

# Metodologías para evaluar el riesgo de introducción y de propagación de Fiebre Aftosa

Photo: H William Vivanco

Seminario Internacional Pre-COSALFA



**Beatriz Martínez López, DVM, MPVM, PhD**  
*Assistant Professor of Infectious disease epidemiology and  
Director of the Center for Animal Disease Modeling and Surveillance (CADMS),  
University of California, Davis, US*

**UCDAVIS**  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

**[beamartinezlopez@ucdavis.edu](mailto:beamartinezlopez@ucdavis.edu)**



# CONTEXTO

## AMERICA DEL SUR: Mapa del estatus oficial de fiebre aftosa de los Países Miembros de la OIE

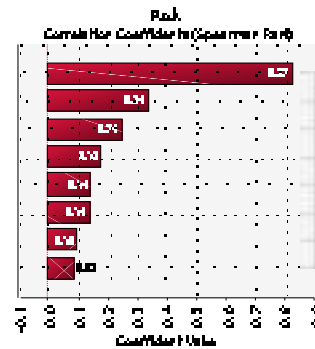
Última actualización mayo de 2015



# CONTEXTO

En el escenario de “**libre sin vacunación**”  
surgen dos preguntas clave:

1. Cuál es el riesgo de **re-introducción y difusión** potencial de FA en una población naïve?
2. Cómo podemos **gestionar** mejor dicho riesgo?



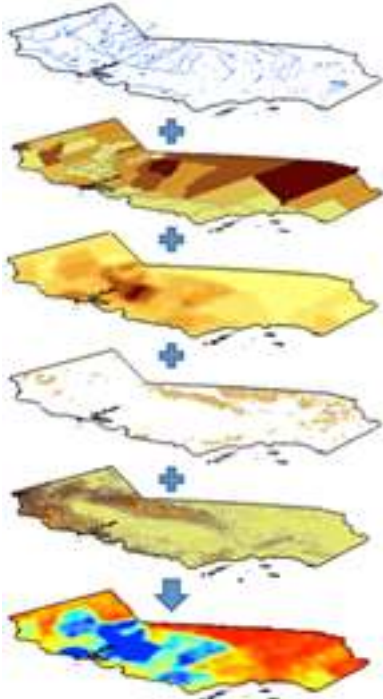
**CAPACITACION SSVV,  
COMUNICACION DEL RIESGO  
SEGUROS GANADEROS**

**ANALISIS DE RIESGO  
ARBOLES DE DECISION**

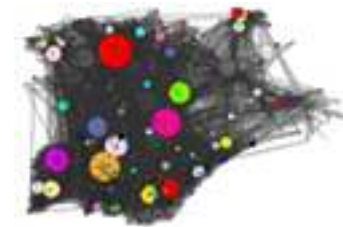


**MODELOS DE DIFUSION Y  
ANALISIS ECONOMICO**

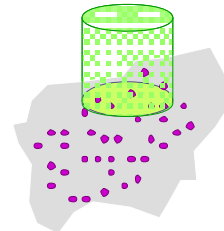
**Metodologías para la  
Evaluación y Gestión  
del riesgo**



**MODELOS GEO-  
ESTADISTICOS**

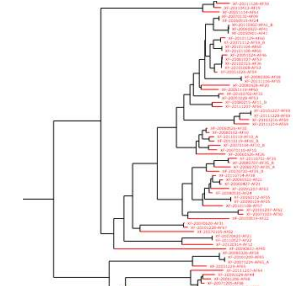


**ANALISIS DE REDES  
SOCIALES**



**ANALISIS DE CONGLOMERADOS  
(CLUSTERS) Y DETECCION DE ANOMALIAS**

**EPIDEMIOLOGIA  
MOLECULAR**



# EJEMPLO PRACTICO: Evaluación del riesgo de introducción y difusión potencial de FA en Perú en el escenario de “libre sin vacunación”



Trabajo finalizado en 2013



- Colaboración técnica UCM-ENESA-Agroseguro



- Proyecto Regional de FAO para el control progresivo de FA (GCP/RLA/178/SPA Y GTSF/RLA/172/ITA)



