Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Medicina Veterinaria
Unidad de Posgrado

Desarrollo de un modelo de simulación estocástico para evaluar el costo de implementación de un programa de control de cólera porcino usando una vacuna recombinante contra cisticercosis porcina y cólera porcino

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Ciencias Veterinarias con mención en Salud Animal

AUTOR

Juan Fernando CALCINA ISIQUE

ASESOR

Dr. Armando GONZÁLEZ ZARIQUIEY

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Calcina J. Desarrollo de un modelo de simulación estocástico para evaluar el costo de implementación de un programa de control de cólera porcino usando una vacuna recombinante contra cisticercosis porcina y cólera porcino [Tesis de maestría]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Veterinaria, Unidad de Posgrado; 2021.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Juan Fernando Calcina Isique
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43331872
URL de ORCID	http://orcid.org/0000-0003-4464-3107
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Armando Emiliano González Zariquiey
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07330504
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1909-1873
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Mercy Gisela Ramírez Velásquez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10713781
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Néstor Gerardo Falcón Pérez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08679280
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Juan Anderson More Bayona
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	43316819
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	Armando Emiliano González Zariquiey
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	07330504
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.3.1.2. Sanidad Agropecuaria
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Perú, Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT), convenio de financiamiento Nº 022-2016-FONDECYT
Ubicación geográfica de la investigación	Laboratorio de Epidemiología y Economía Veterinaria, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Borja Latitud: -12.081068 Longitud: -76.986840
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2019 - 2021
URL de disciplinas OCDE	Ciencia veterinaria http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.03.01

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Medicina Veterinaria
UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MODALIDAD VIRTUAL PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN CIENCIAS VETERINARIAS CON MENCION EN SALUD ANIMAL

En la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, siendo las 10:00 horas del día lunes 16 de agosto del 2021, el Jurado Examinador de Tesis de Grado de Magíster, presidido por la Mg. Mercy Gisela Ramírez Velásquez y conformado por los siguientes miembros docentes: Mg. Néstor Gerardo Falcón Pérez, Dr. Juan Anderson More Bayona y el Dr. Armando Emiliano González Zariquiey (Asesor), se dio inicio a la sustentación oral y pública de la Tesis intitulada:

"Desarrollo de un modelo de simulación estocástico para evaluar el costo de implementación de un programa de control de cólera porcino usando una vacuna recombinante contra cisticercosis porcina y cólera porcino", presentado por el Bachiller:

JUAN FERNANDO CALCINA ISIQUE

Quien sustentó la Tesis para obtener el Grado Académico de Magíster y absolvió satisfactoriamente las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado y practicada la votación obtuvo la calificación de: QUINCE (15).

A continuación, el Presidente del Jurado recomendó a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria, proponga el otorgamiento del Grado Académico de Magíster en Ciencias Veterinarias con mención en Salud Animal, al Bachiller Juan Fernando Calcina Isique.

Siendo las 12: 30 horas del día lunes 16 de agosto de 2021, se dio por concluido el acto académico, suscribiéndose la presente Acta.

UNMSM Firmado digitalmente por RAMIREZ VELASQUEZ Mercy Gisela FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.08.2021 23:53:19 -05:00

…….
Mg. Mercy Gisela Ramírez Velásquez (P.A.D.E.)
Presidente

……..……..
Mg. Néstor Gerardo Falcón Pérez
Miembro externo

…….
Dr. Juan Anderson More Bayona
Miembro externo

UNMSM Firmado digitalmente por GONZALEZ ZARIQUIEY Armando Emiliano FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18.08.2021 18:23:59 -05:00

……..
Dr. Armando González Zariquiey (P.P.D.E.)
Miembro (Asesor)

UNMSM Firmado digitalmente por GAVIDIA CHUCAN Cesar Miguel FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 07.01.2022 15:06:50 -05:00

……
Dr. Cesar Miguel Gavidia Chucán (P.P.D.E.)
Director de la Unidad de Posgrado

INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

1. FACULTAD: **Medicina Veterinaria**

2. UNIDAD DE POSGRADO: **Medicina Veterinaria**

3. AUTORIDAD ACADÉMICA QUE EMITE EL INFORME DE ORIGINALIDAD: **Director UPG-FMV-UNMSM**

4. APELLIDOS Y NOMBRES DE LA AUTORIDAD ACADÉMICA: **Gavidia Chucán, César Miguel**

5. OPERADOR: **César Miguel Gavidia Chucán**

6. DOCUMENTO EVALUADO: **Desarrollo de un modelo de simulación estocástico para evaluar el costo de implementación de un programa de control de cólera porcino usando una vacuna recombinante contra cisticercosis porcina y cólera porcino.**

a. Proyecto de Tesis de Maestría [ ]

b. Proyecto de Tesis de Doctorado [ ]

c. Tesis de Doctorado [ ]

d. Tesis de Maestría [x]

e. Trabajo de Segunda Especialidad [ ]

f. Otros [ ]

7. AUTOR DEL DOCUMENTO: **Juan Fernando Calcina Isique**
8. FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO: **19 de febrero de 2021**

9. FECHA DE APLICACIÓN DEL PROGRAMA INFORMÁTICO DE SIMILITUDES: 22 **de febrero de 2021**

10. PROGRAMA UTILIZADO

a. Turnitin [x]

b. Ithenticate [ ]

c. Otro (especificar) ☐

11. CONFIGURACIÓN DEL PROGRAMA DETECTOR DE SIMILITUDES

a. Excluye textos entrecomillados [x]

b. Excluye bibliografía [x]

c. Excluye cadenas menores a 40 palabras [x]

d. Otro criterio (especificar) ☐

12. PORCENTAJE DE SIMILITUDES SEGÚN PROGRAMA DETECTOR DE SIMILITUES

03%

13. FUENTES ORIGINALES DE LAS SIMILITUDES ENCONTRADAS:
se adjunta reporte del programa

14. OBSERVACIONES:
Ninguna

15. CALIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

a. Documento cumple criterio de originalidad, sin observaciones [x]

b. Documento cumple criterio de originalidad, con observaciones ☐

c. Documento no cumple con criterio de originalidad. ☐

16. FECHA DEL INFORME
22 de febrero de 2021

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
UNIDAD DE POST-GRADO
DIRECCION
U.N.M.S.M.

Dr. César M. Gavidia Chucán
Director de la UPG

DEDICATORIA

A mi familia querida que con su paciencia y aliento me impulsan a mejorar cada día.

A mis padres Otilia y Fernando, mis hermanas Ofelia, Jeaneth y Carolin quienes me dieron el soporte para emprender mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Epidemiología y Economía Veterinaria de la Facultad de Medicina veterinaria de la UNMSM dirigidos por el Dr. Armando González, quienes me han forjado en emprender el grado académico de magister.

A la Dra. Linda Gallegos Chu y el Dr. Eloy Gonzáles Gustavson que apoyaron en elaborar las bases primordiales del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA iv

AGRADECIMIENTOS v

TABLA DE CONTENIDO vi

RESUMEN viii

ABSTRACT ix

LISTA DE CUADROS x

LISTA DE FIGURAS xi

LISTA DE ANEXOS xii

I. INTRODUCCIÓN 1

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 2

2.1. Economía en la salud animal 2

2.1.1. Análisis económico 3

2.1.2. Modelos matemáticos en análisis económico 4

2.1.3. Modelos estocásticos 5

2.1.4. Simulación de Montecarlo 5

2.2. Peste porcina clásica 6

2.2.1. Características del Virus 6

2.2.2. Características epidemiológicas 7

2.2.3. Situación Actual de la PPC 8

2.2.4. Impacto económico 9

2.2.5. Herramientas de control y erradicación 10

2.3. Cisticercosis porcina 11

2.3.1. Epidemiología 12

2.3.2. Impacto Económico 12

2.3.3. Herramientas de control y erradicación 13

III. MATERIALES Y MÉTODOS 15
3.1. Lugar de estudio 15
3.2. Descripción de escenarios 15
3.3. Eficacia de intervención 16
3.4. Componentes para el cálculo de costos 18
3.5. Elaboración fórmulas para determinar los costos 19
3.6. Búsqueda y distribución de insumos básicos 19
3.7. Población de estudio 20
3.8. Análisis de la información 20
IV. RESULTADOS 22
4.1. Eficacia de la vacunación frente a peste porcina clásica 22
4.2. Eficacia del control de cisticercosis porcina 23
4.3. Insumos básicos 24
4.4. Fórmulas para el cálculo de costos 26
4.5. Población de estudio 30
V. DISCUSIÓN 33
VI. CONCLUSIONES 38
VII. RECOMENDACIONES 39
VIII. LITERATURA CITADA 40
ANEXOS 48

RESUMEN

El presente estudio elaboró un modelo de simulación estocástico para evaluar el costo anual de tres programas de control de peste porcina clásica (PPC) y cisticercosis porcina: 1. Vacunación frente a Peste porcina Clásica con la vacuna comercial usada por el servicio veterinario oficial, 2. Vacunación frente a peste porcina clásica con la vacuna comercial y el uso de tres dosificaciones de oxfendazol al año (30mg/kg) y 3. Vacunación de cerdos con una vacuna recombinate con protección frente a cisticercosis porcina y PPC y el uso de oxfendazol, ambos productos en dos intervenciones por animal al año. La efectividad de las herramientas de control de PPC fueron evaluados mediante un modelo SIR determinístico y la eficacia de las estrategias de control de cisticercosis porcina se evaluaron con el modelo Cystisim. El modelo consideró insumos básicos como variables de entrada a los que se determinó el tipo de distribución según la información obtenida, los costos se evaluaron en base a los componentes principales de las estrategias: vacunación, oxfendazol, personal, entrenamiento y movilización social, Para evaluar los costos del modelo se usó la población porcina de la provincia de Ayabaca en Piura, zona endémica a PPC y cisticercosis porcina, el modelo se realizó con simulaciones de Montecarlo con 1000 iteraciones Los resultados muestran una eficiencia de las vacunas frente al control de PPC y una probabilidad mayor al 99% de eliminación de la cisticercosis, la estrategia 1 tuvo un costo promedio de S/ 192,725 + 13662, la estrategia 2: S/ 547,098 + 31,314 y la estrategia 3: S/ 791,717 + 52,127. El análisis de sensibilidad indica que el personal influye en las tres intervenciones, la movilización social influye en las estrategias 1 y 3 y el entrenamiento de personal en la estrategia 2.

Palabras clave: *cisticercosis,* peste porcina clásica, simulación estocástica

ABSTRACT

The present study developed a stochastic simulation model to evaluate the annual cost of three classical swine fever (CSF) and swine cysticercosis control programs: 1. Vaccination against Classic Swine Fever with the commercial vaccine used by the official veterinary service, 2 Vaccination against classical swine fever with the commercial vaccine and the use of three dosages of oxfendazole per year (30mg / kg) and 3. Vaccination of pigs with a recombinant vaccine with protection against swine cysticercosis and CSF and the use of oxfendazole, both products in two interventions per animal per year. The effectiveness of the CSF control tools were evaluated using a deterministic SIR model and the effectiveness of the porcine cysticercosis control strategies were evaluated with the Cystisim model. The model considered basic inputs as input variables to which the type of distribution was determined according to the information obtained, the costs were evaluated based on the main components of the strategies: vaccination, oxfendazole, personnel, training and social mobilization. The costs of the model were used in the swine population of the province of Ayabaca in Piura, an area endemic to CSF and swine cysticercosis. The model was performed with Montecarlo simulations with 1000 iterations. The results show an efficiency of the vaccines compared to the control of CSF and With a probability greater than 99% of elimination of cysticercosis, strategy 1 had an average cost of S / 192,725 $\pm$ 13662, strategy 2: S / 547,098 + 31,314 and strategy 3: S / 791,717 + 52,127. Sensitivity analysis indicates that staff influences all three interventions, social mobilization influences strategies 1 and 3, and staff training influences strategy 2.

Key words: *Taenia solium,* Classical Swine fever, stochastic simulation

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Lista de parámetros asumidos para determinar la efectividad de la vacuna. . 16

Cuadro 2. Componentes para evaluación de costos y sus características 19

Cuadro 3. Parámetros de entrada, códigos y valores asumidos en el modelo estocástico de simulación para el control de peste porcina clásica y cisticercosis porcina 25

Cuadro 4. Siglas y nombres de fórmulas y parámetros generados para un modelo estocástico que evalúa tres estrategias de intervención para el control de peste porcina clásica y cisticercosis porcina 26

Cuadro 5. Calculo final de Costos de tres estrategias de intervención para el control de peste porcina clásica y cisticercosis porcina 29

Cuadro 6. Costo anual de tres estrategias de control de peste porcina clásica y cisticercosis porcina en la provincia de Ayabaca. 30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estimación de proporción de Infectados en el tiempo con el uso de vacuna comercial elaborada en base a virus vivo modificado de cepa china y una vacuna recombinante para el control de la Peste Porcina Clásica (PPC). 23

Figura 2. Estimación de control de cisticercosis porcina usando dos estrategias de intervención. 24

Figura 3. Correlación de los diferentes componentes de costos anuales de tres estrategias de intervención para el control de peste porcina clásica y cisticercosis en la provincia de Ayabaca - Piura..... 31

Figura 4. Evaluación del costo Anual de tres estrategias de control de peste porcina clásica y cisticercosis en el distrito de Ayabaca. 32

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de fórmulas para cálculo de costos..... 48

Anexo 2. Distribución de frecuencias de costos de intervenciones..... 50

I. INTRODUCCIÓN

La producción porcina en el Perú es una actividad realizada en su gran mayoría por pequeños productores que se encuentran en diversas zonas del Perú, carecen de conocimientos sanitarios que les hacen susceptibles a la aparición de diversas enfermedades. El Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) viene desarrollando desde el año 2010 un programa de control y erradicación de enfermedades porcinas, con énfasis en el control de la peste porcina clásica o cólera porcina, enfermedad a la cual el Perú es endémica. Aunque los esfuerzos realizados por el SENASA aún no logran erradicar la enfermedad, se resalta la gran capacidad logística que posee y los valores de cobertura de animales que han llegados a coberturas del 100% en muchos distritos en intervención, esto sumado a los logros que ha tenido como entidad en declarar al país libre de muchas enfermedades priorizadas por la OIE como la fiebre Aftosa. Dentro de las características del pequeño productor porcino en zonas rurales del país se evidencia la presencia de la cisticercosis porcina, enfermedad zoonótica que genera problemas al poblador rural al mantener el ciclo aumentando la probabilidad de generar neurocisticercosis en humanos. Actualmente, la cisticercosis humana es una enfermedad desatendida en el país a pesar de disponer de herramientas eficientes de control de dicha enfermedad, las estrategias de control dirigidas al cerdo se han probado ser eficientes en el control de la cisticercosis. Disponer de una vacuna que confiera protección frente a peste porcina clásica y cisticercosis adicionando el uso de otras herramientas de control y la capacidad de cobertura del servicio veterinario oficial, podría constituir una alternativa viable para el control de esta enfermedad en áreas endémicas. Es necesario para ello, dilucidar cuál sería el costo de adicionar herramientas de control de cisticercosis porcina al programa de control de peste porcina clásica, por ello el presente estudio evalúa un modelo de simulación estocástico para evaluar los costos de intervención en peste porcina clásica y cisticercosis porcina.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Economía en la salud animal

La economía en salud animal es una disciplina que tiene como objetivo proporcionar un marco de conceptos, procedimientos y datos para respaldar el proceso de toma de decisiones en la optimización de la gestión en salud animal (Dijkhuizen y Morris, 1996). La combinación de disciplinas económicas y veterinarias es útil para medir los impactos de la enfermedad, las opciones disponibles para su control o tener una justificación objetiva para tomar una decisión, que puede abarcar desde un animal, un rebaño, la población animal de un país hasta niveles internacionales para el control de enfermedades (Dijkhuizen y Morris, 1996; Otte y Chilonda, 2000).

