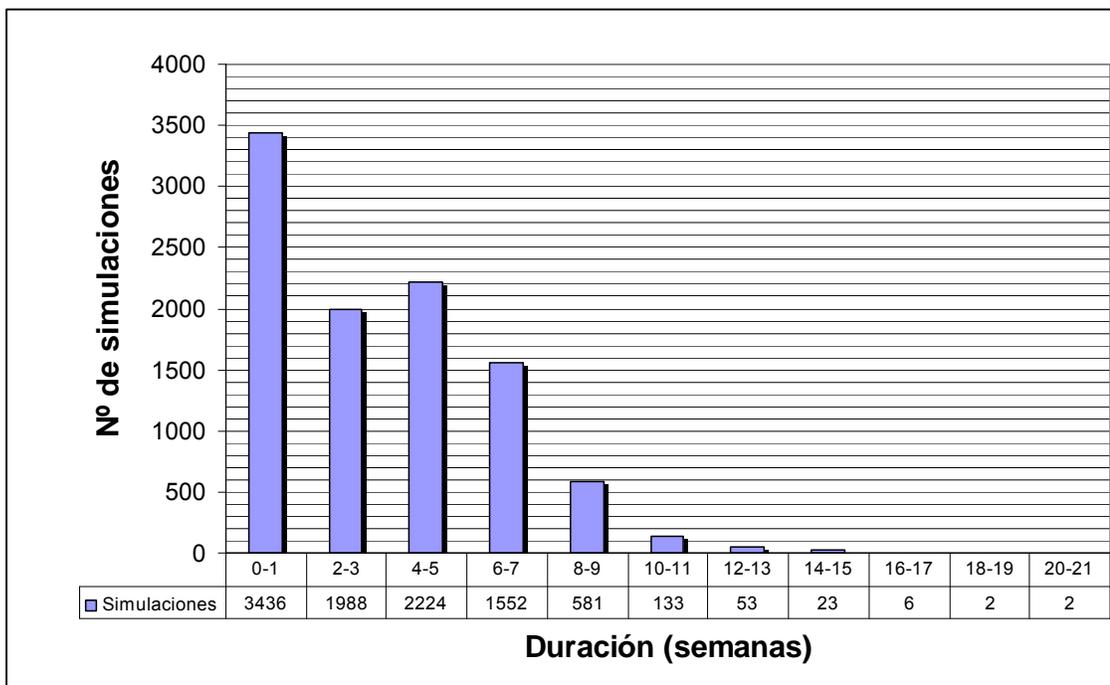
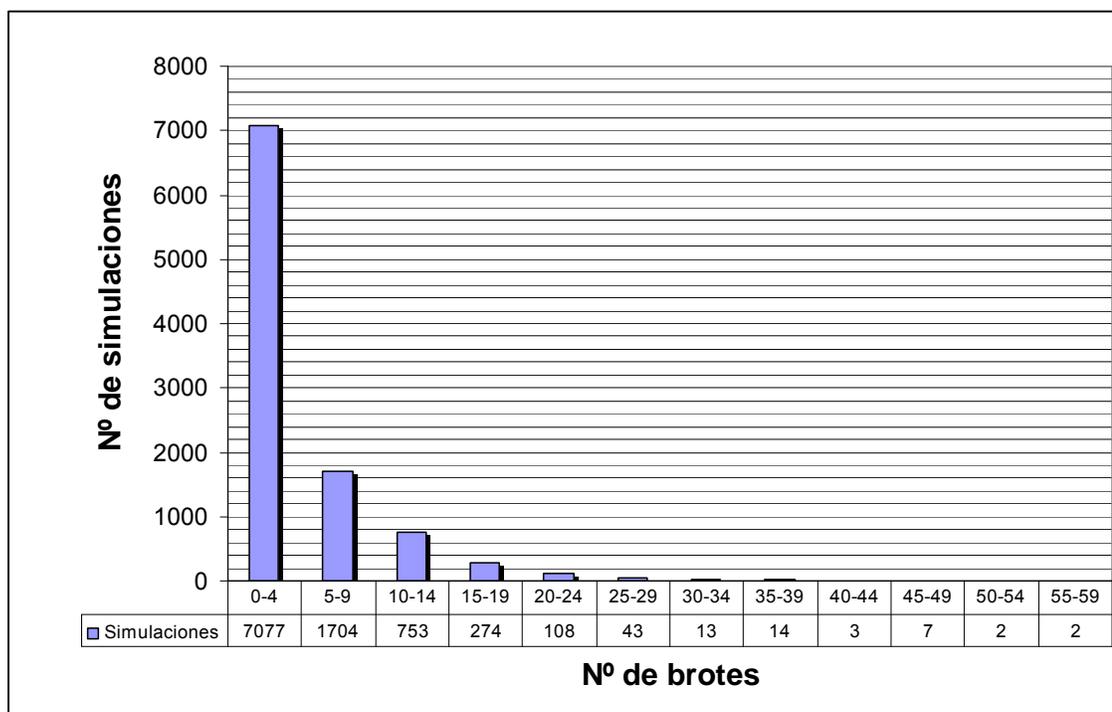


Gráfico N° 4: Simulaciones de brotes de FA según número de brotes reportados para el escenario con vacunación.



5.1.3. Análisis Estadístico de los Resultados

En el punto 5.1.2 se pudo evidenciar que los escenarios bajo estudio difieren entre ellos en los valores promedio de duración y número de brotes reportados de las simulaciones, siendo ambos valores menores para el escenario con vacunación (Ver Cuadro N° 7). Como se explicó en el punto 4.2.1.4, previo a determinar si estas diferencias tienen significancia estadística, se aplicó la Prueba de Bondad del Ajuste a las distribuciones de los datos de las dos variables para ambos escenarios.

Cuadro N° 7: Valores promedio de simulaciones de brotes de FA por escenarios, según variables.

Variables	Escenarios	
	s/vac.	c/vac.
Duración	3,89	3,66
N° brotes	4,46	4,32

5.1.3.1. Prueba de Bondad del Ajuste

El desarrollo de la Prueba de Bondad del Ajuste para las cuatro distribuciones de datos se encuentra en el Anexo N° 4. De acuerdo a los resultados ahí detallados, se puede concluir que, con un nivel de significancia de 0,01, las cuatro hipótesis nulas fueron rechazadas, es decir, las distribuciones de los datos de las variables duración en semanas y número de brotes reportados para los escenarios sin vacunación y con vacunación, no se ajustan a una distribución normal teórica.

Por lo tanto, se resuelve que la prueba de elección para la determinación de diferencias entre los escenarios es la Prueba de Wilcoxon para rangos con signos de pares comparados.

5.1.3.2. Prueba de Wilcoxon para rangos con signos de pares comparados

Los resultados de las Pruebas de Wilcoxon realizadas demuestran que con un nivel de significancia de 0,01, existen diferencias estadísticas tanto en la duración como en el número de brotes reportados de las simulaciones de FA, entre los dos escenarios estudiados (Ver Anexo N° 5).

5.2. Evaluación del Impacto Económico

5.2.1. Identificación de Costos

Los costos asociados a la presentación de un brote de FA en Chile fueron identificados y agrupados en tres categorías. Para efectos de este estudio, se tomó en cuenta los costos de mayor relevancia económica, y directamente relacionados con el sector ganadero, excluyéndose costos sociales, ambientales y efectos indirectos en otras áreas de la economía nacional.