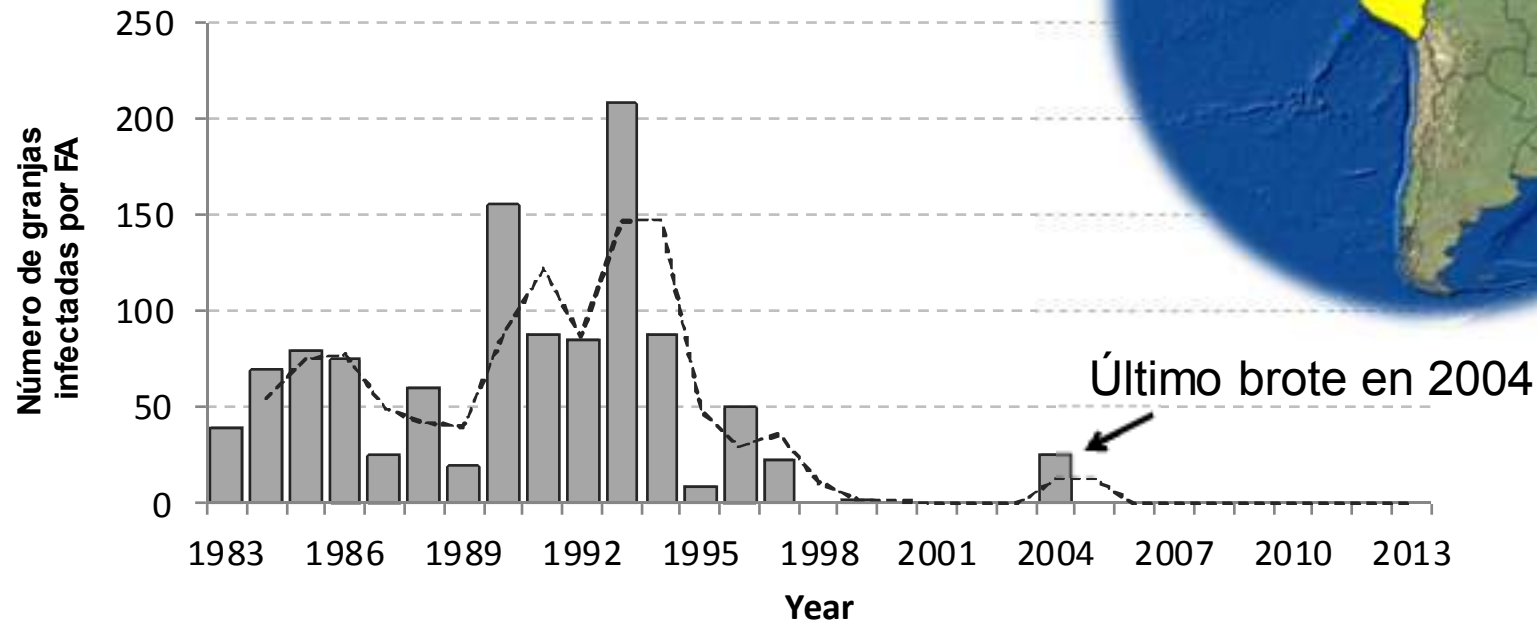
- Proyecto Nacional MTM2011-22658 y Ministerio de Economía y Competitividad de España

- SENASA y Ministerio de Agricultura de Perú



## CONTEXTO – Ejemplo: Perú

- Primera detección de FA en Perú: 1910.
- Desde 1990s, el número de brotes de FA en Perú ha descendido substancialmente.



- Actualmente, **98.3% del territorio de Perú** ha sido reconocido como **libre de FA sin vacunación**, mientras que el restante **1.7% es libre con vacunación**

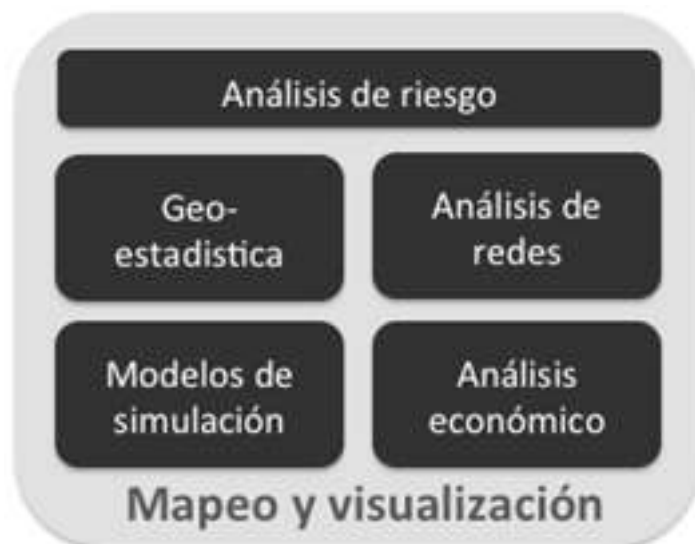
## CONTEXTO – Ejemplo: Perú

- En el escenario de libre sin vacunación **los sistemas de vigilancia y control basados en riesgo + seguros ganaderos** son herramientas ideales para una mejor prevención, mitigación y control de futuros brotes de FA.
- Sistemas basados en riesgo → **mejor coste-beneficio y aumento de la sensibilidad** del sistema de vigilancia (i.e., detección precoz)
- Seguros ganaderos pueden:
  - 1) Contribuir a la **rápida notificación de enfermedades** → los granjeros recibirán compensación en caso de brote.
  - 2) Desempeñar un papel preventivo, ya que **contribuyen a la implementación de “buenas prácticas” en las granjas** y permite establecer requisitos mínimos de manejo y sanidad animal para poder optar a las compensaciones.

Sin embargo, todo esto requiere de **estimaciones del riesgo y del impacto económico** ante diversos escenarios epidemiológicos -incluyendo las correspondientes **medidas de incertidumbre y variabilidad**-.

## OBJECTIVOS – Ejemplo: Perú

- 1) Obtener **estimaciones** cuantitativas y detalladas del **riesgo** potencial de re-introducción y difusión potencial de FA así como del **impacto económico** bajo diversos escenarios epidemiológicos.
- 2) Identificar granjas y regiones que cuentan con un mayor riesgo de introducción y difusión para informar la implementación de sistemas de vigilancia **basados en riesgo**.
- 3) Proporcionar una **herramienta multi-análisis**, fácil de actualizar **para el apoyo en la toma de decisiones** de los servicios veterinarios y de las compañías de seguros ganaderos.