Ejemplos del uso de la economía en salud animal son los estudios retrospectivos que evalúan el impacto que ha generado un programa de control de una enfermedad o las consecuencias generadas por un brote de una enfermedad exótica en un país (Otter *et al.,* 2011); dentro de las directrices que la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) indica incluir en los estudios de análisis de riesgo para la importación de mercancías pecuarias, se encuentra la estimación del impacto económico del ingreso de una enfermedad consecuencia del posible ingreso de una mercancía contaminada al país importador (OIE, 2019a).

El creciente desarrollo de diversos sectores productivos dentro del rubro pecuario amerita que este disponga de herramientas que permitan una justificación

económica sólida para proponer acciones nuevas que busquen mejorar o salvaguardar la salud y producción animal, estas herramientas apoyarán en convencer a los potenciales financistas resaltando el impacto de la intervención propuesta sobre otras ideas (Otte y Chilonda, 2000).

2.1.1. Análisis económico

Un análisis económico trata de considerar valores que pueden variar en importancia según el punto de vista en que se enfoque; si consideramos un análisis desde un enfoque gubernamental, se pueden analizar factores que no necesariamente impliquen ganancias en términos monetarios, a diferencia de los análisis financieros que tratan únicamente de dinero y precios de mercado (Otte y Chilonda, 2000).

En el control de enfermedades, la evaluación económica clasifica las alternativas de control en orden de mérito, la finalidad es buscar la mínima intervención de control que genere un mayor beneficio y a su vez se equilibren con los costos necesarios para lograr esta mejora (Morris, 1999), aunque se usen datos imperfectos en muchos análisis, estos no necesariamente reducen el valor de los resultados (Morris, 1999; Otte y Chilonda, 2000).

Algunos elementos no pueden valorarse tan fácilmente en términos monetarios, por ejemplo: el menor riesgo de infección de enfermedades zoonóticas en el ser humano, la mayor capacidad de trabajo y transporte de cultivos por animales de producción, la mayor disponibilidad de animales con fines culturales, entre otros; sin embargo, en una evaluación económica se puede encontrar métodos para considerar los beneficios más importantes en el control de enfermedades (Anni *et al.,* 2016; Morris, 1999).

Los análisis económicos a niveles nacionales involucran el uso de diversas técnicas analíticas, los métodos de análisis económico empleados incluyen: presupuesto parcial, presupuesto empresarial, análisis de

decisiones, programación matemática, modelos de simulación, análisis de costo-beneficio (Dijkhuizen y Morris, 1996; Otte y Chilonda, 2000; Rushton, 2008). Los métodos de análisis de decisión, los análisis de costo beneficio, análisis matemáticos y los modelos de simulación son los más indicados para estudios a nivel de país, estos poseen características particulares de cada parámetro de respuesta (Morris, 1999; Rushton, 2008), estas técnicas al ser usadas solas o en combinación brindan un gran potencial de análisis en la toma de decisiones (Anni *et al.,* 2016; Bennett, 1992; Rushton, 2008).

2.1.2. Modelos matemáticos en análisis económico

Los modelos matemáticos se definen como un conjunto de ecuaciones para describir o simular una parte interrelacionada del mundo real bajo una determinada circunstancia (sistema), se pueden distinguir tres funciones amplias: (1) proporcionar una base objetiva para evaluar y asimilar la información disponible sobre el sistema, (2) detectar dónde falta o es inadecuado el conocimiento esencial del sistema, indicando las necesidades de investigación adicional, y (3) para ayudar en el control de gestión del sistema (Bennett, 1992; Dijkhuizen y Morris, 1996; El y Angara, 2009).

En economía de la salud animal, se incluye técnicas de simulación por computadora mediante la creación de un modelo matemático simplificado del sistema en consideración que luego puede manipularse mediante la modificación de las entradas para analizar un problema (Dijkhuizen y Morris, 1996). Este método es especialmente atractivo cuando la experimentación en la vida real sería imposible, costosa o perjudicial y para explorar estrategias que aún no se han aplicado (Bennett, 1992; Morris, 1999; Taylor, 2003).

No existe un consenso sobre los tipos de modelos que existen, en base al tiempo, se clasifican en modelos del tipo estático y dinámico; un modelo estático no contiene el tiempo como variable y, por lo tanto, no puede

simular el comportamiento de un sistema a lo largo del tiempo, a diferencia de un modelo dinámico (Dijkhuizen y Morris, 1996; Rushton, 2008).

Dentro de los modelos dinámicos se diferencian dos tipos de modelos: los modelos determinísticos realizan predicciones definitivas para las cantidades (como la producción de leche y el peso vivo), al contrario un modelo estocástico, contiene distribuciones de probabilidad para lidiar con la incertidumbre en el comportamiento de un sistema (Anni *et al.,* 2016; Dijkhuizen y Morris, 1996; Taylor, 2003).

2.1.3. Modelos estocásticos

Los modelos estocásticos incluyen la variabilidad y la incertidumbre, la característica realista importante de los modelos estocásticos es que, dada una sola intervención en un modelo se produce una gama de resultados posibles, que reflejan la influencia de los eventos fortuitos y la variabilidad de la naturaleza en el resultado final (Taylor, 2003).

Estas distribuciones se pueden usar directamente o mediante muestreo aleatorio; en este último caso, las ejecuciones repetidas del modelo son necesarias para proporcionar una idea de la variación en el resultado, a medida que el modelo se ejecuta durante varios períodos (Rushton, 2008).

2.1.4. Simulación de Montecarlo

La simulación de Monte Carlo es un modelo que se caracteriza por evaluar la ocurrencia y el momento de cada evento simulado en base a la casualidad, el modelo funciona creando una población inicial dentro del análisis que imita a la población de interés en todos los aspectos relevantes (Dijkhuizen y Morris, 1996). Este método parte de la suposición de que la variable que se desea modelar tiene una dinámica específica que se describe de acuerdo con algún proceso estocástico, en el cual los términos de error

son variables aleatorias con una distribución de probabilidad específica (Rodríguez Nava y Francisco, 2011).

Cada trayectoria simulada en este método proporciona una posible evolución de la variable partiendo de un periodo inicial y continuando con el número de periodos elegido, el valor del proceso en cada instante se obtiene recursivamente, es decir, tomando como base el valor del proceso obtenido en el periodo anterior (Rodríguez Nava y Francisco, 2011; Taylor, 2003)

Los números 'aleatorios' utilizados para generar el proceso son muestras en una distribución rectangular (o uniforme). Se denominan números pseudo aleatorios porque son producidos por la computadora como una cadena muy larga de números que eventualmente se repetirá, dichos valores se incorporan a la ecuación del proceso estocástico. (Rodríguez Barrios, 2004; Rodríguez Nava y Francisco, 2011; Taylor, 2003).

2.2. Peste porcina clásica

El virus de la peste porcina clásica (VPPC) es el agente causal de la enfermedad denominada colera porcino (CP) o peste porcina clásica (PPC) cuyo hospedero es el cerdo, esta enfermedad afecta a la porcicultura de diversos países alrededor del mundo ocasionando graves pérdidas económicas (Frías-Lepoureau, 2008). Es una de las seis enfermedades prioritarias, por la que la OIE reconoce un estatus sanitario y trabaja de manera conjunta con sus países miembros para reconocer zonas libres alrededor del mundo, bajo mandato en acuerdo con la Organización Mundial de Comercio – OMC (OIE, 2019b).

2.2.1. Características del Virus

La PPC forma parte del género pestivirus, familia Flaviviridae, un género que afecta a ungulados. Este género pertenece el virus de la

enfermedad de la frontera (EF) que afecta principalmente a ovejas, y el virus de la diarrea viral bovina (BVD) que afecta principalmente a bovinos. PPC, BVD y EF son los principales virus dentro de este género y están estrechamente relacionados (Kirkland *et al.,* 2012).

El VPPC es un virus de forma hexagonal con un núcleo de unos 30 nm de diámetro y una envoltura externa esférica de unos 40 – 60 nm de diámetro. El genoma consiste en una molécula linear simple de ARN de sentido positivo, de unos 12.3 kb la cual codifica una serie de proteínas estructurales y no estructurales (MacLachlan *et al.,* 2017).

Dentro de las proteínas estructurales tenemos a la proteína (C) la que es componente de la nucleocapside viral, la proteína E1, E2 y la proteína Erns. La proteína Erns está localizada en la superficie del virión como homodímero, y también es secretada al medio extracelular. Las proteínas E1 y E2 están presentes en la envoltura viral como heterodímero E1-E2, aunque la E2 se encuentra también en forma homodimérica (Brown y Bevins, 2018). La proteína E2 es la más inmunogénica del virus y junto con la Erns inducen anticuerpos neutralizantes. Existe una marcada variabilidad antigénica entre los distintos aislados de VPPC, probablemente asociada a determinadas regiones situadas en la zona N- terminal de la proteína E2, y también sobre E1 (Kirkland *et al.,* 2012).

Se han descrito al menos 7 u 8 proteínas no estructurales, la proteína Npro , P7, NS2, NS3, NS4A, NS4B, NS5A y NS5B, estas proteínas no estructurales tienen diversas funciones en el ciclo de replicación del virion, expresión de proteínas estructurales, regulación inmune entre otros (Blome, Christoph, *et al.,* 2017).

2.2.2. Características epidemiológicas

Si bien se define la ruta oronasal como vía principal de infección, también se describen otras vías de infección como la vía aerógena, semen,

otras especies e incluso personas se menciona como posibles transmisores mecánicos de la enfermedad. Se ha descrito que el VPPC es inactivado por solventes orgánicos (éter o cloroformo) y detergentes. El VPPC tiene una resistencia a condiciones ambientales frescos y húmedos, en heces puede sobrevivir desde dos semanas a 20°C hasta 6 semanas a 4°C, se mantiene estable a valores de Ph que oscilan entre 5-10.

Luego del ingreso del virus, ocurre una replicación inicial en las tonsilas, para ubicarse posteriormente en los nódulos linfáticos regionales y diseminarse vía sangre periférica a la médula ósea, linfonódulos viscerales, estructuras linfoides del intestino delgado y baso; la diseminación del virus ocurre en un periodo aproximado de 6 días (Blome, Christoph, *et al.,* 2017). El VPPC se replica en células monocito – macrófago y células vasculares endoteliales, ocasiona leucopenia y linfocitopenia, los anticuerpos neutralizantes no aparecen sino hasta las 2 – 3 semanas post infección.

Los diversos niveles de daños o signos de la enfermedad varían de acuerdo a la virulencia del virus, pudiendo presentarse con manifestaciones agudas, clínicas o crónicas; la forma de presentación también se ve influenciada por la edad del animal, estado inmunitario entre otros, haciendo difícil diferenciar claramente el tipo de cuadro presentado en los cerdos (OIE, 2009). Dentro de los signos clínicos presentados en la fase aguda incluyen anorexia, letargia, conjuntivitis, signos respiratorios, diarrea, en la fase crónica se pueden observar signos clínicos similares con un periodo de duración más largo que pude prolongarse hasta 2 – 3 meses otros signos clínicos inespecíficos incluyen hipertermia, enteritis crónica (Blome, Christoph, *et al.,* 2017).

2.2.3. Situación Actual de la PPC

La PPC se ha diseminado alrededor del mundo a lo largo del tiempo, países como EE.UU, Nueva Zelanda, Australia, algunos países europeos y

sudamericanos han logrado erradicarla de su territorio, en algunos países de Sudamérica, Europa, África y Asia la enfermedad es endémica (FAO, 2004; OIE, 2019b).

Nuestro país se ha reportado el primer ingreso de PPC a fines de 1948 en porcinos de Puno en las cercanías del Lago Titicaca; aunque se sospecha que el virus habría ingresado al Perú antes de 1948 y que el brote en Puno fue debido a la introducción del virus desde Bolivia donde se había producido una epizootia (Rivera, 1994). Actualmente la PPC es endémica en el Perú.

El Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) ha implementado desde el año 2010 actividades sanitarias para el control y erradicación de la PPC, dentro de estas actividades se encuentran la vacunación mediante campañas dirigidas a productores de crianza del tipo traspatio y familiar, también supervisa la vacunación de granjas tecnificadas realizada por la práctica privada (SENASA, 2010). El SENASA establece la obligatoriedad de la vacunación de PPC a nivel nacional, contando para ello con bases legales y reglamentación, estas acciones buscan a crear compartimentos, zonas libres y finalmente la erradicación (SENASA, 2011). Desde el inicio de las campañas de vacunación han ido aumentando el número de distritos a vacunar en el Perú y aumentado las coberturas de vacunación de estos; por ejemplo, en el año 2018 un 57.3% de los distritos en campaña realizaron coberturas de vacunación del 100% (Gómez-Vázquez *et al.,* 2019).

2.2.4. Impacto económico

La PPC ha tenido repercusiones económicas ya sea por las acciones implementadas para el control de la enfermedad en países endémicos o por el costo que implica la erradicación de brotes en países libres que han tenido reingreso de la enfermedad.

El brote registrado en Holanda entre los años 1997 – 1998 implicó la destrucción de unos 11 millones de cerdos y un costo aproximado de 2300 millones de dólares con consecuencias en la industria porcina y empresas relativas a esta industria entre 423 y 596 millones de dólares respectivamente (Meuwissen *et al.,* 1999). En el brote del año 1990 en Bélgica se estimaron unos gastos que ascienden a 196.7 millones de dólares (Saatkamp et al, 2000).