5.2.1.1. Costos Operacionales

Se incluye en este punto aquellos costos involucrados en las labores de vigilancia, control y erradicación de la enfermedad, una vez que ésta ha sido detectada dentro del territorio nacional. Se asume que las estrategias a ser utilizadas con el fin de contener y eliminar la FA serán las establecidas en el

“Manual de Contingencia para Fiebre Aftosa” publicado por el Servicio Agrícola y Ganadero, las cuales se basan, a su vez, en las directrices contenidas en el “Código Sanitario para los Animales Terrestres” de la OIE. Tanto la implementación de las medidas, como los costos que estas conllevan son asumidos por el sector público, a través del Servicio Agrícola y Ganadero del Ministerio de Agricultura.

Los costos operacionales se detallan a continuación.

- Personal para emergencia:
 - Médicos Veterinarios
 - Técnicos Agrícolas
 - Administrativos
 - Técnicos Computacionales

- Personal de planta:
 - Viáticos
 - Horas extraordinarias

- Bienes y servicios de consumo:
 - Combustible
 - Material de oficina
 - Alimento
 - Insumos químicos
 - Mantenimiento y reparación de equipos
 - Arriendo de vehículos terrestres y aéreos
 - Publicidad y difusión
 - Servicio de impresión

- Inversión:
 - Equipos de laboratorio
 - Vehículos
 - Maquinaria de desinfección

En el caso del escenario con vacunación, además de los costos operacionales propiamente tales, se debió considerar el costo de las vacunas antiaftosa (no se incluye el costo de la línea de frío).

5.2.1.2. Indemnizaciones

La categoría de indemnizaciones contempla los costos relativos al pago compensatorio a los productores por la eliminación de animales, como consecuencia de la aplicación del sacrificio sanitario. Esto incluye a aquellos animales en los cuales se ha confirmado la presencia de FA, así como, también, a la totalidad de los animales susceptibles expuestos o contactos, dentro de un área con un radio de 3 km desde los focos detectados. Este costo es asumido por el Estado, bajo el marco legal correspondiente, el cual se debe tener actualizado al momento de la emergencia.

5.2.1.3. Restricciones de Comercio

Estas pérdidas económicas se originan como consecuencia del cierre de los mercados internacionales hacia los cuales Chile exporta productos pecuarios.

Frente a la notificación oficial de la aparición de FA, los socios comerciales podrán prohibir el ingreso de animales, productos y subproductos de origen animal provenientes de Chile, hasta que se vuelva a recuperar el estatus de país libre. El plazo que deberá transcurrir para lograr lo anterior, dependerá de la estrategia elegida para combatir la infección. Durante el período en el cual existan estas restricciones, los animales y productos que no hayan sido eliminados podrán ser comercializados dentro del territorio nacional, pero a precios menores que los internacionales, generándose pérdidas para los productores por el concepto de utilidades no percibidas.

5.2.2. Valorización Económica de Costos

Como se mencionó en el punto 4.2.2.2, los costos identificados fueron expresados en valor por unidad de tiempo o por animal.

5.2.2.1. Costos Operacionales

Los costos operacionales del brote de FA del año 1987 fueron de \$573.330.000 pesos chilenos del mes de enero del año 1988 (Cancino, 1988). Este valor actualizado al mes de diciembre del año 2008 se eleva a \$2.999.745.453 pesos chilenos.

Por lo tanto, el valor calculado para los costos operacionales por unidad de tiempo es de **\$135.472.375 pesos chilenos**.

El valor por dosis de vacuna antiaftosa fue calculado en US\$0,56, equivalentes a **\$336 pesos chilenos** (US\$1= \$600 pesos chilenos).

5.2.2.2. Indemnizaciones

En el Cuadro N° 8 se detalla la existencia de animales susceptibles e indemnizables en las regiones bajo estudio, y el porcentaje que estas especies constituyen del total de la población. Dentro de éstas, los bovinos destacan por abarcar más del 50% del total, seguidos por ovinos y porcinos con una participación intermedia, en tanto, los caprinos representan el porcentaje menor.

Cuadro N° 8: Distribución y porcentaje de animales por especies, según regiones bajo estudio, en Chile, año 2007.

Regiones	Especies								Total
	Bovinos	%	Ovinos	%	Caprinos	%	Porcinos	%	
VII	258.228		155.129		40.122		93.445		546.924
VIII	449.401		173.735		47.319		179.806		850.261
IX	668.140		277.884		50.810		199.631		1.196.465
Total	1.375.769	53,04	606.748	23,39	138.251	5,33	472.882	18,23	2.593.650

Fuente: INE, 2008.

En el Cuadro N° 9 se presentan los resultados del cálculo del peso promedio en kilogramos por especie. En el Cuadro N° 10 se encuentran los datos utilizados para el cálculo del valor por unidad animal proporcional.

Cuadro N° 9: Número de animales beneficiados, toneladas de carne en vara y peso promedio de animales por especies, en Chile, año 2008.

	Especies			
	Bovinos	Ovinos	Caprinos	Porcinos
N° anim. benef.	1.004.773	796.010	1.253	5.220.277
Ton carne	240.257,24	11.039,95	16,61	522.422,53
Peso \bar{X} (kg)	239,12	13,87	13,25	100,08

Fuente: INE, 2008.

Cuadro N° 10: Peso promedio, precio por kilogramo, proporción del total de animales y valor proporcional de animales por especies, en Chile, año 2008.

	Especies				Total
	Bovinos	Ovinos	Caprinos	Porcinos	
Peso \bar{X} (kg)	239,12	13,87	13,25	100,08	
Precio kg (\$)	620,63	712,69	647,54	500,64	
Prop. especie	0,53	0,23	0,05	0,18	1
Valor prop. anim. (\$)	78.718,25	2.312,31	457,47	9.134,72	90.622,75

Fuentes: INE, 2008; ODEPA, 2008.

El valor resultante del cálculo correspondiente al concepto de indemnizaciones (sumatoria de los valores proporcionales de cada especie) es de **\$90.622,75 pesos chilenos** por unidad animal proporcional.

5.2.2.3. Restricciones de Comercio

En el Cuadro N° 11 se resume el valor de las exportaciones de productos pecuarios sujetos a restricción durante el año 2008, en miles de dólares.

Cuadro N° 11: Exportaciones de productos pecuarios por grupos en Chile, año 2008.

	Miles US\$ FOB
Bovinos	46.372,4
Ovinos	46.290,5
Caprinos	46,5
Porcinos	368.771,6
Lácteos	226.339,2
Total	687.820,2

Fuente: ODEPA, 2008.

Asumiendo una rentabilidad del 15% del valor de las exportaciones de los productos presentados en el Cuadro N° 11, las ganancias obtenidas durante el año 2008 ascienden a US\$103.173.030. El cuociente entre este valor y el número de semanas de un año es US\$1.978.660,85, equivalentes a **\$1.187.196.509,59 pesos chilenos** (US\$1 = \$600 pesos chilenos), lo que frente a un brote de FA corresponde al valor de pérdidas por ingresos no percibidos por unidad de tiempo.

5.2.3. Estimación del Impacto Económico

5.2.3.1. Costos Operacionales

La estimación del impacto económico correspondiente a costos operacionales se presenta en el Cuadro N° 12. El valor de los costos operacionales por unidad de tiempo que se utilizó en este cálculo fue de \$135.472.375 pesos chilenos (Ver punto 5.2.2.1). El número de dosis de

vacunas antiaftosa determinado fue de 2.074.920 para el escenario con vacunación.

Cuadro N° 12: Estimación del Impacto Económico de Costos Operacionales Totales por escenarios de simulaciones de FA.