Epidemiólogos  
Modelizadores  
Matemáticos  
Expertos en enfermedades infecciosas  
Sociólogos



# METODOLOGIA – Ejemplo: Perú

**Area de estudio:**

**Peru**



**Figura 1. Regiones ecológicas de Peru**

Población susceptible a FA en Perú se consideró:  
**bovino, ovino, caprino, porcino y camélidos**  
**(alpacas y llamas).**



# I. Evaluación de la re-introducción



# METODOLOGIA – 1.Evaluación de la re-introducción

## Las vías consideradas fueron:

1. **Introducción ilegal** de animales, semen y productos de origen animal (leche, productos lácteos, carne, productos cárnicos, etc)
2. **Importación legal** de animales, semen y productos de origen animal durante el periodo de alto riesgo (i.e., antes de la detección/notificación)
3. **Introducción de fómites contaminados** (i.e. vehículos, personas, alimentos para consumo propio vehiculados por viajeros, etc.)
4. **Viento** (incluyendo fenómenos atmosféricos extremos como huracanes, tifones y otros fenómenos como “el Niño”)
5. **Entrada de fauna silvestre** a través de las fronteras
6. **Escape biológico**
7. **Bioterrorismo**

# METODOLOGIA – 1.Evaluación de la re-introducción



Preventive Veterinary Medicine

Volume 86, Issues 1–2, 15 August 2008, Pages 43–56



## Quantitative risk assessment of foot-and-mouth disease introduction into Spain via importation of live animals

B. Martínez-López<sup>a</sup>, A.M. Perez<sup>b, c</sup>, A. De la Torre<sup>d</sup>, J.M. Sánchez-Vizcaíno Rodríguez<sup>a</sup>

Mur et al. *BMC Veterinary Research* 2014, **10**:145  
<http://www.biomedcentral.com/1746-6148/10/145>



RESEARCH ARTICLE

Open Access

## Modular framework to assess the risk of African swine fever virus entry into the European Union

Lina Mur<sup>1\*</sup>, Beatriz Martínez-López<sup>1,4</sup>, Solenne Costard<sup>2,6</sup>, Ana de la Torre<sup>3</sup>, Bryony A Jones<sup>2</sup>, Marta Martínez<sup>1</sup>, Fernando Sánchez-Vizcaíno<sup>1</sup>, María Jesús Muñoz<sup>3</sup>, Dirk U Pfeiffer<sup>2</sup>, José Manuel Sánchez-Vizcaíno<sup>1</sup> and Barbara Wieland<sup>2,5</sup>

# METODOLOGIA – 1.Evaluación de la re-introducción

*Tabla 2. Principales datos y fuentes de información recopilados para el análisis de riesgo de re-introducción del VFA en Perú.*

<b>Datos recopilados</b>	<b>Fuente</b>
Importaciones legales (animales, semen y productos de origen animal) a Perú	Ministerio de Agricultura de Perú*
Incautaciones o decomisos de animales, semen y otros productos de origen animal decomisados	Ministerio de Agricultura de Perú*
Estatus sanitario histórico del país de origen de las importaciones legales y de las incautaciones ilegales <b>en los últimos 5 años</b>	OIE (WAHID)
Movimiento de entrada de personas por país de origen	Ministerio del Interior - Dirección General de Migraciones y Naturalización (DIGTEMIN).
Fenómenos climáticos (dirección y velocidad del viento, fenómenos adversos por departamento)	Anuario de Estadísticas ambientales, 2012 (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI))
Presencia/abundancia de camélidos silvestres (vicuñas y pecaquí) en Perú	Anuario de Estadísticas ambientales, 2012 (Consejo Nacional de Camélidos Sudamericanos) y otras fuentes

\*Datos proporcionados a través de ENESA.

# METODOLOGIA – 1.Evaluación de la re-introducción

## EJEMPLOS:

1. **Introducción ilegal** de animales, semen y productos de origen animal (leche, productos lácteos, carne, productos cárnicos, etc)
2. **Importación legal** de animales, semen y productos de origen animal durante el periodo de alto riesgo (i.e., antes de la detección/notificación)
3. **Introducción de fómites contaminados** (i.e. vehículos, personas, alimentos para consumo propio vehiculados por viajeros, etc.)
4. **Viento** (incluyendo fenómenos atmosféricos extremos como huracanes, tifones y otros fenómenos como “el Niño”)
5. **Entrada de fauna silvestre** a través de las fronteras
6. **Escape biológico**
7. **Bioterrorismo**