El brote de Reino Unido ocurrido en el año 2000 afectó 16 granjas las cuales fueron despobladas en su totalidad con un aproximado de 75000 cerdos sacrificados y una pérdida de 7.5 millones de dólares solo en el pago de animales sacrificados (DEFRA, 2010). El brote reciente de PPC en Japón en setiembre del año 2018 ha generado un total de 53 brotes hasta diciembre del 2019 con afecciones en cerdos domésticos y salvajes, una vacunación de unos 1.3 millones de cerdos de granjas comerciales (Coxon *et al.,* 2020), la pérdida del estatus sanitario de país libre de la peste porcina clásica frente a la OIE (OIE, 2018) y suspensión de los mercados internacionales de cerdos con otros países (CNA, 2018).

2.2.5. Herramientas de control y erradicación

Las vacunas de virus atenuados son vacunas muy eficaces y se han implementado en programas de control en varios países del mundo, los cuales usados junto a demás actividades sanitarias han tenido éxito en el control y erradicación de la enfermedad (Blome, Christoph, *et al.,* 2017).

La cepa china, una vacuna viva modificada (MLV) ha sido considerada como una de las vacunas más efectivas que proporciona protección clínica y virológica completa, es decir, inmunidad estéril, dentro de una semana de la vacunación y logra obtener efecto protector desde los 6 días después de la vacunación en cerdos (Suradhat *et al.,* 2007), el uso de esta vacuna ha tenido éxito en programas de erradicación, aunque aún es considerada una herramienta de valor para control de brotes, tiene la desventaja de que su

uso no permiten diferenciarse en campo de las infecciones naturales (Blome, Moß, *et al.,* 2017; OIE, 2009).

En el transcurso de los años se ha tratado de desarrollar un candidato a vacuna marcadora de próxima generación que responda idealmente a todas las demandas con respecto a la seguridad, la eficacia, el potencial comerciabilidad, se han investigado vacunas vectorizadas en el virus vaccinia, el virus de la seudorrabia o los adenovirus otras alternativas incluyen vacunas atenuadas recombinantes con construcciones quiméricas basadas en la glicoproteína E2 del VPPC (Feliziani *et al.,* 2014; Xia *et al.,* 2016). En la actualidad, están autorizadas dos vacunas con la subunidad E2 en la Unión Europea, y son las únicas disponibles en ese mercado (Blome, Moß, *et al.,* 2017).

2.3. Cisticercosis porcina

La cisticercosis porcina es una enfermedad que afecta al cerdo y es ocasionada por el *Cysticercus cellulosae*, el metacestodo o forma larvaria del parásito céstodo *Taenia solium* (*T. solium*), el ciclo de vida del céstodo incluye dos estadíos: la tenia adulta que vive en el intestino delgado del hombre, y la forma larval o cisticerco, usualmente localizado en la musculatura del cerdo (Willms *et al.,* 2006).

El ciclo de vida se inicia por la expulsión de huevos a través de las heces, estos huevos se liberan mediante proglotidos maduros de una tenia adula; los cerdos ingieren los huevos por el consumo directo de las heces o el consumo de huevos en el ambiente contaminado, los huevos ingeridos generan cisticercos que se ubican en la musculatura y sistema nervioso del cerdo, el ciclo se concluye cuando el humano ingiere la carne de cerdo contaminada por cisticercos y las tenias se alojan en el intestino del hospedador hasta su etapa madura donde continúan el ciclo al liberar proglotidos maduros, la transmisión se mantiene en áreas rurales donde los cerdos tienen acceso a heces humanas (Willms *et al.,* 2006; Del Brutto, 2014).

El cestodo puede afectar a los humanos por la ingesta de los huevos de la tenia ocasionando la cisticercosis en humanos, la infestación de los cestodos en el sistema nervioso central es llamada neurocisticercosis (Del Brutto, 2014). La neurocisticercosis es la mayor causa de epilepsia adquirida en el mundo, genera un impacto económico negativo por costos de hospitalización y pérdida de productividad en los pacientes afectados (Rajkotia *et al.,* 2007).

2.3.1. Epidemiología

La cisticercosis porcina y neurocisticercosis se encuentran distribuidos en varios países alrededor del mundo (Flisser *et al.,* 2003), en una revisión sistemática realizada por Coral-Almeida *et al*. (2015) con datos de los años 2008 – 2014, se encontraron valores de seroprevalencia de 21.63% en la República Democrática Popular del Congo (África), 5.71% en Vietnam (Asia); en américa latina se encontró valores que van hasta el 35.18% en Junín – Perú y 40% en Loja - Ecuador.

En el Perú las zonas en las que prevalece esta enfermedad parasitaria son las zonas de la costa y sierra del Perú (Garcia, 2001), en zonas hiperendémicas del Perú se encontró prevalencias de cisticercosis porcina de 20% hasta 72% (García *et al.,* 2003; Náquira, 2006) y en algunas zonas prevalencia la neurocisticercosis asintomática (Moyano *et al.,* 2016).

2.3.2. Impacto Económico

En un estudio realizado en la provincia del Cabo del Este por Carabin *et al*. (2006) mediante una evaluación económica, estimó gastos que llegan a 34.6 millones de dólares asociados a pacientes con neurocisticercosis; además, considera un estimado de 5 millones en pérdidas en el sector agricultura; en Tanzania se ha estimado en 15 millones de dólares el costo para el tratamiento de neurocisticercosis (Trevisan *et al.,* 2017). En países

asiáticos se ha estimado pérdidas que van desde los 11.2 hasta los 13.6 millones de dólares (Costello, 2013).

En América latina se estimaban pérdidas de 164 millones en 1990, en México se consideraba pérdidas de 68 millones con gastos de hasta 17 millones de dólares en tratamiento y 345 millones en pérdidas salariales ocasionadas por la neurocisticercosis (Murrell, 1991). En el 2019 en dicho país se estimaban pérdidas de 215 millones de dólares, asociados la atención de pacientes con cisticercosis, una pérdida adicional de 54 millones por pérdidas salariales del paciente y una pérdida de 19 millones debido a la cisticercosis porcina (Bhattarai *et al.,* 2019)

En un estudio realizado con pacientes con neurocisticercosis en Perú determinó que los costos de tratamiento y las pérdidas de productividad consumen el 54% de un salario mínimo anual durante el primer año de tratamiento y el 16% durante el segundo año; además, el diagnóstico (36%) y la terapia con medicamentos (27%) representan los mayores costos relacionados con la atención médica (Rajkotia *et al.,* 2007).

2.3.3. Herramientas de control y erradicación

Diversas estrategias para el control de la cisticercosis se han estudiado teniendo como base la interrupción del ciclo de *T. solium* (Garcia *et al.,* 2016), dentro de las herramientas disponibles se tienen las vacunas en porcinos, el tratamiento antiparasitario en humanos y las desparasitación de cerdos.

El uso de vacunas basadas en la proteína de la oncosfera de la *T. solium* (Tsol8), han sido probadas ser potenciales herramientas para el control de cisticercosis porcina al generar inmunidad frente a infecciones de campo (Flisser *et al.,* 2004; Lightowlers, 2010). La vacuna T sol18 ha sido usada en estudios en México, Camerún y Perú mostrando eficacias cercanas al 99% (Garcia *et al.,* 2010). La dificultad del uso de la vacuna T sol 18 es la

probable poca eficiencia en lechones por la presencia de anticuerpos maternos, como alternativa se sugiere que el uso de esta herramienta se haga en combinación con el tratamiento con oxfendazol (de Coster *et al.,* 2018).

El antiparasitario oxfendazol, la dosis de 30 mg/kg ha demostrado ser efectiva en el control de la fase larvaria en cerdos (Garcia *et al.,* 2016); la principal limitante del uso de esta droga es la dosis elevada respecto a la posología normal recomendada (5 mg/kg en cerdos); además, no existe recomendación oficial sobre el uso de esta u otra droga alternativa para combatir la cisticercosis porcina (WHO, 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

El procesamiento de datos se realizó en el Laboratorio de Epidemiología y Economía Veterinaria de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y tuvo un periodo de duración de tres meses.

3.2. Descripción de escenarios

En este estudio se desarrolla una herramienta de simulación estocástica para la evaluación de costos de control de PPC y cisticercosis porcina en el transcurso de un año, la herramienta evalúa los costos de intervenciones individuales o combinadas en base a las siguientes herramientas de control:

Vacuna comercial (VC) contra la peste porcina clásica: para ello se asume el uso de una vacuna elaborada en base a virus vivo modificado de cepa china lapinizada o atenuados en cultivo celular, las mismas que son utilizadas en el programa de control de PPC en el país (SENASA, 2010).

Vacuna recombinante (VR) con protección frente a PPC y cisticercosis porcina: se asume el uso de una VR que contiene los antígenos TSOL18 de *T. solium* y E2 de PPC, la cual se encuentra en etapa experimental (Comunicación personal, Lima, AE González, 2020). La vacuna propuesta en este estudio es una

vacuna que expresa los péptidos protectivos contra Cólera Porcino (E) y Cisticercosis porcina en una cepa apatógena de *Salmonella enteritidis*, la cual está en proceso de desarrollo, por lo cual se asumen características mínimas que debería cumplir dicha vacuna para poder ser utilizada en un contexto real

Antiparasitario antihelmíntico oxfendazol (OFZ): en la presentación comercial disponible en el país (Oxfendazol10% DEWORMA® Montana S.A., Perú) y administrado a dosis de 30 mg/kg vía oral (Gonzalez, *et al.,* 1998).

En base a estas herramientas de control se plantearon tres escenarios a ser evaluados en la herramienta de simulación estocástica:

Estrategia 1: Vacunación contra PPC, mediante el uso de la VC. Una vacunación anual por cerdo en campañas cuatrimestrales.

Estrategia 2: Vacunación contra PPC con VC y el uso de OFZ. Una vacuna al año por cerdo y tres dosificaciones de OFZ.

Estrategia 3: Vacunación con el uso de VR en dos dosis anuales y tratamiento con OFZ cada seis meses. Cuatro dosis de VR y dos dosificaciones con OFZ.

En todos los escenarios del modelo se asume que son elegibles solo cerdos ≥2 meses de edad.

3.3. Eficacia de intervención

Para evaluar la eficacia de las medidas de control para la PPC mediante vacunación se usó el modelo genérico determinístico epidemiológico Susceptibles-Infectados-Recuperados (SIR) desarrollado por Bitsouni *el at.,* (2019), dicho modelo considera características de la vacuna, características de la población y características de la enfermedad (Cuadro 1).

Cuadro 1: Lista de parámetros asumidos para determinar la efectividad de la vacuna.

Parámetros	Vacuna cepa china		Vacuna recombinante	
	Valor	**Fuente**	**Valor**	**Fuente**

1	Inicialmente infectados	1%	*	1%	*
	Cobertura de vacuna (p)	0.9	*	0.9	*
	Tasa de mortalidad	0.04	*	0.04	*
2	Inmunidad esterilizante inducida por vacuna	0.9	Suradhat *et al.,* (2007)	0.9	*
	Reducción de la infectividad del huésped inducida por la vacuna	0.9	Blome *et al.,* (2006)	0.8	*
	Aumento de la tasa de recuperación inducido por la vacuna	0.5	*	0.5	*
3	Velocidad de transmisión entre animales no vacunados	2.8	Backer *et al.,* (2009)	2.8	**
	Tasa de recuperación de animales no vacunados	0.067	Hone *et al.,* (1992)	0.067	**
	Tasa de mortalidad por enfermedad	0.2	OIE, (2009)	0.2	**
4	Tasa de reemplazo de animales no vacunados	0.036	Bitsouni *et al.,* (2019)	0.036	**
	Tasa de reemplazo de animales vacunados	0.004	*	0.004	*

(1) Parámetros de la población, (2) parámetros de la vacuna, (3) parámetros de la enfermedad, (4) parámetros del modelo. (*) Valores asumidos para las estrategias. (**) Valores obtenidos de la misma fuente de los valores asumidos para la vacuna comercial.

Dentro de los parámetros de la vacuna se considera la inmunidad esterilizante la que refiere a la capacidad de la vacuna de evitar la excreción virus, generado por la capacidad de los anticuerpos neutralizantes. En el presente estudio se consideró los parámetros recopilados por Suradhat *et al.,* (2007) para la VC. Los valores para la VR son asumidos similares en base a las observaciones realizadas por estudios previos realizados en vacunas recombinantes diseñadas en base la proteína E (Coronado *et al.,* 2021; Ganges *et al.,* 2020) la misma que debería tener la vacuna candidata.

Las variables de entrada para realizar el modelo fueron obtenidas en base a revisión bibliográfica y variables asumidas como características mínimas requeridas para una vacuna recombinante la cual asumimos similares a la VC (Sun *et al.,* 2011; Blome *et al.,* 2017; Blome *et al.,* 2012), el modelo consideró los parámetros requeridos para rebaños abiertos (ingreso constante de animales) y vacunación continua (todo animal que ingresa es vacunado) sugeridos por el autor (Bitsouni *et al.,* 2019). Como resultado el modelo determina el punto máximo de

proporción de infectados vacunados (Iv) e infectados no vacunados (In) en la población y el tiempo en que este se da.

Para evaluar la eficacia del control de la cisticercosis porcina se utilizó el modelo Cystisim (Braae *et al.,* 2016), un modelo estocástico basado en el agente para la transmisión y control de *T. solium* y cisticercosis porcina. El cual evalúa la eficacia de las medidas de intervención para el control de cisticercosis usando herramientas de control para humanos y cerdos en uso único o combinadas, dicha herramienta considera características de la población, propiedades de las herramientas usadas para el control de cisticercosis, parámetros biológicos del parásito, nieles de cobertura y edad de intervención mínima.

Los parámetros de entrada requeridos para evaluar las intervenciones frente a cisticercosis porcina fueron la eficacia (99% para cualquier herramienta de control: Oxfendazol y vacuna de uso simple o combinado), una cobertura de vacunación del 90%, una prevalencia basal de teniasis en humanos de 1%, una prevalencia de cisticercosis de 23%, además de considerar dos vacunaciones consecutivas por animal (refuerzo) según lo recomendado por los autores (Lightowlers, 2013). Las salidas que arroja el modelo es la probabilidad de eliminación Pr(elim) de la cisticercosis porcina según la estrategia planteada, para estimar dicha probabilidad se realizaron 1000 iteraciones, no se consideró estrategias en humanos, la estimación de las estrategias se hizo para un periodo de cinco años.