	Escenarios	
	s/vac.	c/vac.
Duración (semanas)	3,89	3,66
Valor costos operacionales (\$)	526.987.538,75	495.828.892,50
Valor costo vacunas (\$)	0,00	697.173.120,00
Estimación Impacto Económico Costos Operacionales Totales (\$)	526.987.542,64	1.193.002.016,16

En el Cuadro N° 12 se evidencia que el valor de los costos operacionales resulta menor para el escenario con vacunación, esto debido a que éste presenta una duración promedio en semanas más corta que el escenario sin vacunación; sin embargo, al considerar el costo por concepto de vacunas, el costo total operacional para el escenario con vacunación supera ampliamente al del escenario sin vacunación.

5.2.3.2. Indemnizaciones

Como se mencionó en el punto 4.2.2.3.2, la estimación del impacto económico por pago de indemnizaciones requirió del cálculo del número de animales a ser sacrificados en cada escenario. Los Cuadros N° 13 y 14 resumen los datos y resultados de este proceso.

Cuadro N° 13: Número de animales por predio y número de predios por km², por regiones bajo estudio.

	Regiones			Total
	VII	VIII	IX	
Existencia ganado	546.924	850.261	1.196.465	2.593.650
N° explotaciones	19.667	37.532	45.878	103.077
Superficie (km ²)	30.296,1	37.068,7	31.842,3	99.207,1
N° anim. predio	27,81	22,65	26,08	25,16
N° predios km²	0,65	1,01	1,44	1,04

Fuente: INE, 2008.

Cuadro N° 14: Número de animales por área de sacrificio, por regiones bajo estudio.

	Regiones			Total
	VII	VIII	IX	
N° predios área sacrif.	18,35	28,62	40,73	29,37
N° anim. predio	27,81	22,65	26,08	25,16
N° anim. área sacrif.	510,35	648,44	1.062,24	739,09

Fuente: INE, 2008.

En el Cuadro N° 15 se encuentra la estimación de los costos por indemnizaciones en los dos escenarios estudiados. Los resultados indican que el valor correspondiente al escenario sin vacunación es mayor en comparación al escenario con vacunación. Esto se debe a que este último presenta un menor número promedio de brotes reportados en las simulaciones realizadas y, por lo tanto, el número de animales sujetos a sacrificio sanitario en este caso es menor.

Cuadro N° 15: Estimación del Impacto Económico de Indemnizaciones por escenarios de simulaciones de FA.

	Escenarios	
	s/vac.	c/vac.
N° brotes	4,46	4,32
N° anim. sacrif.	3.296,32	3.192,85
Valor unidad animal prop.(\$)	90.622,75	90.622,75
Estimación Impacto Económico Indemnizaciones (\$)	298.721.542,27	289.344.632,87

5.2.3.3. Restricciones de Comercio

A continuación se presenta la duración promedio de las emergencias simuladas y la duración del período de cierre de mercados para ambos escenarios, además del valor por unidad de este costo. Con estos datos se pudo obtener la estimación del impacto económico correspondiente a restricciones de comercio.

Cuadro N° 16: Estimación del Impacto Económico de Restricciones de Comercio por escenarios de simulaciones de FA.

	Escenarios	
	s/vac.	c/vac.
Duración (semanas)	3,89	3,66
Cierre mercados (semanas)	12,86	25,71
Valor costo restric. comerc./sem. (\$)	1.187.196.509,59	1.187.196.509,59
Estimación Impacto Económico Costos Restricciones de Comercio (\$)	19.882.149.545,61	34.873.049.471,70

En el Cuadro N° 16 se puede observar que el escenario con vacunación, a pesar de tener una duración menor en comparación con el escenario sin vacunación, presenta un valor considerablemente mayor de costos por

restricciones de comercio, debido a que el período en el cual los socios comerciales del país mantienen prohibición de importación de animales y productos pecuarios provenientes de Chile es mayor para este escenario.

5.2.3.4. Impacto Económico Total

En el Cuadro N° 17 se encuentra el valor de la estimación del impacto económico total para los escenarios sin vacunación y con vacunación. Al comparar ambos valores se evidencia que aquel correspondiente al segundo escenario es considerablemente mayor que el del primero (1,75 veces su valor). También se observa que los costos debido a restricciones de comercio son los que mayor porcentaje representan del total (96,01 y 95,92 respectivamente), y los que, a su vez, mayor diferencia presentan entre los escenarios.

Cuadro N° 17: Estimación del Impacto Económico Total por escenarios de simulaciones de FA.

	Escenarios			
	s/vac.	%	c/vac.	%
Estimación Impacto Económico Costos Operacionales Totales (\$)	526.987.542,64	2,54	1.193.002.016,16	3,28
Estimación Impacto Económico Indemnizaciones (\$)	298.721.542,27	1,44	289.344.632,87	0,80
Estimación Impacto Económico Restricciones de Comercio (\$)	19.882.149.545,61	96,01	34.873.049.471,70	95,92
Estimación Impacto Económico Total (\$)	20.707.858.630,51	100,00	36.355.396.120,73	100,00

Si bien los resultados de la evaluación epidemiológica (valores de duración y número de brotes reportados) fueron menores para el escenario con vacunación (Ver punto 5.1.3); luego de realizar la evaluación económica se

demonstró que esta estrategia de combate es menos eficiente, o menos conveniente, en términos económicos, que la estrategia de sacrificio sanitario sin aplicación de vacunas.

6. CONCLUSIONES

La reintroducción teórica del virus de la FA en Chile fue evaluada epidemiológica y económicamente bajo dos escenarios de estrategias de control diferentes, lográndose, así, el objetivo general de esta tesis de grado. La utilización de metodologías como la modelación de enfermedades y la simulación computacional de epidemias, permitió concluir que la estrategia de sacrificio sanitario más aplicación de vacunas presentó valores menores de duración en semanas (3,66) y número de brotes reportados (4,32), en comparación con la estrategia de sacrificio sanitario sin vacunación (3,89 y 4,46). Se demostró, además, que estas diferencias son estadísticamente significativas.

Sin embargo, tras realizar la estimación de los costos que la emergencia produciría bajo los dos escenarios teóricos, se afirmó la idea de que la elección de la estrategia de aplicar vacunas antiaftosa resulta menos eficiente, en términos económicos, que la estrategia de sacrificio sanitario sin esta medida. Mientras para el escenario con vacunación los costos estimados ascendieron a \$36.355.396.120,73 pesos chilenos, el valor de estos fue de \$20.707.858.630,51 para el escenario sin vacunación. En ambos casos, los mayores costos fueron representados por los ingresos no percibidos debido al cierre de los mercados internacionales (95,92 y 96,01% respectivamente).

La metodología desarrollada en este estudio demostró ser una herramienta útil en el proceso de toma de decisiones referentes a estrategias de combate a adoptar frente a una emergencia sanitaria de FA. Así mismo, se sugiere la utilización de la metodología presentada para la investigación de otras

enfermedades animales, regiones del país y/o escenarios de medidas de control.

Se recomienda un estudio más profundo, en el cual se incluyan costos indirectos e impactos sobre otros actores del proceso productivo, además de otros sectores de la economía.