# METODOLOGIA – 1. Evaluación de la re-introducción

## 1. Introducción ilegal de animales, semen y productos de origen animal

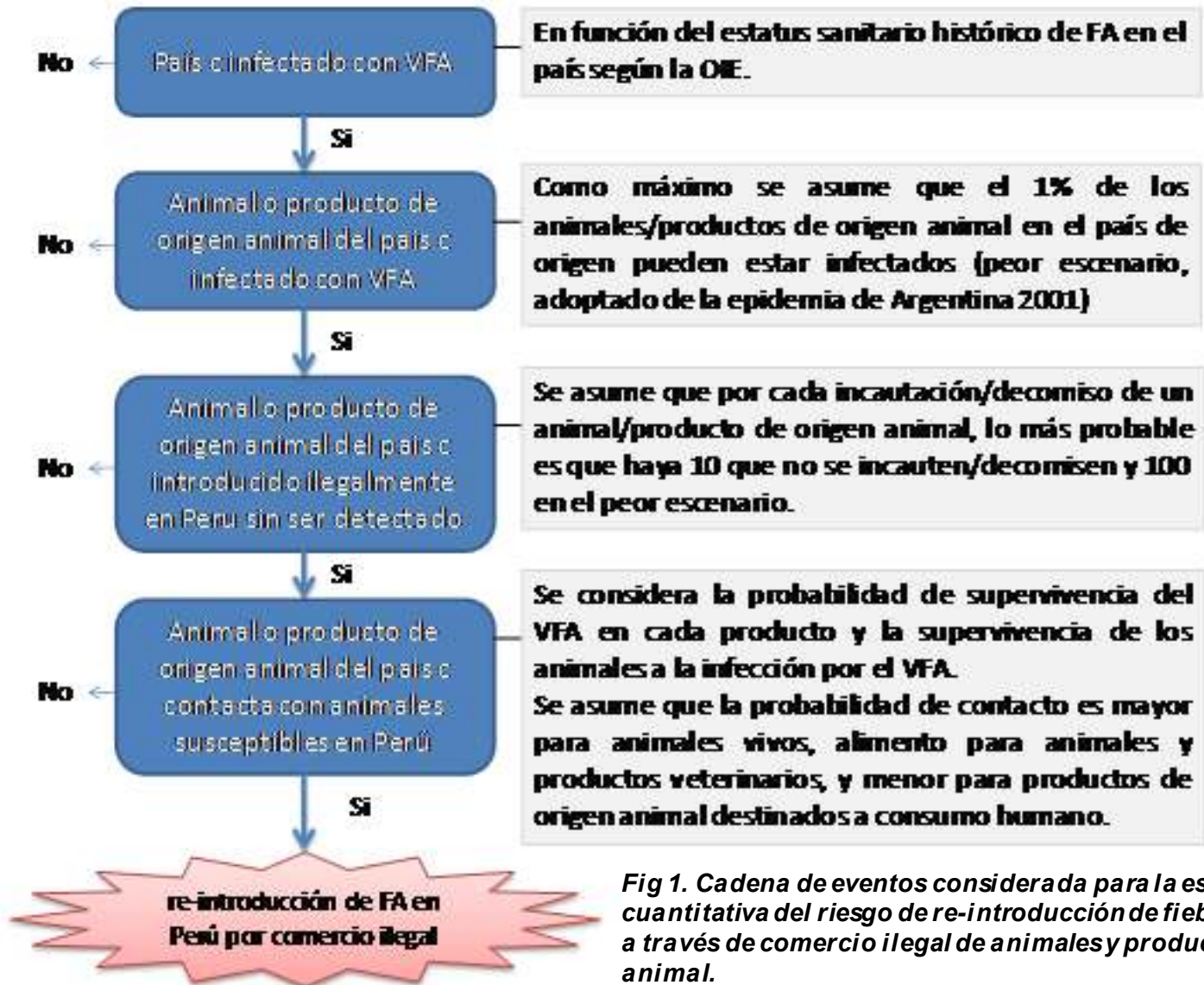


Fig 1. Cadena de eventos considerada para la estimación semi-cuantitativa del riesgo de re-introducción de fiebre aftosa en Perú a través de comercio ilegal de animales y productos de origen animal.