3.4. Componentes para el cálculo de costos

El cálculo de costos se basan en el estudio de Tago *et al.,* (2017) para desarrollar la herramienta que estima los recursos necesarios para implementar campañas de vacunación ganadera (Vaccicost) y las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para construir planes multianuales integrales (cMYP) para programas de inmunización humana (Walker *et al*, 2010), adaptado a las necesidades de los programas de intervención planteados para un año de intervención. El cálculo de costos consideró las actividades necesarias para

desarrollar las estrategias de control según cinco componentes principales propuestos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Componentes para evaluación de costos y sus características

Componente	Características
Oxfendazol	Costo de oxfendazol Costos de suministros para la dosificación de OFZ
Vacuna	Costo de vacunas Suministros para vacunación Cadena de frío para vacunas
Personal	Costo total del personal
Entrenamiento	Costo de entrenamiento del personal
Movilización social	Costo de material de sensibilización del productor

3.5. Elaboración fórmulas para determinar los costos

Se elaboró una lista de fórmulas iniciales para cada componente según insumos básicos que se requieran durante el periodo de un año, el costo anual de cada escenario planteado es definido como la suma del costo de cada componente que requiera el escenario, los costos anuales definidos para cada escenario consideran condiciones de cobertura, efectividad y posología de los fármacos

3.6. Búsqueda y distribución de insumos básicos

Basados en los componentes principales planteados, se realizó la búsqueda de insumos básicos, de los que se incluyen una combinación de parámetros como de costos de bienes, costo de servicios y productividad de personal. Los principales insumos que involucran costos de bienes y servicios se colectaron por catálogos y bases de datos de adquisiciones del estado disponibles en el portal de transparencias del estado peruano (PCM, 2019), otros costos no encontrados en dichas bases de datos de incluyeron en el modelo en base a referencias bibliográficas; por último, los insumos que involucran productividad dentro de cada escenario se consideró la opinión de expertos.

Dependiendo de las características de los insumos básicos colectados, se determinó su distribución de probabilidad; de no encontrarse una cantidad de datos suficiente para estimar una distribución (insumos con valores menores a 10 datos), se usó el insumo en base a un muestreo aleatorio de sus valores disponibles o se introdujo la distribución del valor en base a referencias bibliográficas, algunos insumos fueron usados considerando distribución uniforme o como un dato único según lo requerido para la estrategia de intervención planteada.

3.7. Población de estudio

Para evaluar el modelo de simulación de los costos se utilizó a la población la provincia de Ayabaca en el departamento de Piura según los datos poblacionales obtenidos del CENAGRO 2012 (INEI, 2012). En dicho año, la provincia tenía una población porcina de 41,071 porcinos, un total de 12,616 productores porcinos y una población estimada de 141,708 personas (INEI, 2009), dicha provincia ha mostrado datos históricos de brotes de peste porcina clásica durante los años 2014 y un último brote en el 2019 (SENASA, 2020), además de poseer antecedentes de cisticercosis porcina (Domínguez Códova, 2008; Pajuelo, 2017).

Para describir de manera estocástica la variabilidad (e incertidumbre) de las edades de los cerdos dentro del modelo, se utilizó la información de una base de datos de 8642 cerdos colectados por el proyecto de eliminación de cisticercosis en la costa norte del país, al cual se estimó las distribución que mas se ajustaba, el cálculo de volumen de OFZ requerido en la población porcina se realizó aproximando los pesos con una ecuación de regresión de un estudio realizado en Tumbes, Perú (peso=5+0.302*edad) (Ramos, 2008)

3.8. Análisis de la información

Toda la información fue analizada en el software de programación R, versión 4.0, con el uso de algunos paquetes adicionales instalados a los paquetes incluidos en la instalación por defecto.

Para determinar la eficacia de las vacunas contra PPC se utilizó el paquete "Shyni SIR" según el modelo planteado por Bitsoiuni *et al.,* (2019), para determinar la probabilidad de eliminación de cisticercosis en los escenarios planteados se usó el paquete "Cystisim" (Braae *et al.,* 2016).

Se utilizó el paquete "fitdistrplus" (Delignette-Muller y Dutang, 2015) para obtener la distribución que más se ajustaba a la información colectada en cada insumo que disponía información suficiente (incluido la distribución de la población) y así describir estocásticamente los potenciales escenarios a evaluar.

Las fórmulas para cada escenario fueron plasmadas en un documento de texto dentro del software de programación, los insumos fueron introducidos en el modelo con sus respectivas distribuciones; luego fueron analizados estocásticamente usando simulaciones Monte Carlo con el paquete "mc2d" (Pouillot *et al.,* 2016) con un total de 1000 iteraciones. Una vez obtenidos los costos anuales de cada escenario se realizaron análisis de sensibilidad basados en el coeficiente de correlación de Spearman con el paquete "mvtnorm" (Genz *et al.,* 2020).

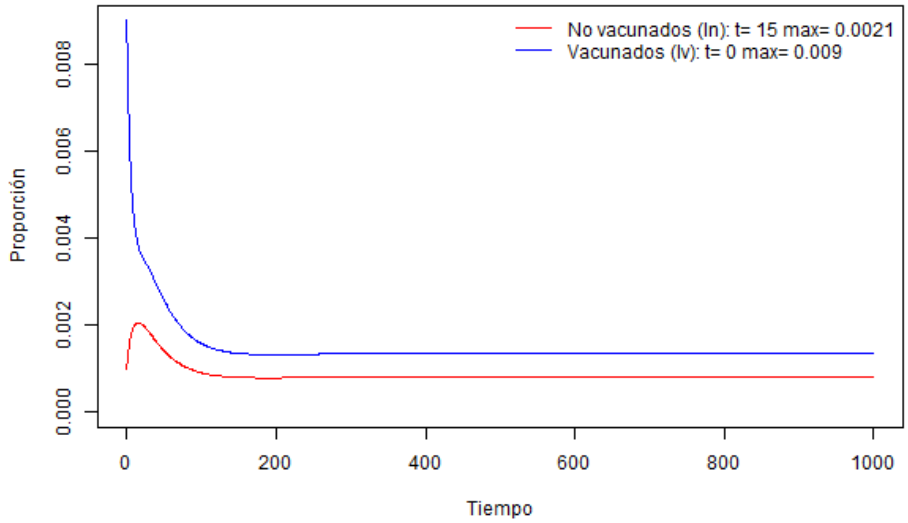
IV. RESULTADOS

4.1. Eficacia de la vacunación frente a peste porcina clásica

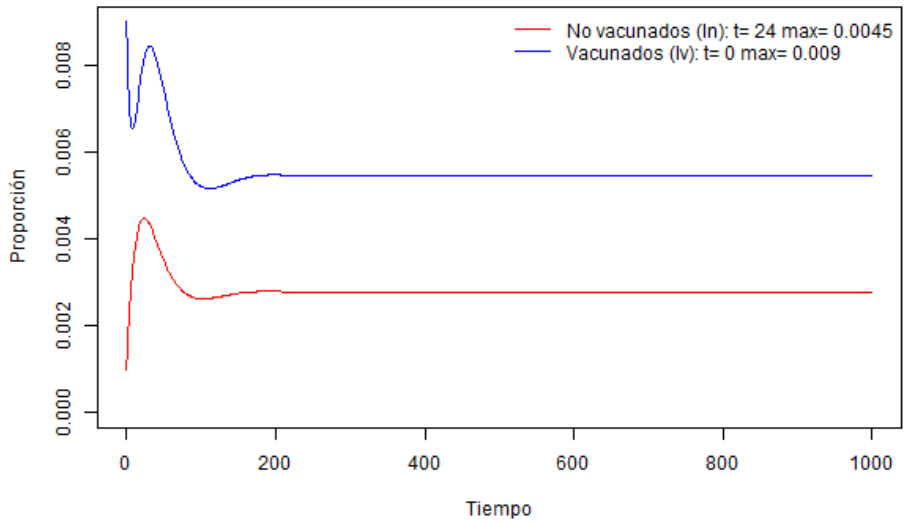
Según el modelo y los valores descritos para cada vacuna se obtuvo una proporción máxima de In de 0.0021 y 0.009 de Iv respectivamente en una población vacunada con la VC (Estrategia 1), las proporción máximas de infectados en animales no vacunados se detectaron en un máximo de 15 días (Figura 1.A), en la población vacunada con la VR (Estrategia 2) se obtuvieron una máxima proporción de In de 0.0045 y 0.009 en Iv, la proporción máximas de infectados en animales no vacunados se detectaron en un máximo de 24 días (Figura 1.B),

Figura 1. Estimación de proporción de Infectados en el tiempo con el uso de vacuna comercial elaborada en base a virus vivo modificado de cepa china y una vacuna recombinante para el control de la Peste Porcina Clásica (PPC).

A



B



(A) Proporción de infectados con el uso de una vacuna comercial elaborada en base a virus vivo modificado de cepa china. (B) Proporción de infectados con el uso de una vacuna recombinante con antígenos contra PPC.

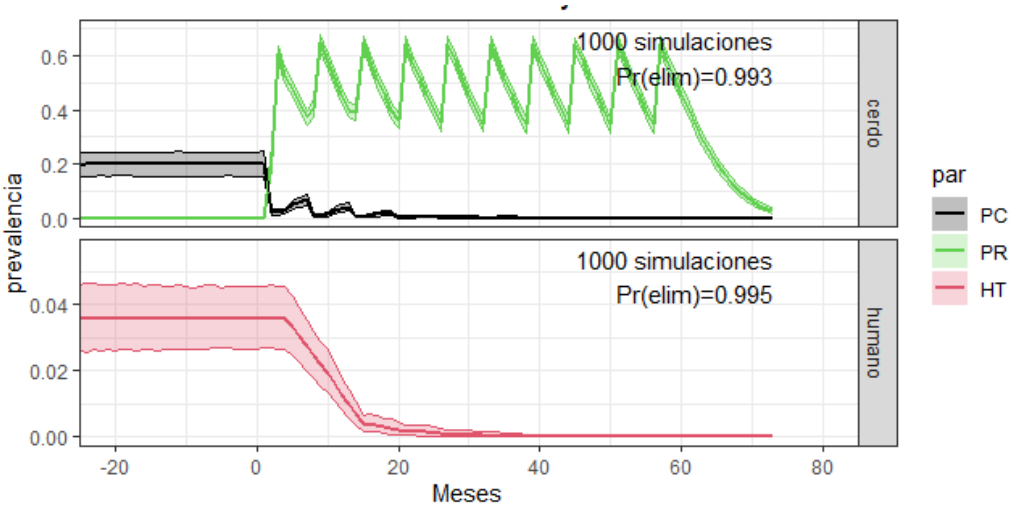
4.2. Eficacia del control de cisticercosis porcina

Según las estrategias planteadas, el uso de oxfendazol como estrategia única (Estrategia 3) y el uso de vacuna recombinante con el oxfendazol (Estrategia 2) resultan eficientes en un periodo máximo de cinco años según lo evaluado con el modelo Cystisim (Figura 2). La Pr(elim) de cisticercosis porcina es de 0.993 en la

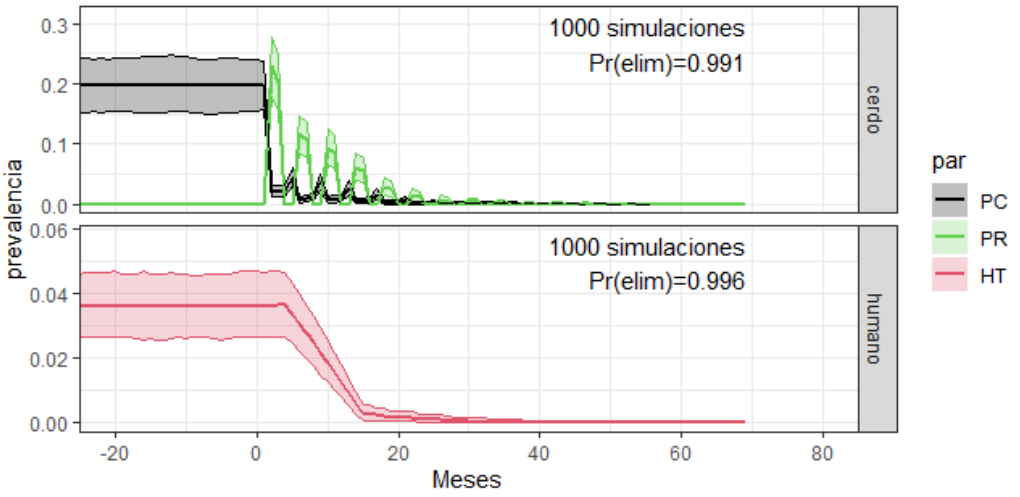
estrategia combinada de vacunación y oxfendazol mientras que la estrategia que solo contempla el uso de oxfendazol como estrategia tiene una Pr(elim) de cisticercosis porcina de 0.991.

Figura 2. Estimación de control de cisticercosis porcina usando dos estrategias de intervención.

A



B



Resultado de la estrategia de vacunación y oxfendazol a intervalos semestrales (A) y la estrategia de dosificación de ganado porcino con oxfendazol a intervalos cuatrimestrales (B), después de 1000 simulaciones en cystiSim. El área coloreada delimita los intervalos de incertidumbre del 95% para la prevalencia. La línea verde ilustra la resistencia de los cerdos a nuevas infecciones y Pr (elim) establece la probabilidad pronosticada de eliminación que ocurre en el escenario dado.

4.3. Insumos básicos

El modelo para estimar los costos de las diversas estrategias consideró distintas variables de entrada especificadas con base a los requerimientos de cada

herramienta y estrategia, estas variables se representaron mediante simulación estocástica utilizando las distribuciones detalladas en el cuadro 3.