7. BIBLIOGRAFÍA

- **AMASS, F.; PACHECO, J.; MASON, P.; SCHNEIDER, J.; ÁLVAREZ, R.; CLARK, L.; RAGLAND, D.** 2003. Procedures for preventing the transmisión of foot-and-mouth disease virus to pigs and sheep by personnel in contact with infected pigs. *The Veterinary Record* (153):137-140.
- **ASTIGARRAGA, E.** s.f. El Método Delphi. Universidad de Deusto. Donostia – San Sebastián, España.
- **BENNETT, R.; KITCHING, R.** 2000. Estimating the Costs Associated with Livestock Diseases - A Study of 30 Diseases of Livestock in Great Britain. **In:** Proceedings of the 9th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics. Breckenridge, CO, USA. 6th - 11th August 2000. 3 p.
- **BERGMANN, I.** 2003. Instrumentos diagnósticos para la vigilancia de la fiebre aftosa. **In:** Informe Final del Seminario Internacional El Uso de Herramientas Seroepidemiológicas y Viroológicas en la Vigilancia de la Fiebre Aftosa. 2003 Marzo 10-11, Santiago, Chile. PANAFTOSA-OPS/OMS. Río de Janeiro, Brasil. pp. 11-16.
- **CANCINO, R.** 1988. Erradicación del Brote de Fiebre Aftosa en Chile 1987. Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago, Chile. 68 p.
- **COMISIÓN PANAMÁ – ESTADOS UNIDOS PARA LA ERRADICACIÓN Y PREVENCIÓN DEL GUSANO BARRENADOR DEL GANADO (COPEG).** 2007. Hoja Informativa Sobre La Fiebre Aftosa. [en línea]. <<http://www.copeg.org/aftosa.html>> [consulta: 31-05-2007].
- **DE BENITO, J,; BALFAGÓN, P.; CORNEJO, L.** 2001. Fiebre Aftosa: 2001, el último brote europeo. *Enfermedades Emergentes* 3(2):60-69.

- **DONALDSON, A.** 2004. Clinical Signs of Foot-and-Mouth Disease. **In:** Sobrino, F.; Domingo, E. (Eds.). Foot and Mouth Disease Current Perspectives. Horizon Bioscience. Wymondham, Inglaterra. pp. 93-102.

- **EKBOIR, J.** 1999. Potential impact of foot-and-mouth disease in California: the role and contribution of animal health surveillance and monitoring services. University of California, Davis (citado por Paarlberg, P.; Lee, J.; Seitzinger, A. 2003. Potencial revenue impact of an outbreak of foot-and-mouth disease in the United States. Journal of the American Veterinary Medical Association 220 (7):988-992).

- **GARCÍA, Z.** 1990. Epidemiología Veterinaria y Salud Animal. Edit. Limusa. Ciudad de México, México. pp. 171 – 187 (citado por Verdugo, C. 2004. Evaluación del impacto económico de un brote de Influenza Aviar Altamente Patógena en plantales de producción avícola en Chile. Memoria Título Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. de Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. 117 p).

- **GERBIER, G.; BACRO, J.; POUILLOT, R.; DURAND, B.; MOUTOU, F.; CHADŒUF, J.** 2002. A point pattern model of the spread of foot-and-mouth disease. Preventive Veterinary Medicine (56):33-49.

- **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS.** 2008a. Índice de Precios al Consumidor - Series Estadísticas 1928 al 2008. [en línea]. <http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_precios/ipc/1928_2005/series_anteriores.php> [consulta: 30-11-2008].

- **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS.** 2008b. Censo Agropecuario 2007. [en línea]. <http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07.php> [consulta: 30-12-2008].

- **JALVINGH, A.; VONK NOORDEGRAAF, A.; NIELEN, M.; MAURICE, H.; DIJKHUIZEN, A.** 1998. Epidemiological and economic evaluation of disease control strategies using stochastic and spatial simulation: general framework and two applications. **In:** M.V. Thrusfield & Goodall (Eds.). Proceedings of SVEPM annual conference. Ennis, Ireland. 25-27 March 1998. pp. 86-99.

- **KEELING, M.** 2005. Models of foot-and-mouth disease. Proceedings of the Royal Society B. (272):1195-1202.

- **KITCHING, R.; HUTBER, A.; THRUSFIELD, M.** 2005. A review of foot-and-mouth disease with special consideration for the clinical and epidemiological factors relevant to predictive modelling of the disease. The Veterinary Journal (169):197-209.

- **KITCHING, R.** 2004. Diagnosis and Control of Foot-and-Mouth Disease. **In:** Sobrino, F.; Domingo, E. (Eds.). Foot and Mouth Disease Current Perspectives. Horizon Bioscience. Wymondham, Inglaterra. pp. 411-424.

- **LE GALL, F.** 2006. Consecuencias económicas y sociales de las enfermedades transmitidas por animales. [en línea]. <<http://go.worldbank.org/YRON1B9SX0>> [consulta: 11-08-2007].

- **LINSTONE, H.; TUROFF, M.** 2002. Introduction. **In:** The Delphi Method: Techniques and Applications. Murray Turoff and Harold A. Linstone. pp. 3-12.

- **MAHUL, O.; DURAND, B..** 2000. Simulated economic consequences of foot-and-mouth disease epidemics and their public control in France. Preventive Veterinary Medicine (47):23-38.

- **MARTIN, W.; MEEK A.; WILLEBERG, P.** 1997. Epidemiología teórica: análisis y modelización de sistemas. **In:** Epidemiología Veterinaria Principios y Métodos. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España. pp. 221-246.

- **MERCK & CO., INC.** 2006. The Merck Veterinary Manual. 9th ed. Merck & Co., Inc. New Jersey, USA. 2305 p.
- **MONTAÑO, J.; MATEOS, A.** 2001. Visión general de la fiebre aftosa. *Imagen Veterinaria* 1(4):21-29.
- **OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA).** 2008a. Beneficio nacional de animales por especie y tipo. [en línea]. <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servlet/contenidos.ServletDetallesSrc;jsessionid=F2C2FA1DDA921578893EE6219A2633DC?idcla=12&idn=1747>> [consulta: 10-01-2009].
- **OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA).** 2008b. Estadísticas y precios / Series de precios / Series combinadas. [en línea]. <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servlet/sistemas.precios.ServletPreciosSrc;jsessionid=09AE2A3955FF927EA04A52EF7E44B30F>> [consulta: 10-01-2009].
- **OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA).** 2008c. Estadísticas y precios / Comercio exterior / Avance por grupos de productos. [en línea]. <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servlet/sistemas.sice.av_grp_pro.ServletAvGrpProSrc;jsessionid=09AE2A3955FF927EA04A52EF7E44B30F> [consulta: 18-01-2009].
- **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO).** 2008a. Enfermedades vesiculares. [en línea]. <<http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/animal/aftosa/vesicula/>> [consulta: 29-04-2008].
- **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO).** 2008b. Fiebre Aftosa. [en línea]. <<http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/animal/aftosa/fa/>> [consulta: 29-04-2008].

- **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO).** 2001. Los efectos económicos de las plagas y enfermedades transfronterizas de los animales y las plantas. **In:** El Estado Mundial De La Agricultura y La Alimentación 2001. Grupo Editorial Dirección de Información de la FAO. Roma, Italia. pp. 198- 280.

- **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SANIDAD ANIMAL (OIE).** 2008a. Fiebre aftosa. [en línea]. <http://www.oie.int/esp/maladies/fiches/e_A010.htm> [consulta: 29-04-2008].

- **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SANIDAD ANIMAL (OIE).** 2008b. Fiebre Aftosa. **In:** Código Sanitario para los Animales Terrestres 2008. [en línea]. <http://www.oie.int/esp/normes/mcode/es_chapitre_1.8.5.htm> [consulta: 10-12-2008].

- **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SANIDAD ANIMAL (OIE).** 2007. La Fiebre aftosa. [en línea]. <http://www.oie.int/esp/info/es_fmd.htm> [consulta:10-07-2007].

- **PAARLBERG, P.; LEE, J.; SEITZINGER, A .** 2003. Potencial revenue impact of an outbreak of foot-and-mouth disease in the United States. Journal of the American Veterinary Medical Association 220(7):988-992.