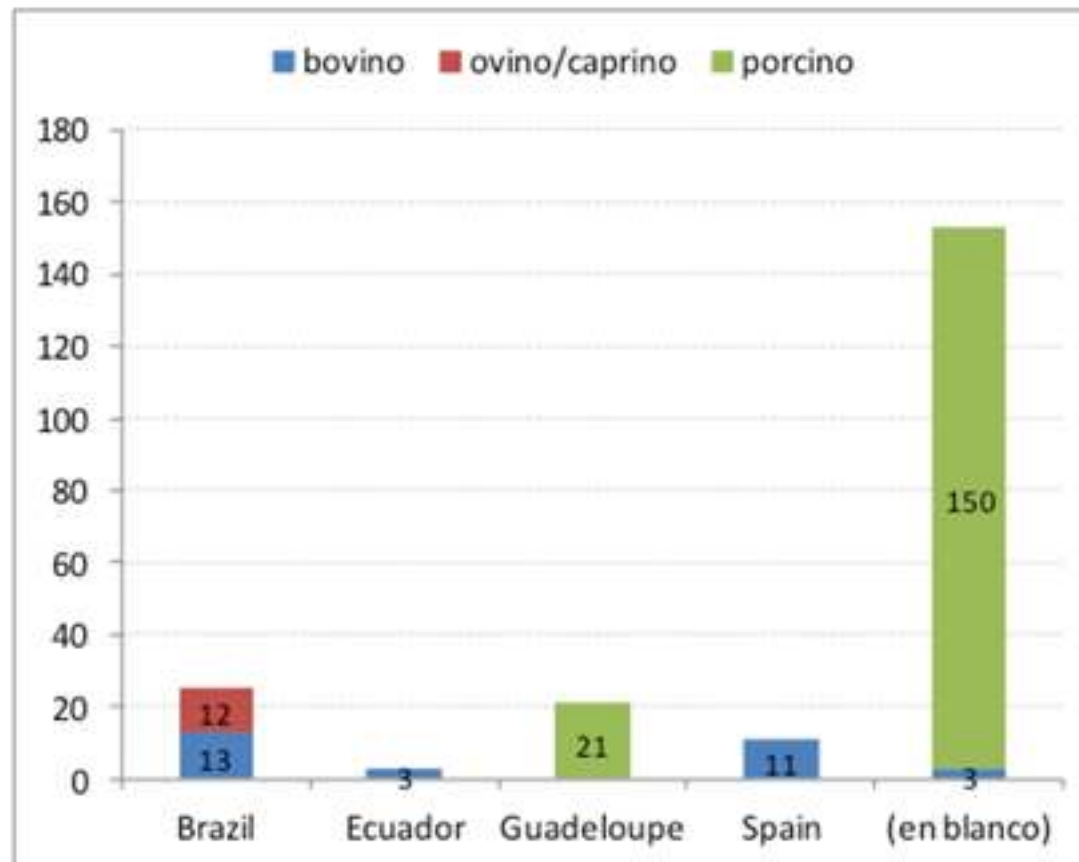




# RESULTADOS – 1.Evaluación de la re-introducción

## 1. Introducción ilegal de animales, semen y productos de origen animal

Análisis  
descriptivo  
de los datos

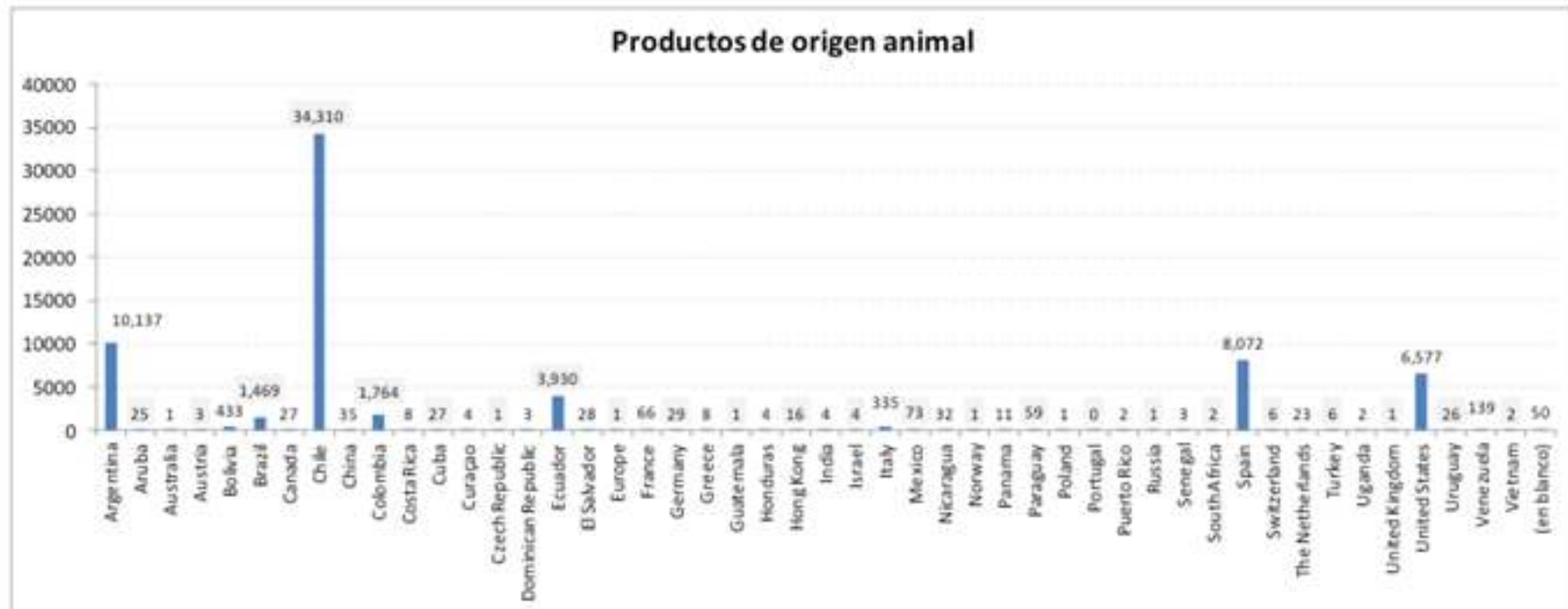


**Figura 16. Cantidad (cabezas) de incautaciones/decomisos de animales susceptibles a fiebre aftosa en Perú por especie animal y país de origen (en este grafico se excluyeron las incautaciones procedentes de Perú). Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de Sanidad Animal del Ministerio de Agricultura de Perú, 2013.**