Cuadro 3. Parámetros de entrada, códigos y valores asumidos en el modelo estocástico de simulación para el control de peste porcina clásica y cisticercosis porcina

Parámetro de Entrada	Notación	Unidades	Distribución	Fuente
Población y cobertura de vacunación				
Población	P		Rbinomial (34.119,1.61, 8.45)	(Ramos, 2008)
Peso de animales disponibles	peso	Kg	Regresión	(Ramos, 2008)
Cobertura en las estrategias	c		Constante (0.9)	Definido en el modelo
Número de intervenciones	i		Constante (**)	
Vacunas y suministros				
Precio de una dosis de vacuna recombinante	pr_v	S/	Aleatorio	(Okello *et al.,* 2018)
Porcentaje de merma en la vacunación	merma_v		Triangular (0.05; 0.1; 0.02)	Opinión de expertos.
Precio de una dosis de vacuna comercial cepa china	pr_v	S/	Aleatorio	(PCM, 2019)
Precio de cajas frías pequeñas para vacunas	pr_cp	S/	Aleatorio(##)	(PCM, 2019)
Precio de cajas frías grandes para vacunas	pr_cg	S/	Aleatorio(##)	(PCM, 2019)
Precio de los suministros de una dosis de vacuna	pr_sv	S/	Uniforme (0.185, 0.29)	(PCM, 2019)
Costo de mantenimiento de la cadena de frío de la vacuna	cf	S/	Constante (0.05)	(Tago *et al.,* 2017)
Oxfendazol y suministros				
Precio un frasco de OFZ en la presentación disponible	pr_O	S/	Aleatorio (##)	(PCM, 2019)
Concentración de un frasco de OFZ (%) en la presentación disponible	U		Constante (10)	(PCM, 2019)
Volumen en ml de presentación de OFZ	presentación	mililitros	Constante (1000)	(PCM, 2019)
Porcentaje de merma de OFZ	merma_O		Triangular (0.05; 0.1; 0.2)	Opinión de expertos.
Precio de un dosificador oral	pr_dosf	S/	Gamma (305.29; 1.91)	(PCM, 2019)
Numero de dosificadores de antiparasitario por equipo	ndosf		Constante (2)	Opinión de expertos.
Personal				
Veterinarios en un equipo de campo	nvet		Constante **	Opinión de expertos.
Asistentes en un equipo de campo	nast		Constante **	Opinión de expertos.

Salario de un veterinario/intervención	s_vet	S/	Constante (2,500)	(PCM, 2019)
Salario de un asistente/intervención	s_ast	S/	Constante (1,750)	(PCM, 2019)
Número de días trabajados en un mes	nd_mes	días	Constante (20)	(Tago *et al.,* 2017)
Productividad de un equipo en un día		Cerdos tratados por día	Pert**	Opinión de expertos.
Número de días trabajados por intervención	di	días	Constante (20)	(Tago *et al.,* 2017)
Movilización Social				
Costo de materiales para movilización social/intervención	mseq_i	S/	Constante (200)	Opinión de expertos.

** Varía según intervención

4.4. Fórmulas para el cálculo de costos

Las variables se combinaron en fórmulas para obtener variables de salida del tipo económico, los nombres y siglas de las subformulas se detallan en el cuadro 4, los detalles de cálculo de las subformulas generadas se encuentran en el Anexo 1.

Cuadro 4. Siglas y nombres de fórmulas y parámetros generados para un modelo estocástico que evalúa tres estrategias de intervención para el control de peste porcina clásica y cisticercosis porcina

Variables	Descripción
Condiciones generales	
c	Proporción de cobertura en las estrategias
i	intervención
ed	Edad requerida para la intervención (en meses)
poblacionv	Población total de cerdos para intervención con vacunación
poblacionO	Población total de cerdos para intervención de dosificación OFZ
poblacionx	Población total de cerdos para intervención mixta
p(i)v	Distribución de edades de la población en la intervención (i) con vacunación
pe(i)v	Población de cerdos con la edad "ed" en la intervención (i) con vacunación
pes(i)v	Población de cerdos a vacunar en la intervención (i), a una cobertura "c"
p(i)O	Distribución de edades de la población en la intervención (i) con OFZ
pe(i)O	Población de cerdos con la edad "ed" en la intervención (i) con OFZ
pes(i)O	Población de cerdos a dosificar con OFZ en la intervención (i), a una cobertura "c"
p(i)x	Distribución de edades de la población en la intervención (i) con vacunación y OFZ

pe(i)x	Población de cerdos con la edad “ed” en la intervención (i) con vacunación y OFZ
pes(i)x	Población de cerdos a dosificar con vacunación y OFZ en la intervención (i), afectados por la cobertura “c”
peso(i)O	Distribución de pesos de cerdos a dosificar con OFZ en intervención (i)
peso(i)x	Distribución de pesos de cerdos a dosificar con OFZ en intervención mixta (i)
sump(i)	Sumatoria de pesos de cerdos a dosificar con OFZ en la intervención (i)
sumpx(i)	Sumatoria de pesos de cerdos a dosificar con OFZ en la mixta (i)
pr_cp	Precio de cajas frías pequeñas para vacunas
pr_cg	Precio de cajas frías grandes para vacunas
s_vet	Salario de un veterinario/intervención
s_ast	Salario de un asistente/intervención
nd_mes	Número de días trabajados en un mes
train	Costo por entrenamiento de una persona
merma_v	Porcentaje de merma en la vacunación
merma_O	Porcentaje de merma de OFZ
pr_v	Precio de una dosis de vacuna
pr_sv	Precio de los suministros de una dosis de vacuna
cf	Costo de mantenimiento de la cadena de frío de la vacuna
FMv	Costo de flete y movilización de vacuna
peso	Peso en kg de los animales disponibles
pr_O	Precio un frasco de OFZ en la presentación disponible
U	Concentración de un frasco de OFZ (%) en la presentación disponible
presentación	Volumen en ml de presentación de OFZ
pr_dosf	Precio de un dosificador oral
FMO	Costo de flete y movilización de OFZ
di	Número de días trabajados por intervención
mseq_i	Costo de materiales para movilización social/intervención
ndosf	Número de dosificadores por equipo
niv_a	Número de intervenciones de vacunación al año
nvet_v	Número de veterinarios en un equipo de vacunación
nast_v	Número de asistentes en un equipo de vacunación
prod_v	Productividad de un equipo de vacunación/día
ndO_a	Número de dosis de OFZ/año
nvet_O	Número de veterinarios en un equipo para tratamiento con OFZ
nast_O	Número de asistentes en un equipo para tratamiento con OFZ
prod_O	Productividad de un equipo para tratamiento con OFZ
nOu_a	Número de dosis únicas de OFZ/año en programa mixto
nvu_a	Número de dosis únicas de vacunas/año en programa mixto
nx_a	Número de dosis mixtas (vacunación-OFZ) /año en programa mixto
nvx_a	Número de vacunaciones en programa mixto/año
nOx_a	Número de tratamientos de OFZ en programa mixto/año
nvet	Número de veterinarios para intervención mixta
nast	Número de asistentes para intervención mixta
nvet_vx	Número de veterinarios para vacunación única en intervención mixta
nast_vx	Número de asistentes para vacunación única en intervención mixta
nvet_Ox	Numero de veterinarios para dosificación OFZ única en intervención mixta
nast_Ox	Número de asistentes para dosificación OFZ única en intervención mixta

prod_x	Productividad de un equipo para intervención mixta
prod_vx	Productividad un equipo de vacunación refuerzo/día
prod_Ox	Productividad un equipo dosificación OFZ/día
Vacunación	
1.1 Costo de vacunas	
v_sum	Vacunas efectivamente suministradas
vr	Vacunas requeridas
TC_v	Costo total de vacunas
1.2 Suministros para vacunación	
TC_sv	Costo total de suministros para vacunas
1.3 Cadena de frío para vacunas	
cp	Cajas pequeñas para transporte de vacuna
cg	Cajas grandes para transporte de vacuna
vl_cf	Valor de la cadena de frío
TC_mt	Costo total del mantenimiento de la cadena de frío
1.4 Personal para la vacunación	
ceqv_a	Costo de un equipo de vacunación/año
neqv_i	Número de equipos de vacunación/intervención
TC_per_v	Costo total de personal para vacunación
1.5 Entrenamiento del personal para vacunación	
TC_trv	Costo total de entrenamiento de personal para vacunación
1.6 Movilización social-vacunación	
TC_ms	Costo total de movilización social
Tratamiento con oxfendazol	
2.1 Costo de oxfendazol	
volO_sum	Volumen de OFZ requerido
volO_r	Volumen de OFZ suministrado
nfO	Número de frascos de OFZ
TC_O	Costo total de OFZ
2.2 Suministros para la dosificación de OFZ	
TC_dosf	Costo total de dosificadores para OFZ
2.3 Personal para OFZ	
ceqO_a	Costo de un equipo de OFZ/año
neqO_i	Número de equipos de OFZ/intervención
TC_per_O	Costo total de personal para tratamiento con OFZ
2.4 Entrenamiento del personal para tratamiento con OFZ	
TC_trO	Costo total de entrenamiento de personal para tratamiento con OFZ
2.5 Movilización social-OFZ	
TC_msO	Costo total de movilización social para tratamiento con OFZ
Vacunación y OFZ (en una misma población)	
3.1 Costo de vacunas en intervención mixta	
v_sumx	Vacunas efectivamente suministradas en intervención mixta
vrx	Vacunas requeridas en una intervención mixta
TC_vx	Costo total de vacunas en una intervención mixta
3.2 Costo de oxfendazol en intervención mixta	
volO_sumx	Volumen de OFZ suministrado en intervención mixta
volOrx	Volumen de OFZ requerido en intervención mixta
nfOx	Número de frascos de OFZ en intervención mixta

TC_Ox	Costo total de OFZ en intervención mixta
3.3 Suministros de vacunas en intervención mixta	
TC_svx	Costo total de suministros para vacunas en intervención mixta
3.4 Suministros para dosificación de OFZ en intervención mixta	
TC_dosfx	Costo total de dosificadores para OFZ en intervención mixta
3.5 Personal para intervención mixta	
ceqx_a	Costo de un equipo de intervención mixta/año
neqx_i	Número de equipos para vacunación y OFZ/intervención
TC_per_x	Costo total de personal intervención mixta
3.6 Personal para vacunación (refuerzo) en intervención mixta	
ceqvu_a	Costo de un equipo de vacunación en intervención mixta/año
neqvu_i	Número de equipos de vacunación refuerzo en estrategia mixta/intervención
TC_per_vu	Costo total de personal para vacunación refuerzo en intervención mixta
3.7 Personal para dosificación solo de OFZ en intervención mixta	
ceqOu_a	Costo de un equipo de dosificación de OFZ en intervención mixta/año
neqOu_i	Número de equipos de dosificación de OFZ en estrategia mixta/intervención
TC_per_Ou	Costo total de personal para dosificación de OFZ en intervención mixta
3.8 Entrenamiento de equipos para intervención mixta	
TC_trx	Costo de entrenamiento de equipos para intervención mixta
3.9 Movilización social para intervención mixta	
TC_msx	Costo total de movilización social para la estrategia mixta
3.10 Cadena de frío para vacunas	
cpx	Cajas pequeñas para transporte de vacuna
cgx	Cajas grandes para transporte de vacuna
vl_cfx	Costo total del mantenimiento de la cadena de frío de vacunas en estrategia mixta
TC_mtx	Costo total del mantenimiento de la cadena de frío de vacunas en estrategia mixta

Luego del cálculo de las fórmulas detalladas en el cuadro 4 y Anexo 1, se realizaron los cálculos finales por cada componente y estrategia (cuadro 5).

Cuadro 5. Calculo final de Costos de tres estrategias de intervención para el control de peste porcina clásica y cisticercosis porcina

Estrategia	Componente	Cálculo de costo	Asunciones[1]
1	(1) Vacunación	$TC_v + TC_{sv} + TC_mt$	*niv_a =3* *2 ≤ed≤ 6* *nvet_v=1* *nast_v=2*
	(2) Personal	TC_per_v	
	(3) Entrenamiento	TC_trv	
	(4) Movilización social	TC_ms	
	Total	**(1)+(2)+(3)+(4)**	
2	(5) Vacunación	$TC_v + TC_{sv} + TC_mt$	*niv_a=nvO_a =3* *2 ≤ed≤ 6 .....en Vac* *2 ≤ed .....en OFZ* *nvet_v= nvet_O=1* *nast_v= nast_O=2* *cp=2*⟦neqv_i; neqO_i⟧*
	(6) Oxfendazol	$TC_O + TC_dosf$	
	(7) Personal	TC_per_O	
	(8) Entrenamiento	TC_trO	
	(9) Movilización social	TC_msO	

	Total	**(5)+(6)+(7)+(8) +(9)**	
3	(10) Vacunación	$TC_vx + TC_svx + TC_mtx$	$nOx_a=nvu_a=nx_a=2$ $nvx_a=nvu_a+nx_a$ $2 \leq ed$ $nvet_x= nvet_vx=1$ $nast_x= nast_vx=2$ $cp=2*[\![neqx_i; neqvu_i]\!]$
	(11) Oxfendazol	$TC_Ox + TC_dosfx$	
	(12) Personal	$TC_per_x + TC_per_vu + TC_per_Ou$	
	(13) Entrenamiento	TC_trx	
	(14) Movilización social	TC_msx	
	Total	**(10)+(11)+(12)+(13) +(14)**	

[1]Las asunciones son para el modelo en conjunto según la estrategia planteada

4.5. Población de estudio

Para la población de la provincia de Ayabaca se encontró un costo promedio de S/ 192,725 ± 13,662 para la estrategia 1, S/ 547,098 ± 31,314 y S/ 791,717 ± 52,127 para la estrategia 3, los valores máximos y mínimos se muestran en el Cuadro 6.

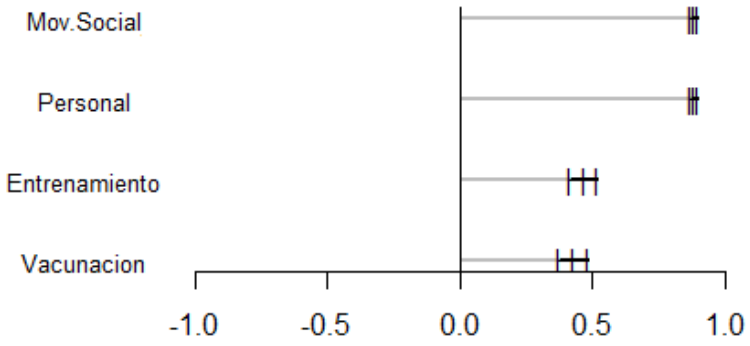
Cuadro 6. Costo anual de tres estrategias de control de peste porcina clásica y cisticercosis porcina en la provincia de Ayabaca.