- **RACANIELLO, V.** 2007. *Picornaviridae: The Viruses and Their Replication.* **In:** Fields Virology. 5th ed. Knipe and Howley Ed. Philadelphia, USA. v. 1. pp. 795-838.

- **ROJAS, H.; NARANJO, J.; GALLEGUILLOS, H.** 2003. Management of geographic risk in a country free of food and mouth disease without vaccination: The case of Chile. **In:** Proceedings of the 10th Symposium of the International Society for Veterinary Epidemiology and Economics: ISVEE. Viña del Mar, Chile. 17-23 noviembre 2003. ISVEE. pp. 643.

- **ROSERO, J.** 2002. Análisis de Riesgo de la Reintroducción del Virus de la Fiebre Aftosa en Chile, a través del pastoreo en los campos de veranada de la Provincia de Linares – VII Región. Tesis Magíster en Ciencias Animales y Veterinarias. Santiago, Chile. U. de Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. 118 p.

- **SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG).** 2007. Fiebre Aftosa: Signología Específica. [en línea].
<http://www.sag.gob.cl/portal/page?_pageid=133,2712965&_dad=portal&_schema=PORTAL> [consulta: 29-05-2007].

- **SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG).** 2006. Manual de contingencia para fiebre aftosa. [en línea].
<http://www.sag.gob.cl/pls/portal/docs/page/pg_sag_biblioteca/bibl_sanidad/bibli_sananimal/biblio_sanani_manuales/manual_contingencia_fa.pdf> [consulta: 14-09-2007].

- **SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG).** 2001. La fiebre aftosa está en el límite. Santiago, Chile. 16p.

- **SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD, INOCUIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA (SENASICA).** 2007. ¿Qué es la Fiebre Aftosa?. [en línea].
<http://senasicaw.senasica.sagarpa.gob.mx/portal/html/salud_animal/enfermedades_exoticas/Que_es_la_Fiebre_Aftosa.html> [consulta: 29-05-2007].

- **SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA (SENASA).** 2006. Fiebre Aftosa. [en línea].
<http://produccionbovina.com/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/infecciones/comun_varias_especies/18-aftosa.pdf> [consulta: 29-04-2008].

- **SCHOENBAUM, M.; DISNEY, W.** 2003. Modeling alternative mitigation strategies for a hypothetical outbreak of foot-and-mouth disease in the United States. Preventive Veterinary Medicine (58):25-52.

- **THE CENTER FOR FOOD SECURITY AND PUBLIC HEALTH (CFSPH) IOWA STATE UNIVERSITY.** 2007. Foot and Mouth Disease (FMD). [en línea].
<http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/foot_and_mouth_disease.pdf> [consulta: 29-05-2007].

- **THRUSFIELD, M.** 2005. Modelling. **In:** Veterinary Epidemiology. 3rd ed. Blackwell Science, Inc. Cambridge, UK. pp. 340-356.

8. ANEXOS

ANEXO Nº 1: ENCUESTA A GRUPO DE EXPERTOS 1

TESIS U. DE CHILE - PANEL DE EXPERTOS

En el marco del estudio de Tesis "**Evaluación Epidemiológica y del Impacto Económico de la Reintroducción del Virus de la Fiebre Aftosa en Chile**", del candidato Mario Algüerno Inostroza, para optar al grado académico de Magíster en Ciencias Animales y Veterinarias, Mención Medicina Preventiva Animal, de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile, usted ha sido seleccionado como experto en el tema, y por ende, se solicita su valiosa participación en el desarrollo de esta encuesta.

El objetivo de esta consulta a grupo de expertos es llegar a consenso en la definición de parámetros referentes a medidas de detección y control de la enfermedad.

La metodología de trabajo consta de la realización de dos rondas de preguntas. En la primera ronda se le consultará sobre la probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos, y en la segunda, se presentarán los resultados obtenidos y se le solicitará su opinión sobre éstos. Sus respuestas serán absolutamente confidenciales.

Adjunta se encuentra la encuesta y las instrucciones para responderla.

De antemano se agradece su colaboración en esta investigación.

ENCUESTA A GRUPO DE EXPERTOS "EVALUACIÓN EPIDEMIOLÓGICA Y DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LA REINTRODUCCIÓN DEL VIRUS DE LA FIEBRE AFTOSA EN CHILE"

A continuación Ud. encontrará once preguntas sobre la probabilidad de ocurrencia de eventos; ingrese en la casilla de la derecha el valor expresado en porcentaje (0 – 100%) estimado por usted, entendiendo que 0 es la probabilidad mínima y 100% la máxima. Una vez finalizado guarde sus respuestas y envíe el documento a xxxxxxxxxxxxxx@gmail.com

Declaración de casos sospechosos	%
Cuando no existe o se desconoce la presencia de fiebre aftosa en el país, la probabilidad de que los casos sospechosos (con signos clínicos detectables) sean declarados por el productor	
Cuando se sabe de la presencia de fiebre aftosa en el país, la probabilidad de que los casos sospechosos (con signos clínicos detectables) sean declarados por el productor	
Investigaciones epidemiológicas	
La probabilidad de que un contacto sea identificado por las investigaciones epidemiológicas, si el contacto ha ocurrido a través de vínculos locales	
La probabilidad de que un contacto sea identificado por las investigaciones epidemiológicas, si el contacto ha ocurrido a través de vínculos regionales	
La probabilidad de que un contacto sea identificado por las investigaciones epidemiológicas, si el contacto ha ocurrido a través de vínculos inter-regionales	
Cuarentena	
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos locales sea evitado, si uno de los predios está bajo cuarentena	
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos regionales sea evitado, si uno de los predios está bajo cuarentena	
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos inter-regionales sea evitado, si uno de los predios está bajo cuarentena	
Restricción de movimiento	
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos locales sea evitado, si uno de los predios se encuentra dentro de una zona de restricción de movimiento y el otro se encuentra fuera	
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos regionales sea evitado, si uno de los predios se encuentra dentro de una zona de restricción de movimiento y el otro se encuentra fuera	
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos inter-regionales sea evitado, si uno de los predios se encuentra dentro de una zona de restricción de movimiento y el otro se encuentra fuera	

ANEXO N° 2: ENCUESTA A GRUPO DE EXPERTOS 2

TESIS U. DE CHILE - PANEL DE EXPERTOS 2

Estimado(a) Dr(a).:

Como recordará, usted fue seleccionado(a) como experto para participar en el estudio de Tesis "**Evaluación Epidemiológica y del Impacto Económico de la Reintroducción del Virus de la Fiebre Aftosa en Chile**", del candidato Mario Algüerno Inostroza, para optar al grado académico de Magíster en Ciencias Animales y Veterinarias de la Universidad de Chile.

En la primera ronda de preguntas usted fue consultado(a) sobre la probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos referentes a medidas de detección y control de la enfermedad. En esta **segunda ronda** se le presentarán los resultados obtenidos y se le solicitará su opinión sobre éstos, para así, poder llegar a consenso en la definición de estos parámetros.

Se le recuerda que sus respuestas serán absolutamente confidenciales.

Adjunta se encuentra la encuesta y las instrucciones para responderla.