# RESULTADOS – 1.Evaluación de la re-introducción

## 1. Introducción ilegal de animales, semen y productos de origen animal

Análisis  
descriptivo  
de los datos

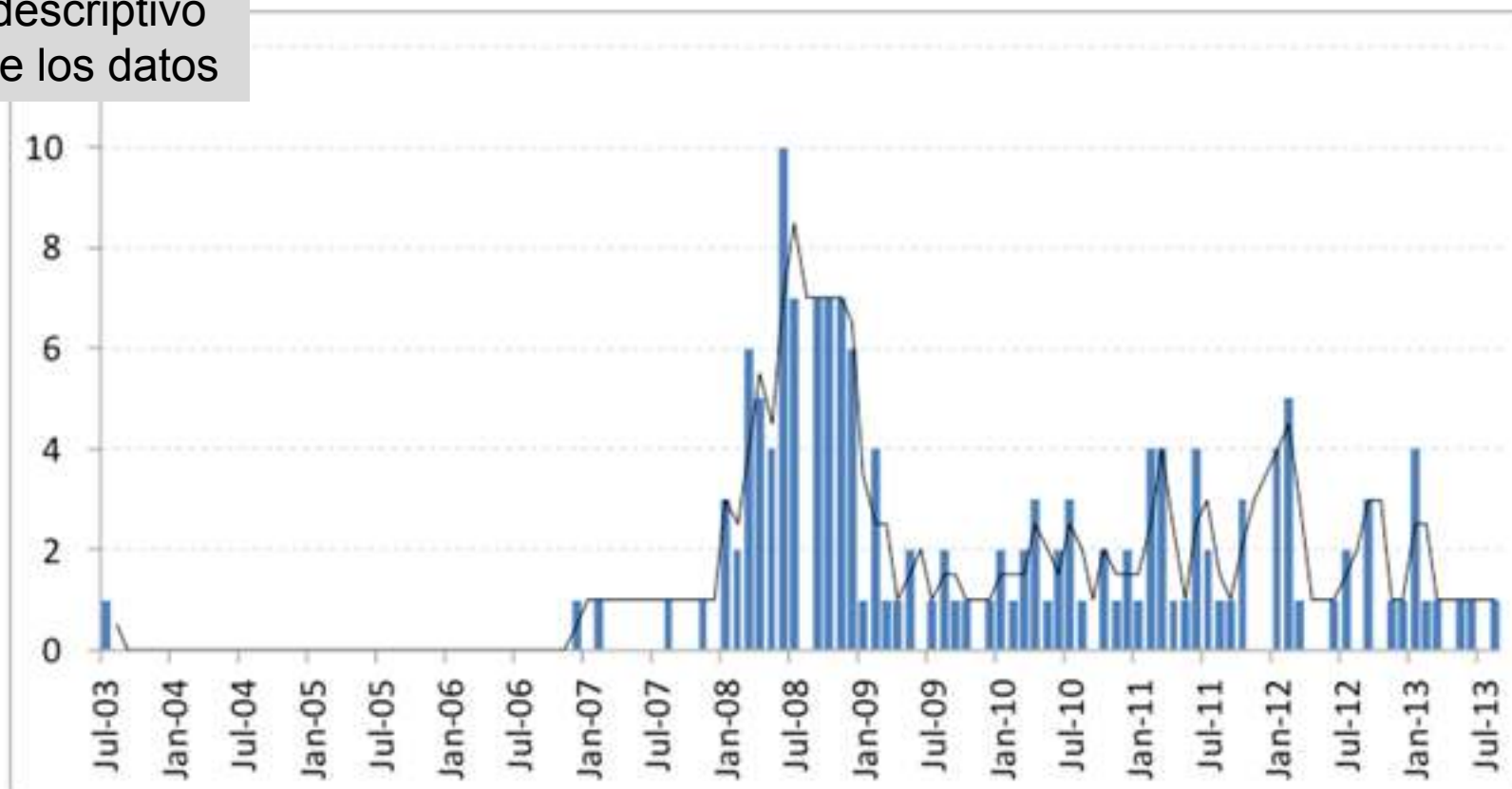


**Figura 17. Cantidad (kg) de incautaciones/decomisos de productos de origen animal susceptibles de estar infectados con fiebre aftosa en Perú por país de origen (en este grafico se excluyeron las incautaciones procedentes de Perú). Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de Sanidad Animal del Ministerio de Agricultura de Perú, 2013.**