Estrategia	Componente	Valores de costos (S/)			
		mínimo	**media**	**mediana**	**máximo**
1	Vacunación	84,623	92,715	92,582	102,486
	Personal	75,600	97,448	94,500	132,300
	Entrenamiento	746	1,517	1,490	2,815
	Movilización Social	800	1,031	1,000	1,400
	Total Estrategia 1	**161,913**	**192,711**	**190,500**	**237,769**
2	Vacunación	84,995	93,082	92,952	102,827
	Oxfendazol	211,254	226,907	226,426	246,497
	Personal	170,100	216,828	207,900	321,300
	Entrenamiento	1,680	3,375	3,321	6,454
	Movilización Social	800	1,031	1,000	1,400
	Total Estrategia 2	**477,475**	**547,076**	**543,209**	**673,611**
3	Vacunación	233,571	256,778	256,464	284,700
	Oxfendazol	142,301	154,865	154,576	173,421
	Personal	252,000	362,918	352,800	579,600
	Entrenamiento	2,658	5,650	5,561	11,783
	Movilización Social	8,000	11,521	11,200	18,400
	Total Estrategia 3	**657,493**	**791,732**	**784,793**	**1,044,331**

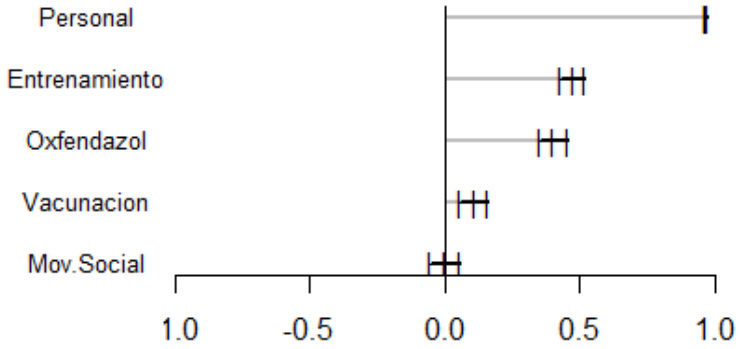
En los análisis de sensibilidad se encontró que todas las categorías de cada estrategia tienen correlación positiva estadísticamente significativa, la categoría que tiene alta correlación en las tres intervenciones es el personal (Figura 3).

Figura 3. Correlación de los diferentes componentes de costos anuales de tres estrategias de intervención para el control de peste porcina clásica y cisticercosis en la provincia de Ayabaca - Piura

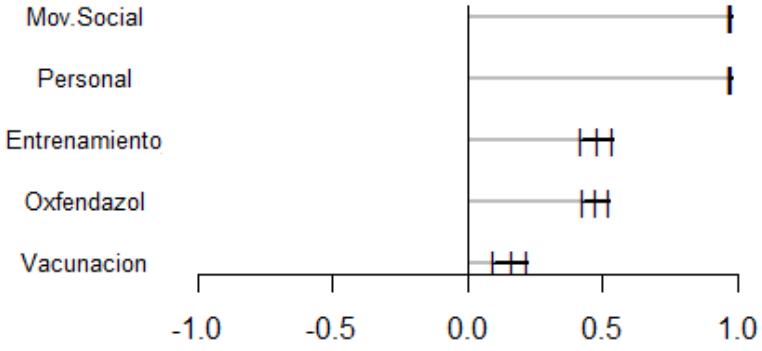
Estrategia 1



Estrategia 2

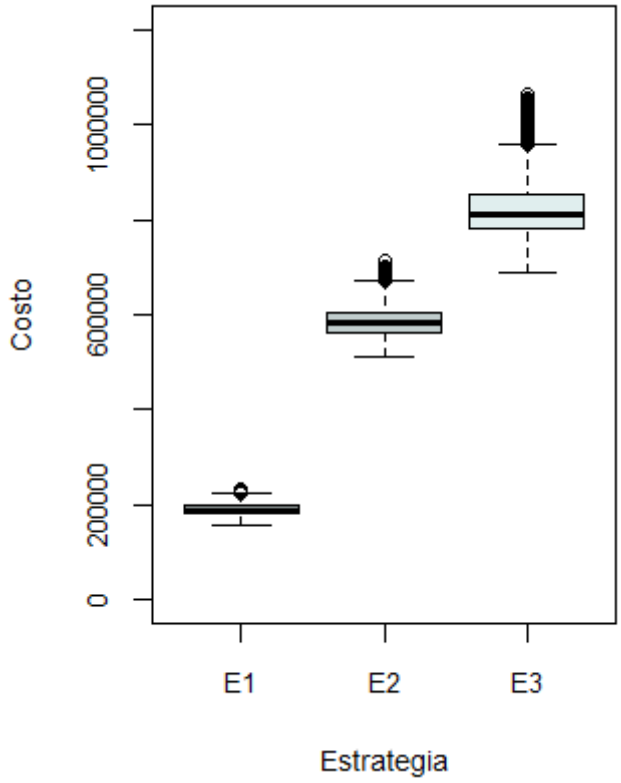


Estrategia 3



Loa valores de las tres estrategias planteadas muestran que la vacunación contra PPC y el uso de OFZ es de menor costo frente al uso de una VR y OFZ y ambas estrategias tienen mayor costo que el tratamiento frente a peste porcina clásica con la vacuna comercial (Figura 4).

Figura 4. Evaluación del costo Anual de tres estrategias de control de peste porcina clásica y cisticercosis en el distrito de Ayabaca.



V. DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue elaborar un modelo de simulación estocástico para evaluar el costo anual de programas de control de peste porcina clásica y cisticercosis porcina, para ello se simuló tres estrategias de control de estas enfermedades.

En la evaluación de la efectividad de las vacunas contra PPC en el modelo determinístico, se observó un buen desempeño de la VC frente a PPC a utilizar en el Escenario 1, los valores referentes a la inmunidad esterilizante y reducción de infectividad reportado en la literatura indican una completa inmunidad esterilizante y reducción de la infectividad (Suradhat *et al.,* 2007; Blome *et al.,* 2006); sin embargo, en el modelo determinístico se introdujo un valor de 0.9 para esta vacuna, asumiendo que existen posibles pérdidas de la calidad que puede tener una vacuna en el proceso de transporte según se reporta en la literatura (Wendt, 1992).

Los valores utilizados para evaluar la efectividad de la VR planteada para su uso en el Escenario 2, son asumidas en base a las observaciones de vacunas recombinantes contra PPC reportadas en literatura (Sun *et al.,* 2011; Blome *et al.,* 2017; Blome *et al.,* 2012), las referencias encontradas indican la variabilidad que puede tener las vacunas recombinantes respecto a la inmunidad esterilizante y reducción de la infectividad. Debido a que los valores introducidos no corresponden a información real sobre la vacuna a utilizar se tendría incertidumbre sobre los valores evaluados para esta vacuna, la cual no puede ser evaluada en el modelo determinístico de Bitsouni *et al.,* (2019).

Los modelos determinístico para medir la eficacia de una intervención son útiles para evaluar el comportamiento de poblaciones grandes frente a cambios de estados sugeridos, los modelos SIR son modelos determinísticos basados en sistemas dinámicos que evalúan el cambio de un estado de una población y son adecuados para la evaluación de enfermedades virales (Diego de Pereda, 2010), existen modelos del tipo estocástico que modelan la difusión de una enfermedad como el modelo Be-Fast, sin embargo dicho modelo realiza análisis para transmisión entre granjas (Fernández-Carrión *et al.,* 2016) la cual no puede ser completamente reemplazable en la población en la que se realizó la simulación de nuestro estudio al consistir en crianzas no tecnificadas.

Es importante recalcar que los modelos que fueron usados para determinar la eficacia de las vacunas frente a PPC en el presente estudio no corresponden al objetivo principal el cual es evaluar costos, en el modelo usado para determinar la eficacia de las vacunas frente a PPC se asumieron parámetros teóricos, los cuales podrían contrastar con los valores reales al obtener finalmente la vacuna candidata y desestimar su posibilidad de uso. La limitante del modelo Shiny SIR planteado por un autor externo obliga a introducir y buscar parámetros que se acoplen a los limites que permite dicho modelo, causando problemas en interpretación si se ponen datos extremos no considerados por dicho autor (Bitsouni *et al.,* 2019), por lo que es necesario al evaluar la eficacia de las vacuna, plantear modelos de simulación que se asemejen más al entorno el cual se piensa desempeñar los modelos.

A diferencia del modelo determinístico utilizado para la evaluación de vacunas contra PPC, el modelo estocástico de Braae *et al*, (1999) utilizado en la evaluación de la probabilidad de eliminación de cisticercosis porcina en las estrategias 2 y 3 permiten una mejor evaluación de una estrategia, ya que incluye valores de comportamiento poblacional con el uso de estrategias individuales o combinadas, sin embargo, este modelo asume valores estáticos en cuanto a las propiedades de las estrategias planteadas como la eficacia de las herramientas de control y el uso consecutivo de la vacuna para el control de la cisticercosis porcina, estos valores son asumidos similares para la vacuna recombinante planteada a implementar en la estrategia 2.

Si bien el planteamiento del presente estudio buscaba evaluar los costos de control de control de PPC y cisticercosis porcina, se decidió evaluar el desempeño para controlar

estas enfermedades con las estrategias a implementar mediante el uso de modelos ya planteados por otros autores, los análisis realizados mostraron que existen deficiencias en poder evaluar el desempeño de la vacuna recombinante al asumir características teóricas que poseen otras vacunas similares; sin embargo, esta asunción es una práctica usada para poder definir parámetros mínimos requeridos por una herramienta de control como el estudio de Kura *et al.,* (2020) para evaluar programas de control de equistosomiasis; asi como, en estudios para el planteamientos de programas de inmunización frente a COVID 19, en donde se asumían propiedades de vacunas candidatas antes de su aprobación para uso masivo y así poder evaluar planes de inmunización en la población (Guttieres *et al*, 2021).

El modelo de simulación para la evaluación de costos obtuvo datos de los insumos básicos con la información disponible en web del portal del estado peruano y fuentes bibliográficas; la información faltante fue obtenida de la opinión de expertos en donde se asumieron distribuciones pert o triangulares, tal como se sugieren en este tipo de estimaciones (Vose, 2008); además, la colección de información de expertos es una práctica recomendable ante la carencia de datos (FAO, 2004; Taylor, 2003). El estudio de análisis de riesgo y económico realizado en el Perú en el año 2013 consideró el uso de opinión de expertos a fin de poder estimar las consecuencias económicas de un brote de fiebre aftosa en el país (Martínez-López y Sánchez-Vizcaíno, 2013). En nuestro estudio, la información referente a cisticercosis introducida en la opinión de expertos fue discutida por miembros del grupo de cisticercosis en el Perú, para datos referentes a las actividades de PPC se consultó especialistas de campo que laboran en campañas de vacunación contra PPC.

La validación del modelo económico es una etapa importante para poder estimar cuan realista es la información que se está presentando, el estudio no ha podido realizar la validación por la ausencia de información; sin embargo, muestra las pautas necesarias para tomarse en cuenta para la colecta de información para realizar análisis económicos (Taylor, 2003). Existen algunos valores que podrían mejorar el modelo, como el calculo de los pesos y edades de los animales la cual se vio limitada a asumir la edad mínima de vacunación a 2 meses para la vacunación contra PPC, cuando lo recomendado por el SENASA es de 45 días (SENASA, 2011), el ingreso de una base de datos más detallada tanto en población y otros insumos básicos podría arrojar datos que se ajusten de mejor

manera en las estrategias planteadas en este estudio, el modelo intenta aproximarse a la realidad al usar como principal fuente de datos el portal web del estado peruano, el cual posee valores reales de adquisición de los principales insumos usados en los diversos programas de control de enfermedades.

El uso de una vacuna recombinante como única estrategia de control de cisticercosis porcina ha demostrado que requiere mucho tiempo de intervención, el uso de estrategias combinadas resulta en una mejor estrategia para el control de cisticercosis porcina en modelos realizados (Dixon *et al.,* 2019; Winskill *et al.,* 2017), el uso de antiparasitario oxfendazol como estrategia simple resulta efectiva en nuestro estudio, llegando a unas probabilidades altas de eliminación en un periodo de cinco años, similares a los encontrados con el uso de una vacuna recombinante y el uso de oxfendazol como estrategia combinada; desde el punto de vista económico Para las estrategias evaluadas con el modelo, la estrategia 1 es de menor costo, seguida de la estrategia 2 y por último la estrategia 3 es más costosa.

En cuanto a los costos evaluados con el modelo, se puede observar en la estrategia 1, que uno de los mayores costos lo representa la el personal de vacunación, seguido de los costos de vacunación (cuadro 6); sin embargo, en el análisis de sensibilidad el costo está influenciado por la movilización social y el personal (figura 3). En la estrategia 2 el mayor costo monetario lo representa el personal, y el oxfendazol, para el análisis de sensibilidad el componente que más influye en el costo final de la estrategia es el personal y el entrenamiento de personal, por último, en la estrategia 3 el personal y la vacunación tienen más costos, aunque los componentes que más influyen en el modelo son la movilización social y el personal.

Según los detalles de las fórmulas en el Anexo 1, los componentes de movilización social, y entrenamiento son fórmulas que dependen del personal, estos factores aumentan cuando el número de equipos de intervención aumenta ante una población grande, los componentes de insumos como la vacuna y el oxfendazol no representan mayor influencia en el modelo y se desenvuelven en función directa de la población a intervenir, esta tendencia puede ser visible en los histogramas de distribución, donde los componentes de entrenamiento y movilización social tienen una distribución similar o dependiente del personal; así como la distribución final de cada intervención (Anexo 2).

Los resultados muestran que la implementación de un programa de control de cisticercosis porcina y peste porcina clásica es viable; sin embargo, conllevan a grandes costos en comparación con los costos simulados del programa de control de peste porcina clásica en la zona de estudio. Las estrategias evaluadas en este estudio no cuantifican los beneficios del control de PPC, el SENASA estimó una tasa interna de retorno de 20% y una rentabilidad de S/ 18.7 millones en 10 años de control de PPC a nivel nacional (SENASA, 2011); para el control de cisticercosis las propuestas de intervención planteadas muestran que en cinco años la probabilidad de eliminación de la enfermedad es mayor al 99% (Figura 2), de manera similar a la PPC, para el control de cisticercosis porcina no se cuantifican las pérdidas evitadas que acarrearían en las personas infectadas, su tratamiento y la afección a los cerdos pueden presentar beneficios sociales a considerar. En un análisis económico es necesario evaluar el beneficio de las intervenciones a realizar para así poder tomar una decisión sobre las acciones más convenientes (Anni *et al.,* 2016). En un programa socio económico de sanidad animal se requiere incluir: Parámetros de producción, parámetros de la enfermedad, número de animales, impacto del mercado, impacto del medio ambiente e impacto social (FAO, 2004).

VI. CONCLUSIONES

La estrategia de control de peste porcina clásica tuvo un menor costo y la estrategia de uso de vacuna recombinante y oxfendazol tuvo un mayor costo en el modelo estocástico.

El componente relativo al personal y los demás componentes que dependen del personal resultaron influyentes en el modelo estocástico.

Los datos de los costos de las intervenciones requieren ser validados.

VII. RECOMENDACIONES

Usar los modelos matemáticos como herramienta en la toma de decisiones de programas de control.

Colectar información a fin de poder validar el modelo presentado.