Una vez más se agradece su colaboración en esta investigación

SEGUNDA RONDA DE PREGUNTAS

En la columna "**Media Grupal**" se presenta el valor de la **media o promedio grupal** obtenido de las respuestas entregadas por los expertos en la primera ronda. En la columna "**1ª ronda**" se muestran los valores dados por **Usted** en la primera ronda. En esta oportunidad se solicita su opinión con respecto a las **medias**: si estos valores le satisfacen, entregue la encuesta con la última columna en blanco y se tomarán los valores de las medias como sus respuestas para la segunda ronda. Por el contrario, si los valores de las medias no lo satisfacen, por favor llene la última columna "**2ª ronda**" con los valores que usted considere adecuados (puede repetir los valores de la 1ª ronda, o bien, entregar nuevos valores). Una vez finalizado guarde sus respuestas y envíe el documento a xxxxxxxxxxxx@gmail.com

Preguntas	Media Grupal	Usted	
		1ª ronda	2ª ronda
Declaración de casos sospechosos	%	%	%
Cuando no existe o se desconoce la presencia de fiebre aftosa en el país, la probabilidad de que los casos sospechosos (con signos clínicos detectables) sean declarados por el productor	71		
Cuando se sabe de la presencia de fiebre aftosa en el país, la probabilidad de que los casos sospechosos (con signos clínicos detectables) sean declarados por el productor	80		
Investigaciones epidemiológicas			
La probabilidad de que un contacto sea identificado por las investigaciones epidemiológicas, si el contacto ha ocurrido a través de vínculos locales	78		
La probabilidad de que un contacto sea identificado por las investigaciones epidemiológicas, si el contacto ha ocurrido a través de vínculos regionales	70		
La probabilidad de que un contacto sea identificado por las investigaciones epidemiológicas, si el contacto ha ocurrido a través de vínculos inter-regionales	72		
Cuarentena			
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos locales sea evitado, si uno de los predios está bajo cuarentena	82		
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos regionales sea evitado, si uno de los predios está bajo cuarentena	83		
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos inter-regionales sea evitado, si uno de los predios está bajo cuarentena	85		
Restricción de movimiento			
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos locales sea evitado, si uno de los predios se encuentra dentro de una zona de restricción de movimiento y el otro se encuentra fuera	81		
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos regionales sea evitado, si uno de los predios se encuentra dentro de una zona de restricción de movimiento y el otro se encuentra fuera	84		
La probabilidad de que un contacto a través de vínculos inter-regionales sea evitado, si uno de los predios se encuentra dentro de una zona de restricción de movimiento y el otro se encuentra fuera	91		

ANEXO Nº 3: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

Generales

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Retraso en la primera sospecha	Número de unidades de tiempo entre la aparición de los primeros signos de la enfermedad y el primer reporte de casos sospechosos por el productor (si el valor es 0, el retraso en la primera sospecha no es fijo, sino que depende de los parámetros de conciencia)	0	0-10
Duración de la simulación	Duración de las simulaciones (número de unidades de tiempo)	100	10-100
Primera región contaminada	Número de la región inicialmente contaminada	0	0-2
Mantener siempre la misma red de vínculos	Determina si todas las simulaciones en un escenario dado usarán los mismos vínculos entre predios (para cada predio, el conjunto de predios a los cuales podría transmitir la enfermedad serán idénticos en todas las simulaciones)	no	si/no
Mantener siempre los mismos contactos	Determina si todas las simulaciones en un escenario dado usarán los mismos contactos entre predios (si ocurre un contacto entre dos predios en una unidad de tiempo dada en una simulación dada, el mismo contacto ocurrirá en todas las otras simulaciones)	no	si/no
Mantener siempre el mismo brote primario	Determina si todas las simulaciones en un escenario dado usarán el mismo brote primario (el predio en el cual la enfermedad es introducida primero)	no	si/no
Mantener siempre las mismas dinámicas de la enfermedad	Determina si todas las simulaciones en un escenario dado usarán para cada predio las mismas dinámicas de la enfermedad (para cada simulación, en cada unidad de tiempo, un predio dado se encontrará siempre en el mismo estado de salud, tendrá el mismo nivel de contagiosidad, el mismo nivel de detectabilidad clínica y el mismo nivel de detectabilidad serológica)	no	si/no
Mantener siempre las mismas dinámicas de los productores	Determina si todas las simulaciones en un escenario dado usarán las mismas dinámicas de los productores (el retraso entre los primeros signos de la enfermedad y el reporte de casos sospechosos por el productor siempre será la misma, para cada predio en cada simulación)	no	si/no

Plan de acción

Detección

Pasiva

Conciencia

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Entre epidemias	Cuando se desconoce la presencia de la enfermedad en el país, la probabilidad de que los casos sospechosos sean reportados por el productor, si los signos clínicos son detectables en el predio	74%	0%-100%
Durante epidemias	Cuando se sabe de la presencia de la enfermedad en el país, la probabilidad de que los casos sospechosos sean reportados por el productor, si los signos clínicos son detectables en el predio	82%	0%-100%

Activa

Rastreo

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Usar rastreo	Determina si se realizan investigaciones epidemiológicas retrospectivas en los brotes reportados para identificar predios en riesgo de contacto ("predios rastreados")	si	si/no
Período investigado	Período en el cual se aplican las investigaciones epidemiológicas retrospectivas (número de unidades de tiempo)	3	0-5
Eficacia de las investigaciones epidemiológicas: vínculos locales	La eficacia de las investigaciones epidemiológicas para vínculos locales: la probabilidad de que un contacto sea identificado por las investigaciones epidemiológicas, si este ocurrió a través de este tipo de vínculo durante el período investigado	82%	0%-100%
Eficacia de las investigaciones epidemiológicas: vínculos regionales	La eficacia de las investigaciones epidemiológicas para vínculos regionales: la probabilidad de que un contacto sea identificado por las investigaciones epidemiológicas, si este ocurrió a través de este tipo de vínculo durante el período investigado	73%	0%-100%
Eficacia de las investigaciones epidemiológicas: vínculos inter-regionales	La eficacia de las investigaciones epidemiológicas para vínculos inter-regionales: la probabilidad de que un contacto sea identificado por las investigaciones epidemiológicas, si este ocurrió a través de este tipo de vínculo durante el período investigado	72%	0%-100%

Predios rastreados

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Duración de la vigilancia	Duración de la vigilancia en los predios rastreados (número de unidades de tiempo)	3	1-10
Perímetro de la cuarentena	Radio del área de cuarentena alrededor de los predios rastreados (Ninguno: sin área de cuarentena, 0: sólo el predio rastreado es puesto bajo cuarentena)	0	Ninguno, 0-30
Perímetro de la restricción	Radio del área de restricción alrededor de los predios rastreados (Ninguno: sin área de restricción, 0: sólo el predio rastreado es puesto bajo restricción)	0	Ninguno, 0-30

Área de vigilancia

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Usar área de vigilancia	Determina si se delimita un área de vigilancia alrededor de los brotes reportados	si	si/no
Duración de la vigilancia	Duración de la vigilancia para cada uno de los predios ubicados en el área de vigilancia (número de unidades de tiempo)	4	1-10
Radio del área de vigilancia	Radio del área de vigilancia (unidades arbitrarias)	10	0-30

Control

Medidas sanitarias

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Cuarentenar los predios sospechosos	Determina si los casos sospechosos son cuarentenados una vez que son reportados por el productor	si	si/no
Usar sacrificio sanitario	Determina si los brotes reportados son sacrificados	si	si/no
Usar cuarentena	Determina si se define un área de cuarentena alrededor de los brotes reportados	si	si/no
Definir un área de restricción	Determina si se define un área de restricción alrededor de los brotes reportados	si	si/no
Perímetro de la cuarentena	Radio del área de cuarentena (unidades arbitrarias)	3	0-30
Perímetro de la restricción	Radio del área de restricción (unidades arbitrarias)	10	0-30
Duración de la cuarentena/restricción	Cuando no se usa sacrificio, la duración de las medidas de cuarentena y restricción (número de unidades de tiempo)	4	0-10