# RESULTADOS – 1.Evaluación de la re-introducción

## 1. Introducción ilegal de animales, semen y productos de origen animal

Análisis  
descriptivo  
de los datos

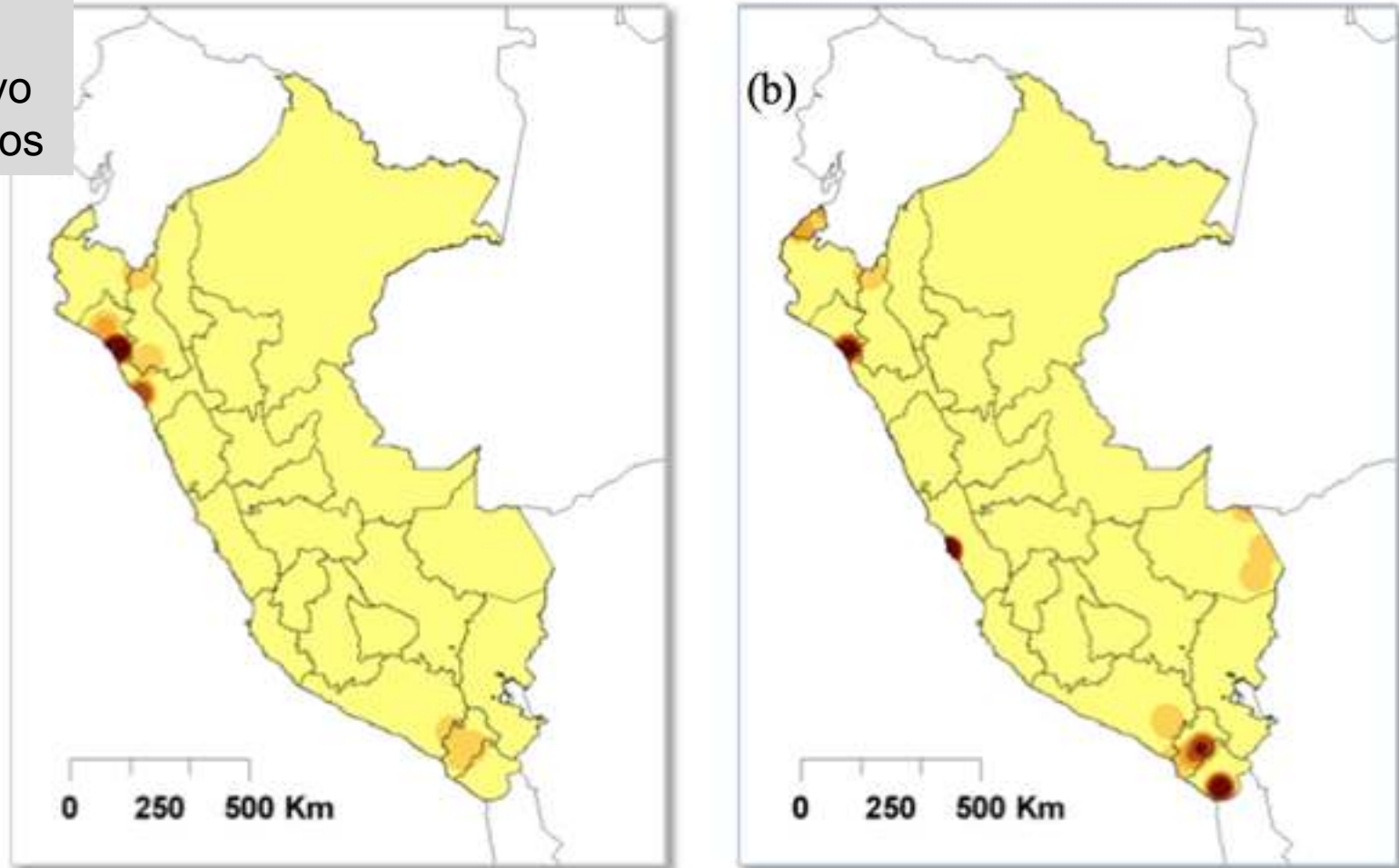


**Figura 18. Número de incautaciones/decomisos de animales susceptibles a fiebre aftosa en Perú. Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de Sanidad Animal del Ministerio de Agricultura de Perú, 2013.**