VIII. LITERATURA CITADA

1. Anni MP, Lubroth J, Martin V, Rushton J. 2016. Economic analysis of animal diseases. Guidelines. 18a ed. Roma: FAO Animal Production and Health Guidelines. 94 p.
2. Backer JA, Hagenaars TJ, Van Roermund HJW, De Jong MCM. 2009. Modelling the effectiveness and risks of vaccination strategies to control classical swine fever epidemics. Journal of the Royal Society Interface. 6 (39): 849–861.
3. Bennett RM. 1992. The use of "economic" quantitative modelling techniques in livestock health and disease-control decision making: a review. Preventive Veterinary Medicine. 13 (1): 63–76.
4. Bhattarai R, Carabin H, Proaño J V., Flores-Rivera J, Corona T, Flisser A, Budke CM. 2019. The monetary burden of cysticercosis in Mexico. PLoS Neglected Tropical Diseases. 13 (7): 1–19.
5. Bitsouni V, Lycett S, Opriessnig T, Doeschl-Wilson A. 2019. Predicting vaccine effectiveness in livestock populations: A theoretical framework applied to PRRS virus infections in pigs. PLoS ONE. 14 (8): 1–23.
6. Blome S, Aebischer A, Lange E, Hofmann M, Leifer I, Loeffen W, Beer M. 2012. Comparative evaluation of live marker vaccine candidates " CP7_E2alf" and "flc11" along with C-strain " Riems" after oral vaccination. Veterinary Microbiology. 158 (1–2): 42–59.
7. Blome S, Christoph S, Henke J, Carlson J, Beer M. 2017. Classical Swine Fever—An Updated Review. Viruses. 9 (86): 1–25.
8. Blome S, Meindl-Böhmer A, Loeffen W, Thuer B, Moennig V. 2006. Assessment of classical swine fever diagnostics and vaccine performance. OIE Revue Scientifique et Technique. 25 (3): 1025–1038.
9. Blome S, Moß C, Reimann I, König P, Beer M. 2017. Classical swine fever vaccines—State-of-the-art. Veterinary Microbiology. 206: 10–20.
10. Braae UC, Devleesschauwer B, Gabriël S, Dorny P, Speybroeck N, Magnussen P, Johansen MV. 2016. CystiSim – An Agent-Based Model for Taenia solium Transmission and Control. PLoS Neglected Tropical Diseases. 10 (12): 1–17.

11. Brown VR, Bevins SN. 2018. A Review of Classical Swine Fever Virus and Routes of Introduction into the United States and the Potential for Virus Establishment. Frontiers in Veterinary Science. 5 (31): 1–14.
12. Carabin H, Krecek RC, Cowan LD, Michael L, Foyaca-Sibat H, Nash T, Willingham AL. 2006. Estimation of the cost of Taenia solium cysticercosis in Eastern Cape Province, South Africa. Tropical Medicine and International Health. 11 (6): 906–916.
13. CNA. 2018. Singapore suspends frozen pork imports from Japan's Gifu prefecture. [Internet], [6 junio 2020]. Disponible en: https://www.channelnewsasia.com/news/singapore/singapore-suspends-frozen-pork-imports-japan-gifu-swine-fever-10870108
14. Coral-Almeida M, Gabriël S, Abatih EN, Praet N, Benitez W, Dorny P. 2015. Taenia solium human cysticercosis: A systematic review of sero-epidemological data from endemic zones around the world. PLoS Neglected Tropical Diseases. 9 (7): 1–20.
15. Costello M. 2013. The Economic Impact of Cysticercosis. [Internet], [7 diciembre 2020]. Disponible en: https://www.givingwhatwecan.org/post/2013/12/the-economic-impact-of-cysticercosis/
16. Coxon C, Lauren P, Gauntlett F, Bowen J. 2020. Situation update #5 Classical Swine Fever in domestic swine in Japan Disease report. Reino Unido. Department for Environment, Food and Rural Affairs Animal and Plant Health Agency Advice Services - International Disease Monitoring. 4 p.
17. de Coster T, Van Damme I, Baauw J, Gabriël S. 2018. Recent advancements in the control of Taenia solium: A systematic review. Food and Waterborne Parasitology. 13: 1–15.
18. DEFRA. 2010. Classical Swine Fever Disease Control Strategy. United Kingdom. [Internet], [6 junio 2020]. Disponible en: www.defra.gov.uk
19. Del Brutto OHD. 2014. Neurocysticercosis. The Neurohospitalist. 4 (4): 205–212.
20. Delignette-Muller ML, Dutang C. 2015. fitdistrplus: An R package for fitting distributions. Journal of Statistical Software. 64 (4): 1–34.
21. Diego de Pereda S. 2010. Modelizacion matematica de la difusion de una epidemia de peste porcina entre granjas. Tesis de Máster en Investigación Matemática. Madrid. Universidad Complutense de Madrid. 68 p.

22. Dijkhuizen AA, Morris RS. 1996. Animal Health Economics: Principles and applications. Sydney. Post Graduate Foundation in Veterinary Science University of Sydney. 317 p.
23. Dixon MA, Braae UC, Winskill P, Walker M, Devleesschauwer B, Gabriël S, Basáñez MG. 2019. Strategies for tackling Taenia solium taeniosis/cysticercosis: A systematic review and comparison of transmission models, including an assessment of the wider Taeniidae family transmission models. PLoS neglected tropical diseases. 13 (4): 1–24.
24. Domínguez Códova J. 2008. Seroprevalencia de cisticercosis porcina en la comunidad José Carlos Mariátegui de san Jorge-Frías provincia Ayabaca. Tesis de Médico Veterinario. Piura. Universidad Nacional de Piura. 80 p.
25. El T, Angara E. 2009. Animal Heath Economics: A Review. Sudan J. Vet. Res. 24: 49–55.
26. FAO. 2004. Propuesta de un Estudio para Determinar el Impacto Económico por la Presencia de la Peste Porcina Clásica y su Prevención en el Continente Americano. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 75 p.
27. Feliziani F, Blome S, Petrini S, Giammarioli M, Iscaro C, Severi G, … De Mia GM. 2014. First assessment of classical swine fever marker vaccine candidate CP7_E2alf for oral immunization of wild boar under field conditions. Vaccine. 32 (18): 2050–2055.
28. Fernández-Carrión E, Ivorra B, Martínez-López B, Ramos AM, Sánchez-Vizcaíno JM. 2016. Implementation and validation of an economic module in the Be-FAST model to predict costs generated by livestock disease epidemics: Application to classical swine fever epidemics in Spain. Preventive Veterinary Medicine. 126: 66–73.
29. Flisser A, Gauci CG, Zoli A, Martinez-Ocaña J, Garza-Rodriguez A, Dominguez-Alpizar JL, Lightowlers MW. 2004. Induction of protection against porcine cysticercosis by vaccination with recombinant oncosphere antigens. Infection and Immunity. 72 (9): 5292–5297.
30. Flisser A, Sarti E, Lightowlers M, Schantz P. 2003. Neurocysticercosis: Regional status, epidemiology, impact and control measures in the Americas. Acta Tropica. 87 (1): 43–51.

31. Frías-Lepoureau MT. 2008. Reemergence of Classical Swine Fever in Cuba, 1993 to 1997. En: Morilla A, Yoon KJ, Zimmerman JJ, eds. Trends in Emerging Viral Infections of Swine. Iowa: Iowa State Press. p. 143–147.
32. Garcia H. 2001. Teniasis/Cisticercosis Por Taenia Solium, Un Serio Problema De Salud Pública En El Perú. Lima. Serie informes técnicos de investigación Epidemiológica N°025. 62 p.
33. García HH, Gilman RH, Gonzalez AE, Verastegui M, Rodriguez S, Gavidia C, Evans CAW. 2003. Hyperendemic human and porcine Taenia solium infection in Perú. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. 68 (3): 268–275.
34. Garcia HH, Gonzalez AE, Rodriguez S, Gonzalvez G, Llanos-Zavalaga F, Tsang VCW, Gilman RH. 2010. Epidemiology and control of cysticercosis in Peru. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica. 27 (4): 592–597.
35. Garcia HH, Gonzalez AE, Tsang VCW, O'Neal SE, Llanos-Zavalaga F, Gonzalvez G, Gilman RH. 2016. Elimination of Taenia solium transmission in northern Peru. New England Journal of Medicine. 374 (24): 2335–2344.
36. Genz A, Bretz F, Miwa T, Mi X, Leisch F, Scheipl F. 2020. Package "mvtnorm", Multivariate Normal and t Distributions. [Internet], [8 julio 2020]. Disponible en: https://journal.r-project.org/archive/
37. Gómez-Vázquez JP, Quevedo-Valle M, Flores U, Portilla Jarufe K, Martínez-López B. 2019. Evaluation of the impact of live pig trade network, vaccination coverage and socio-economic factors in the classical swine fever eradication program in Peru. Preventive Veterinary Medicine. 162: 29–37.
38. Guttieres D, Sinskey AJ, Springs SL. 2021. Modeling framework to evaluate vaccine strategies against the COVID-19 pandemic. Systems. 9 (1): 1–15.
39. Hone J, Pech R, Yip P. 1992. Estimation of the dynamics and rate of transmission of classical swine fever (hog cholera) in wild pigs. Epidemiology and Infection. 108 (2): 377–386.
40. INEI. 2009. Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Sexo y Grupos Quinquenales de Edad 1995-2025. 3–259. [Internet], [8 julio 2020]. Disponible en: http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0846/libro.pdf
41. INEI. 2012. IV Censo Nacional Agropecuario 2012 - Cuadros Estadísticos. [Internet], [8 julio 2020]. Disponible en: http://censos.inei.gob.pe/Cenagro/redatam/

42. Kirkland PD, Le Potier M, Finlaison D. 2012. Pestiviruses. En: Zimmerman JJ, Karriker L, Ramirez A, eds. Diseases of Swine. 11a ed. Hoboken. Wiley. p 538–553.
43. Kura K, Collyer BS, Toor J, Truscott JE, Hollingsworth TD, Keeling MJ, Anderson RM. 2020. Policy implications of the potential use of a novel vaccine to prevent infection with Schistosoma mansoni with or without mass drug administration. Vaccine. 38 (28): 4379–4386.
44. Lightowlers MW. 2010. Eradication of Taenia solium cysticercosis: A role for vaccination of pigs. International Journal for Parasitology. 40 (10): 1183–1192.
45. Lightowlers MW. 2013. Control of taenia solium taeniasis/cysticercosis: Past practices and new possibilities. Parasitology. 140 (13): 1566–1577.
46. MacLachlan NJ, Dubovi EJ, Barthold SW, Swayne DE, Winton JR. 2017. Fenner's Veterinary Virology. 5ª ed. Reino Unido: Academic Press. 570 p.
47. Martínez-López B, Sánchez-Vizcaíno JM. 2013. Análisis de riesgo, modelo de difusión y análisis económico de fiebre aftosa en Perú. Madrid: Colaboración Técnica ENESA - UCM. 151 p.
48. Meuwissen MPM, Horst SH, Huirne RBM, Dijkhuizen AA. 1999. A model to estimate the financial consequences of classical swine fever outbreaks: Principles and outcomes. Preventive Veterinary Medicine. 42 (3–4): 249–270.
49. Morris RS. 1999. The application of economics in animal health programmes: A practical guide. OIE Revue Scientifique et Technique. 18 (2): 305–314.
50. Moyano LM, O'Neal SE, Ayvar V, Gonzalvez G, Gamboa R, Vilchez P, Garcia HH. 2016. High Prevalence of Asymptomatic Neurocysticercosis in an Endemic Rural Community in Peru. PLoS Neglected Tropical Diseases. 10 (12): 1-11.
51. Murrell KD. 1991. Economic losses resulting from food-borne parasitic zoonoses. The Southeast Asian journal of tropical medicine and public health. pp. 377–381.
52. Náquira C. 2006. Las zoonosis parasitarias en el Perú, su impacto en la economía y salud del país. An Acad Nac Med. 124–127.
53. OIE. 2009. Classical swine fever (hog cholera) Aetiology epidemiology diagnosis prevention and control references. Technical Disease Card. [Internet], [1 julio 2020]. Disponible en: http://www.oie.int/wahis/public.php?page=home].
54. OIE. 2018. Japón – Suspensión del estatus de «país libre de peste porcina clásica». [Internet], [1 julio 2020]. Disponible en: https://oiebulletin.com/?officiel=11-1-4-japon-suspension-del-estatus-de-pais-libre-de-peste-porcina-clasica&lang=es

55. OIE. 2019a. Análisis de Riesgo Asociado a las Importaciones. En Código Sanitario para Animales Terrestres.
56. OIE. 2019b. Estatus sanitario oficial: OIE - World Organisation for Animal Health. [Internet], [17 mayo 2020]. Disponible en: https://www.oie.int/es/sanidad-animal-en-el-mundo/estatus-sanitario-oficial/
57. Okello WO, Okello AL, Inthavong P, Tiemann T, Phengsivalouk A, Devleesschauwer B, Allen J. 2018. Improved methods to capture the total societal benefits of zoonotic disease control: Demonstrating the cost-effectiveness of an integrated control programme for Taenia solium, soil transmitted helminths and classical swine fever in northern Lao PDR. PLoS Neglected Tropical Diseases. 12 (9): 1–22.
58. Otte MJ, Chilonda P. 2000. Animal Health Economics: an Introduction. En: FAO eds. Roma. Animal Production and Healthy Division (AGA). p 1-12.
59. Otter V, Näther M, Theuvsen L. 2018. Culling vs. emergency vaccination: A comparative economic evaluation of strategies for controlling classical swine fever in the EU. Livestock Science. 207: 133–146.
60. Pajuelo M. 2017. Evaluación de cuatro microsatélites como marcadores para la caracterización molecular de Taenia solium y el estudio de su transmisión. Tesis para optar el grado de maestro en bioquímica y biología molecular. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia. 105 p.
61. PCM. 2019. Portal de Transparencia del Estado Peruano. [Internet], [13 julio 2020]. Disponible en: https://www.transparencia.gob.pe/contrataciones/pte_transparencia_contrataciones.aspx?id_entidad=91&id_tema=34&ver=#.XwzQ7ihKjIU
62. Pouillot R, Kelly DL, Denis J. 2016. The mc2d package. [Internet], [5 julio 2020]. Disponible en: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=E0D8B807D260550D8612914A0C52F769?doi=10.1.1.649.6180&rep=rep1&type=pdf.
63. Rajkotia Y, Lescano AG, Gilman RH, Cornejo C, Garcia HH. 2007. Economic burden of neurocysticercosis: results from Peru. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene. 101 (8): 840–846.
64. Ramos DD. 2008. Caracterización de la canal y la carne del cerdo criollo y de los productos cárnicos en el departamento de Tumbes Perú. Tesis Doctor en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad de León. Leon. 345 p.