Medidas médicas

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Usar vacunación	Determina si se instaure un anillo de vacunación de emergencia alrededor de los brotes reportados	no ^(*) ; si ^(?)	si/no
Radio del anillo de vacunación	Radio del área de vacunación (unidades arbitrarias)	ninguno ^(*) ; 50 ^(?)	0-50

Cuarentena

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Vínculos locales	La probabilidad de que un contacto a través de vínculos locales sea evitado, si uno de los predios está bajo cuarentena	83%	0%-100%
Vínculos regionales	La probabilidad de que un contacto a través de vínculos regionales sea evitado, si uno de los predios está bajo cuarentena	83%	0%-100%
Vínculos inter-regionales	La probabilidad de que un contacto a través de vínculos inter-regionales sea evitado, si uno de los predios está bajo cuarentena	84%	0%-100%

(^{*}): escenario sin vacunación

([?]): escenario con vacunación

Restricción de movimiento

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Vínculos locales	La probabilidad de que un contacto a través de vínculos locales sea evitado, si uno de los predios se encuentra dentro de una zona de restricción de movimiento y el otro se encuentra fuera	83%	0-100%
Vínculos regionales	La probabilidad de que un contacto a través de vínculos regionales sea evitado, si uno de los predios se encuentra dentro de una zona de restricción de movimiento y el otro se encuentra fuera	85%	0%-100%
Vínculos inter-regionales	La probabilidad de que un contacto a través de vínculos inter-regionales sea evitado, si uno de los predios se encuentra dentro de una zona de restricción de movimiento y el otro se encuentra fuera	92%	0%-100%

Recursos humanos
Personal

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Estructura de SSA	Estructura de los servicios de salud animal (SSA)	Regional, especializada	Nacional, no especializada Nacional, especializada Regional, no especializada Regional, especializada
Capacidad de trabajo del equipo	Capacidad de trabajo del equipo SSA especificado (número de tareas elementarias que puede realizar el equipo especificado durante una unidad de tiempo) para las tres regiones	Detección: 28 Control: 7 Rastreo: 14 Vacunación: 1 ^(*) ; 28 ^(*)	1-250

Avanzados

Enfermedad

Estado de incubación

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Duración	Duración del estado de incubación (número de unidades de tiempo)	1	1-10

Estado de enfermo

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Duración	Duración del estado de enfermo (número de unidades de tiempo)	2	1-10
Infectividad	La capacidad de un predio en el estado de enfermo de contaminar otros predios si ocurre un contacto	90%	0%-100%
Detectabilidad clínica	La probabilidad de que un predio en el estado de enfermo evidencie signos clínicos detectables	100%	0%-100%
Detectabilidad serológica	La probabilidad de que un predio en el estado de enfermo presente serología positiva	10%	0%-100%
Tasa de transición al estado de latente	La probabilidad de que un predio en el estado de enfermo, al término de éste pase al estado de latente en la siguiente unidad de tiempo	100%	0%-100%
Tasa de transición al estado de muerto	La probabilidad de que un predio en el estado de enfermo, al término de éste pase al estado de muerto en la siguiente unidad de tiempo	0%	0%-100%
Tasa de transición al estado de inmune	La probabilidad de que un predio en el estado de enfermo, al término de éste pase al estado de inmune en la siguiente unidad de tiempo	0%	0%-100%

(*) : escenario sin vacunación

(**) : escenario con vacunación

Estado de latente

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Duración	Duración del estado de latente (número de unidades de tiempo)	10	1-10
Infectividad	La capacidad de un predio en el estado de latente de contaminar otros predios si ocurre un contacto	10%	0%-100%
Detectabilidad clínica	La probabilidad de que un predio en el estado de latente evidencie signos clínicos detectables	10%	0%-100%
Detectabilidad serológica	La probabilidad de que un predio en el estado de latente presente serología positiva	100%	0%-100%
Tasa de transición al estado de enfermo	La probabilidad de que un predio en el estado de latente, al término de éste pase al estado de enfermo en la siguiente unidad de tiempo	10%	0%-100%
Tasa de transición al estado de inmune	La probabilidad de que un predio en el estado de latente, al término de éste pase al estado de inmune en la siguiente unidad de tiempo	60%	0%-100%

Estado de vacunado

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Duración	Duración del estado de vacunado (número de unidades de tiempo)	2	1-10

Población animal

Predios

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Número de predios	Número de predios en la región 1	19667	100-50000
	Número de predios en la región 2	37532	100-50000
	Número de predios en la región 3	45878	100-50000
Distancia entre predios	Distancia (en unidades arbitrarias) entre dos predios vecinos en la región 1	1.69	0.05-2
	Distancia (en unidades arbitrarias) entre dos predios vecinos en la región 2	1.52	0.05-2
	Distancia (en unidades arbitrarias) entre dos predios vecinos en la región 3	0.89	0.05-2

Vínculos

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Número de vínculos	Número de vínculos por predio en cada región	10	2-20
Vínculos regionales	La probabilidad de que un vínculo dado, para cada región, sea un vínculo regional	15%	0%-100%
Vínculos inter-regionales	La probabilidad de que un vínculo dado, para cada región, sea un vínculo inter-regional	1%	0%-100%

Contactos

Parámetro	Descripción	Valor	Rango
Vínculos locales	La probabilidad de que para un vínculo local dado ocurra un contacto en una unidad de tiempo dada	50%	0%-100%
Vínculos regionales	La probabilidad de que para un vínculo regional dado ocurra un contacto en una unidad de tiempo dada	25%	0%-100%
Vínculos inter-regionales	La probabilidad de que para un vínculo inter-regional dado ocurra un contacto en una unidad de tiempo dada	20%	0%-100%

ANEXO N° 4: PRUEBA DE BONDAD DEL AJUSTE

Variable duración, escenario sin vacunación

Formulación de hipótesis:

H_0 : existe ajuste entre la distribución observada y la distribución normal.

H_1 : no existe ajuste entre la distribución observada y la distribución normal.

$$\text{Estadígrafo: } \chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

Elección de nivel de significación y determinación de zona de rechazo de H_0 :

α : 0,01

G.L.: 11

RR: $\chi^2 \geq 24,72$

Cálculo del estadígrafo:

N: 10.000

media: 3,8931

desv. est.: 3,095

Interv. clase	Lím. inf.	Lím. sup.	Frec. abs.	Valor Típico		Prob. interv.	Frec. esp.	Valor χ^2
I			O	Z		p	E	(O-E) ² /E
1	0	1	3436	$-\infty$	-0,773206576	0,2206	2206	685,81
2	2	3	1988	-0,773206576	-0,127009947	0,2316	2316	46,45
3	4	5	2176	-0,127009947	0,519186682	0,2428	2428	26,15
4	6	7	1213	0,519186682	1,165383311	0,182	1820	202,44
5	8	9	604	1,165383311	1,81157994	0,0879	879	86,04
6	10	11	310	1,81157994	2,457776569	0,028	280	3,21
7	12	13	140	2,457776569	3,103973198	0,0061	61	102,31
8	14	15	79	3,103973198	3,750169827	0,0009	9	544,44
9	16	17	23	3,750169827	4,396366456	1E-04	1	484,00
10	18	19	17	4,396366456	5,042563085	0	0	0,00
11	20	21	7	5,042563085	5,688759714	0	0	0,00
12	22	23	3	5,688759714	6,334956343	0	0	0,00
13	24	25	3	6,334956343	6,981152972	0	0	0,00
14	26	27	1	6,981152972	$+\infty$	0	0	0,00
Total			10000			1	10000	2180,87

Decisión:

$\chi^2 = 2.180,87 \geq 24,72$. Se rechaza H_0 .