65. Rivera H. 1994. Cólera Porcino: Una Revisión. Rev Inv Pec Perú. 7: 75–82.
66. Rodríguez Barrios JM. 2004. Papel de los modelos en las evaluaciones económicas en el campo sanitario. Farmacia Hospitalaria. 28 (4): 231–242.
67. Rodríguez Nava A, Francisco VM. 2011. Procesos estocásticos y simulación Monte Carlo: aplicación para el tipo de cambio. En: Coronado S, Gatica L, eds. Métodos no lineales en series económicas y/o financieras. 1ª ed. Guadalajara. Editorial Universitaria. p 201–215.
68. Rushton J. 2008. The economics of animal health and production. Oxfordshire: CABI Publishing. 385 p.
69. Saatkamp HW, Berentsen PBM, Horst HS. 2000. Economic aspects of the control of classical swine fever outbreaks in the European Union. Veterinary Microbiology. 73 (2–3): 221–237.
70. SENASA. 2010. Reglamento del Sistema Sanitario Porcino. El Peruano. [Internet], [12 julio 2020]. Disponible en: https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/jer/NOR_GEN_ENF_POR/RSSPORCINO publicado en Peruano.pdf
71. SENASA. 2011. Proyecto: Erradicación de enfermedades en el ganado porcino en el Perú. [Internet], [12 julio 2020]. Disponible en: http://ofi5.mef.gob.pe/appFs/Download.aspx?f=10959_AGBNPDI_2017630_16917.pdf
72. SENASA. 2020. Reportes Epidemiológicos Semanales. [Internet], [el 8 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.senasa.gob.pe/senasa/reportes-epidemiologicos-semanales/
73. Sun Y, Li HY, Tian DY, Han QY, Zhang X, Li N, Qiu HJ. 2011. A novel alphavirus replicon-vectored vaccine delivered by adenovirus induces sterile immunity against classical swine fever. Vaccine. 29 (46): 8364–8372.
74. Suradhat S, Damrongwatanapokin S, Thanawongnuwech R. 2007. Factors critical for successful vaccination against classical swine fever in endemic areas. Veterinary Microbiology. 119 (1): 1–9.
75. Tago D, Sall B, Lancelot R, Pradel J. 2017. VacciCost – A tool to estimate the resource requirements for implementing livestock vaccination campaigns. Application to peste des petits ruminants (PPR) vaccination in Senegal. Preventive Veterinary Medicine. 144: 13–19.

76. Taylor N. 2003. Review of the use of models in informing disease control policy development and adjustment. Earley Gate : DEFRA. 98 p.
77. Trevisan C, Devleesschauwer B, Schmidt V, Winkler AS, Harrison W, Johansen MV. 2017. The societal cost of Taenia solium cysticercosis in Tanzania. Acta Tropica. 165: 141–154.
78. Velthuis AGJ, Mourits MCM, Saatkamp HW, de Koeijer AA, Elbers ARW. 2011. Financial evaluation of different vaccination strategies for controlling the bluetongue virus serotype 8 epidemic in the Netherlands in 2008. PLoS ONE. 6 (5): 1–11.
79. Vose D. 2008. Risk Anaysis - A quantitative guide. 3ª ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd. 729 p.
80. Walker DG, Hutubessy R, Beutels P. 2010. WHO Guide for standardisation of economic evaluations of immunization programmes. Vaccine. 28 (11): 2356–2359.
81. Wendt M. 1992. Classical swine fever and related viral infections. Toxicon. 30 (2): 214–215.
82. WHO. 2010. The Control of Neglected Zoonotic Diseases: Community-based interventions for prevention and control. Geneva: Report of the third conference organized with ICONZ, DFID-RIU, Gates Foundation, SOS, EU, TDR and FAO with the participation of ILRI and OIE. 83 p.
83. Willms K, Vargas-Parada L, Laclette JP. 2006. Biología del parásito. En: Larralde C, De Aluja A. eds. Cisticercosis. Guía para profesionales de la salud. Mexico DF: Secretaría de Salud, Instituto Nacional de Salud Pública, Fundación Mexicana para la Salud. p 19–40.
84. Winskill P, Harrison WE, French MD, Dixon MA, Abela-Ridder B, Basáñez MG. 2017. Assessing the impact of intervention strategies against Taenia solium cysticercosis using the EPICYST transmission model. Parasites and Vectors. 10 (1): 1–14.
85. Xia SL, Lei JL, Du M, Wang Y, Cong X, Xiang GT, Qiu HJ. 2016. Enhanced protective immunity of the chimeric vector-based vaccine rAdV-SFV-E2 against classical swine fever in pigs by a Salmonella bacterial ghost adjuvant. Veterinary Research. 47 (1): 1–7.

ANEXOS

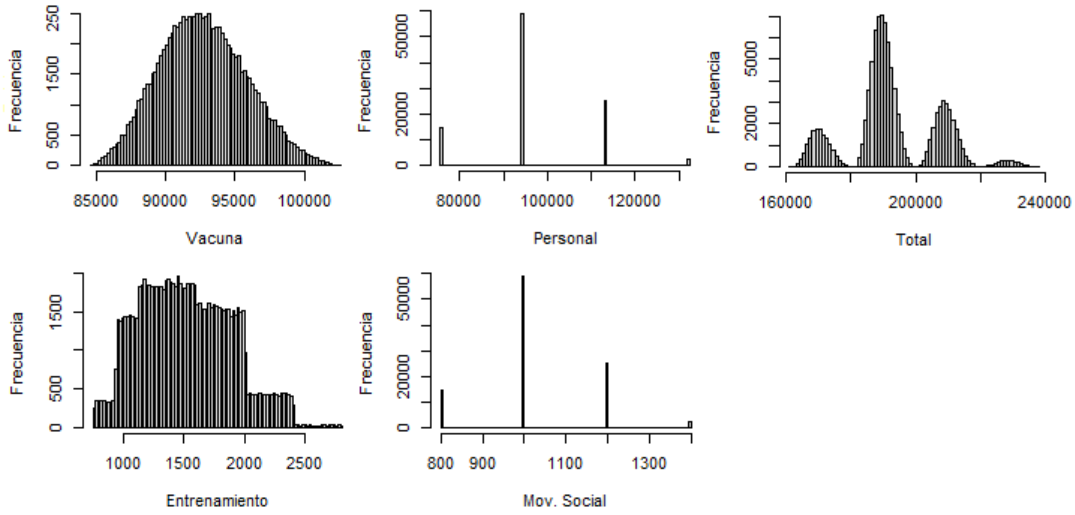
Anexo 1. Lista de fórmulas para cálculo de costos.

Vacunación	
1.1 Costo de vacunas	
v_sum	$v_sum = \sum_{i=1}^{i=\text{niv_a}} \lvert pes(i)v \rvert$
vr	$vr = v_sum * (1 + merma_v)$
FMv	$FMv = pr_v * 0.15$
TC_v	$TC_v = vr * pr_v * (1 + FMv)$
1.2 Suministros para vacunación	
TC_sv	$TC_sv = vr * pr_sv * (1 + FMv)$
1.3 Cadena de frío para vacunas	
cp	$cp = 2 * neqv_i$
cg	$cg = \lceil vr/700 \rceil$
vl_cf	$vl_cf = cp * pr_cp + cg * pr_cg$
TC_mt	$TC_mt = vl_cf * cf$
1.4 Personal para la vacunación	
ceqv_a	$ceqv_a = nv_a * (nvet_v * s_vet + nast_v * s_ast)$
neqv_i	$neqv_i = \lceil (v_sum)/(di * prod_v * nv_a) \rceil$
TC_per_v	$TC_per_v = ceqv_a * neqv_i * nv_a$
1.5 Entrenamiento del personal para vacunación	
TC_trv	$TC_trv = neqv_i * (nvet_v + nast_v) * niv_a * train$
1.6 Movilización social-vacunación	
TC_ms	$TC_ms = mseq_i * neqv_i * nv_a$
Tratamiento con oxfendazol	
2.1 Costo de oxfendazol	
volO_sum	$volO_sum = (\sum_{i=1}^{i=\text{ndO_a}} sump(i)) * 3/U$
volO_r	$volO_r = volO_sum * (1 + merma_O)$
nfO	$nfO = \lceil volO_r / presentacion \rceil$
FMO	$FMO = pr_O * 0.15$
TC_O	$TC_O = nfO * pr_O * (1 + FMO)$
2.2 Suministros para la dosificación de OFZ	
ndosf	Número de dosificadores de antiparasitario por equipo
TC_dosf	$TC_dosf = neqO_i * ndO_a * ndosf * pr_dosf$
2.3 Personal para OFZ	
ceqO_a	$ceqO_a = ndO_a * (nvet_O * s_vet + nast_O * s_ast)$
neqO_i	$neqO_i = \lceil (\sum_{i=1}^{i=\text{ndO_a}} \lvert pes(i)O \rvert)/(di * prod_O * ndO_a) \rceil$
TC_per_O	$TC_per_O = ceqO_a * neqO_i * ndO_a$
2.4 Entrenamiento del personal para tratamiento con OFZ	

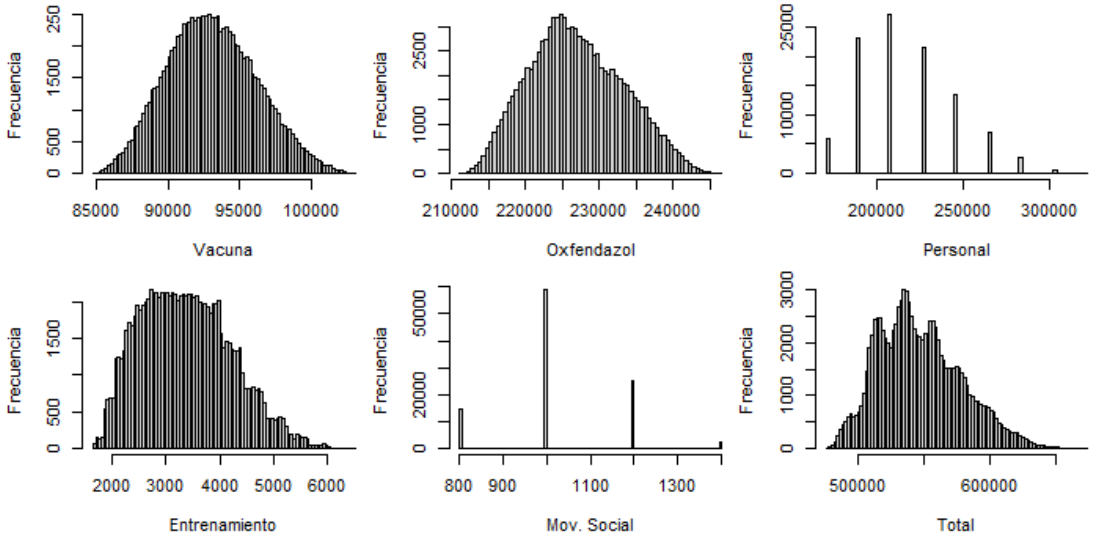
TC_trO	$TC_trO = neqO_i * ndO_a * (nvet_O + nast_O) * train$
2.5 Movilización social-OFZ	
TC_msO	$TC_msO = mseq_i * neqO_i * ndO_a$
Vacunación y OFZ (en una misma población)	
3.1 Costo de vacunas en intervención mixta	
v_sumx	$v_sumx = \sum_{i=1}^{i=\text{nvx_a}} \lvert pes(i)x \rvert$
vrx	$vrx = v_sumx * (1 + merma_v)$
FMv	$FMv = pr_v * 0.15$
TC_vx	$TC_vx = vrx * pr_v * (1 + FMv)$
3.2 Costo de oxfendazol en intervención mixta	
volO_sumx	$volO_sumx = (sumpx(1) + sumpx(3)) * 3/U$
volOrx	$volOrx = volO_sumx * (1 + merma_O)$
nfOx	$nfOx = \lceil volOrx/presentacion \rceil$
FMO	$FMO = pr_O * 0.15$
TC_Ox	$TC_Ox = nfOx * pr_O * (1 + FMO)$
3.3 Suministros de vacunas en intervención mixta	
TC_svx	$TC_svx = vrx * pr_sv * (1 + FMv)$
3.4 Suministros para dosificación de OFZ en intervención mixta	
TC_dosfx	$TC_dosfx = neqx_i * nOx_a * ndosf * pr_dosf$
3.5 Personal para intervención mixta	
ceqx_a	$ceqx_a = nvet * s_vet + nast * s_ast$
neqx_i	$neqx_i = \lceil \lvert pes(1)x \rvert + \lvert pes(3)x \rvert \rceil / (di * prod_x * nx_a)$
TC_per_x	$TC_per_x = ceqx_a * neqx_i * nx_a$
3.6 Personal para vacunación (refuerzo) en intervención mixta	
ceqvu_a	$ceqvu_a = nvet_vx * s_vet + nast_v * s_ast$
neqvu_i	$neqvu_i = \lceil \lvert pes1x \rvert / (di * prod_vx * nvu_a) \rceil$
TC_per_vu	$TC_per_vu = ceqvu_a * neqvu_i * nvu_a$
3.7 Personal para dosificación solo de OFZ en intervención mixta	
ceqOu_a	$ceqOu_a = nvet_Ox * s_vet + nast_O * s_ast$
neqOu_i	$neqOu_i = \lceil \lvert pes2x \rvert / (di * prod_Ox * nOu_a) \rceil$
TC_per_Ou	$TC_per_Ou = ceqOu_a * neqOu_i * nOu_a$
3.8 Entrenamiento de equipos para intervención mixta	
TC_trx	$TC_trx = (neqx_i * nx_a * (nvet_x + nast_x) + neqvu_i * nvu_a * (nvet_vx + nast_vx)) * train$
3.9 Movilización social para intervención mixta	
TC_msx	$TC_msx = mseq_i * (neqx_i * nx_a + neqvu_i * nvu_a + neqOu_i * nOu_a)$
3.10 Cadena de frío para vacunas	
cpx	$cpx = 2 * [\![neqx_i;\ neqvu_i]\!]$
cgx	$cgx = \lceil vrx/700 \rceil$
vl_cfx	$vl_cfx = cpx * pr_cp + cgx * pr_cg$
TC_mtx	$TC_mtx = vl_cfx * cf$

Anexo 2. Distribución de frecuencias de costos de intervenciones

Estrategia 1.



Estrategia 2



Estrategia 3.