Interpretación:

La distribución de la duración de los brotes de FA para el escenario sin vacunación no se ajusta a la distribución normal.

Variable número de brotes, escenario sin vacunación

Formulación de hipótesis:

H_0 : existe ajuste entre la distribución observada y la distribución normal.

H_1 : no existe ajuste entre la distribución observada y la distribución normal.

$$\text{Estadígrafo: } \chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

Elección de nivel de significación y determinación de zona de rechazo de H_0 :

α : 0,01

G.L.: 9

RR: $\chi^2 \geq 21,67$

Cálculo del estadígrafo:

N: 10.000

media: 4,459

desv. est.: 5,2276

Interv. clase	Lím. inf.	Lím. sup.	Frec. abs.	Valor Típico		Prob. interv.	Frec. esp.	Valor Chi ²
I			O	Z		p	E	(O-E) ² /E
1	0	4	6949	$-\infty$	0,007843009	0,5	5000	759,72
2	5	9	1756	0,007843009	0,96430749	0,3315	3315	733,18
3	10	14	780	0,96430749	1,920771971	0,1411	1411	282,18
4	15	19	303	1,920771971	2,877236452	0,0253	253	9,88
5	20	24	118	2,877236452	3,833700934	0,002	20	480,20
6	25	29	49	3,833700934	4,790165415	1E-04	1	2304,00
7	30	34	11	4,790165415	5,746629896	0	0	0,00
8	35	39	17	5,746629896	6,703094377	0	0	0,00
9	40	44	6	6,703094377	7,659558858	0	0	0,00
10	45	49	6	7,659558858	8,616023339	0	0	0,00
11	50	54	2	8,616023339	9,572487821	0	0	0,00
12	55	59	3	9,572487821	$+\infty$	0	0	0,00
Total			10000			1	10000	4569,16

Decisión:

$\chi^2 = 4.569,16 \geq 21,67$. Se rechaza H_0 .

Interpretación:

La distribución del número de brotes de FA para el escenario sin vacunación no se ajusta a la distribución normal.

Variable duración, escenario con vacunación

Formulación de hipótesis:

H_0 : existe ajuste entre la distribución observada y la distribución normal.

H_1 : no existe ajuste entre la distribución observada y la distribución normal.

$$\text{Estadígrafo: } \chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

Elección de nivel de significación y determinación de zona de rechazo de H_0 :

α : 0,01

G.L.: 8

RR: $\chi^2 \geq 20,09$

Cálculo del estadígrafo:

N: 10.000

media: 3,6569

desv. est.: 2,5797

Interv. clase	Lím. inf.	Lím. sup.	Frec. abs.	Valor Típico		Prob. interv.	Frec. esp.	Valor Chi ²
I			O	Z		p	E	(O-E) ² /E
1	0	1	3436	$-\infty$	-0,836117804	0,2033	2033	968,23
2	2	3	1988	-0,836117804	-0,060821959	0,2728	2728	200,73
3	4	5	2224	-0,060821959	0,714473886	0,2851	2851	137,89
4	6	7	1552	0,714473886	1,48976973	0,1694	1694	11,90
5	8	9	581	1,48976973	2,265065575	0,0575	575	0,06
6	10	11	133	2,265065575	3,040361419	0,0107	107	6,32
7	12	13	53	3,040361419	3,815657264	0,0011	11	160,36
8	14	15	23	3,815657264	4,590953109	1E-04	1	484,00
9	16	17	6	4,590953109	5,366248953	0	0	0,00
10	18	19	2	5,366248953	6,141544798	0	0	0,00
11	20	21	2	6,141544798	$+\infty$	0	0	0,00
Total			10000				10000	1969,50

Decisión:

$\chi^2 = 1.969,50 \geq 20,09$. Se rechaza H_0 .

Interpretación:

La distribución de la duración de los brotes de FA para el escenario con vacunación no se ajusta a la distribución normal.

Variable número de brotes, escenario con vacunación

Formulación de hipótesis:

H_0 : existe ajuste entre la distribución observada y la distribución normal.

H_1 : no existe ajuste entre la distribución observada y la distribución normal.

$$\text{Estadígrafo: } \chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

Elección de nivel de significación y determinación de zona de rechazo de H_0 :

α : 0,01

G.L.: 9

RR: $\chi^2 \geq 21,67$

Cálculo del estadígrafo:

N: 10.000

media: 4,3196

desv. est.: 5,0255

Interv. clase	Lím. inf.	Lím. sup.	Frec. abs.	Valor Típico		Prob. interv.	Frec. esp.	Valor Chi ²
I			O	Z		p	E	(O-E) ² /E
1	0	4	7077	$-\infty$	0,03589669	0,512	5120	748,02
2	5	9	1704	0,03589669	1,030816045	0,3365	3365	819,89
3	10	14	753	1,030816045	2,0257354	0,1298	1298	228,83
4	15	19	274	2,0257354	3,020654754	0,0204	204	24,02
5	20	24	108	3,020654754	4,015574109	0,0013	13	694,23
6	25	29	43	4,015574109	5,010493464	0	0	0,00
7	30	34	13	5,010493464	6,005412818	0	0	0,00
8	35	39	14	6,005412818	7,000332173	0	0	0,00
9	40	44	3	7,000332173	7,995251527	0	0	0,00
10	45	49	7	7,995251527	8,990170882	0	0	0,00
11	50	54	2	8,990170882	9,985090237	0	0	0,00
12	55	59	2	9,985090237	$+\infty$	0	0	0,00
Total			10000			1	10000	2514,99

Decisión:

$\chi^2 = 2.514,99 \geq 21,67$. Se rechaza H_0 .

Interpretación:

La distribución del número de brotes de FA para el escenario con vacunación no se ajusta a la distribución normal.

ANEXO Nº 5: PRUEBA DE WILCOXON

Variable duración

Formulación de hipótesis:

H_0 : no existen diferencias significativas en la duración de los brotes de FA simulados entre los escenarios sin vacunación y con vacunación.

H_1 : existen diferencias significativas en la duración de los brotes de FA simulados entre los escenarios sin vacunación y con vacunación.

Estadígrafo:

$$Z = \frac{T(+)-\bar{X}T}{ST}$$

$T(+)$ = suma de los rangos con signo positivo

Elección de nivel de significación y determinación de zona de rechazo de H_0 :

α : 0,01

RR: $|Z| \geq 2,58$

Cálculo del estadígrafo:

$T(+)$ = 6.220

$|Z|$ = 21,58

Decisión:

$|Z| = 21,58 > 2,58$. Se rechaza H_0 .

Interpretación:

La duración de los brotes de FA simulados presenta diferencias significativas entre los escenarios sin vacunación y con vacunación.

Variable número de brotes

Formulación de hipótesis:

H_0 : no existen diferencias significativas en el número de brotes reportados de las simulaciones entre los escenarios sin vacunación y con vacunación.

H_1 : existen diferencias significativas en el número de brotes reportados de las simulaciones entre los escenarios sin vacunación y con vacunación.

Estadígrafo:

$$Z = \frac{T(+)-\bar{XT}}{ST}$$

T(+) = suma de los rangos con signo positivo

Elección de nivel de significación y determinación de zona de rechazo de H_0 :

α : 0,01

RR: $|Z| \geq 2,58$

Cálculo del estadígrafo:

T(+) = 6.461

$|Z| = 22,61$

Decisión:

$|Z| = 22,61 > 2,58$. Se rechaza H_0 .

Interpretación:

El número de brotes reportados de las simulaciones de FA presenta diferencias significativas entre los escenarios sin vacunación y con vacunación.