# RESULTADOS – Evaluación de la re-introducción

## 1. Introducción ilegal de animales, semen y productos de origen animal

Análisis  
descriptivo  
de los datos

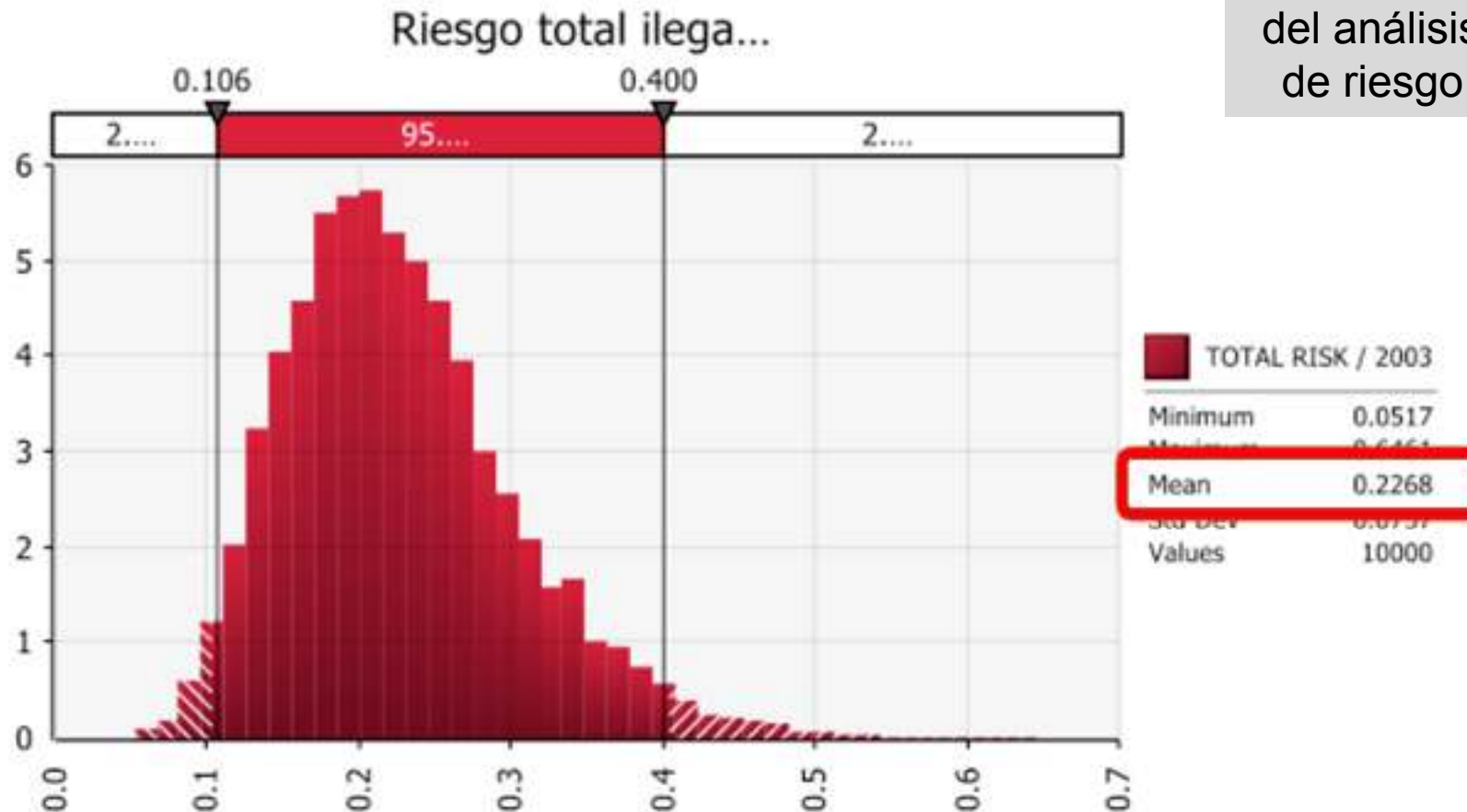


**Figura 21. Número de incautaciones/decomisos de animales (a) y productos de origen animal (b) susceptibles de estar infectados con fiebre aftosa en Perú en función del lugar de incautación/decomiso. Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de Sanidad Animal del Ministerio de Agricultura de Perú, 2013.**

# RESULTADOS – Evaluación de la re-introducción

## 1. Introducción ilegal de animales, semen y productos de origen animal

Resultado del análisis de riesgo



**Figura 22. Probabilidad estimada de re-introducción del VFA en Perú a través de entrada ilegal de animales o productos de origen animal.**

# RESULTADOS – Evaluación de la re-introducción

Via de entrada	Liberación		Explicación	Exposición		Total		
	R <sub>L</sub>	I <sub>L</sub>		R <sub>E</sub>	I <sub>E</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>T</sub>	
•Entrada ilegal de animales vivos susceptibles**	+	++	Moderada entrada de animales ilegales, algunos procedentes de países con historia reciente de FA	++	-	Contacto directo; Contacto probable. Alta capacidad infectiva si el animal introducido estuviese infectado.	++	+
•Entrada ilegal de semen y productos de origen animal**	+	++	Moderada cantidad de productos (y potencialmente semen) introducidos, algunos procedentes de países con historia reciente de FA	++	+	Contacto directo en caso del semen; indirecto en caso de los productos; Contacto probable en algunos tipos de productos (E.j. alimento animal) y también en los otros si se alimenta a los animales con desperdicios. Media/alta capacidad infectiva si el semen/producto introducido estuviese contaminado.	++	++
Entrada legal de animales vivos**	-	-	Estimado poco probable. Baja cantidad de animales vivos importados. Solo importación de países libres o libres con vacunación de FA. Si se importan durante el periodo de alto riesgo, es probable que se detecten en la frontera o durante la cuarentena.	-	-	Contacto directo; Contacto poco probable, ya que el animal infectado probablemente se detectaría durante la cuarentena. Alta capacidad infectiva si el animal introducido estuviese infectado.	-	-
Entrada ilegal de productos de origen animal**	-	-	Estimado baja. Potencial gran volumen de productos introducidos pero las medidas implementadas en el comercio internacional de productos de origen animal minimizan en gran medida el riesgo de introducción y supervivencia del VFA en los productos.	+	+	Contacto directo en caso del semen; indirecto en caso de los productos; Contacto poco probable si se destinan a consumo humano, aunque probable si se alimenta a los animales con desperdicios. Media/alta capacidad infectiva si el semen/producto introducido estuviese contaminado.	+	+
•Vehículos de transporte de animales y semen	+	++	Potencial gran volumen de vehículos introducidos, algunos procedentes de países no libres de VFA.	-	+	Contacto indirecto; Contacto poco probable, aunque riesgo en función de las medidas de bioseguridad de la granja de destino (vado de desinfección, cargadero externo, entrada del camionero en la granja, etc.)	+	++
•Vehículos de transporte de productos cármicos y lácteos	+	++	Potencial gran volumen de vehículos introducidos, algunos procedentes de países no libres de VFA.	0	+	Contacto indirecto; Contacto poco probable. Los vehículos descargan muy probablemente en zonas de despiece, comercios u otros establecimientos para consumo humano. Riesgo en función de la cercanía del lugar de descarga de granjas con animales susceptibles.	-	+
•Turistas	+	++	Gran volumen de turistas recibidos en Perú, algunos procedentes de países con FA.	0	+	Contacto indirecto; Contacto muy poco probable. Capacidad infectiva en función de cantidad de virus viable presente.	-	++
•Inmigrantes	+	++	Gran volumen de inmigrantes recibidos, algunos procedentes de países con FA.	-	++	Contacto indirecto; Contacto poco probable, aunque algunos de ellos pueden trabajar en granjas con animales susceptibles	+	++
•Viento	-	++	Estimado poco probable, excepto en zona norte de Perú. Necesarias condiciones epidemiológicas y climáticas específicas.	-	++	Contacto indirecto; capacidad infectiva en función de la cantidad de virus viable en el viento que contacte con animal susceptible.	-	++
•Entrada de fauna silvestre a través de las fronteras	-	++	Estimado poco probable. Aunque depende de la potencial infección con VFA de las poblaciones silvestres en las zonas limítrofes a Perú en el país de origen.	-	++	Contacto directo o indirecto (caza); Contacto posible aunque poco probable (y sobre todo en zona de selva) entre fauna silvestre y doméstica, aunque depende de la bioseguridad de las granjas.	-	++
•Escape biológico	0	+	Estimado muy poco probable. Solo un laboratorio (y de alta bioseguridad) que maneja VFA en Perú.	0	-	Contacto indirecto; Contacto poco probable, depende de la cercanía de animales susceptibles alrededor del laboratorio y de la magnitud del escape.	0	-
•Bioterrorismo	0	++	Estimado muy poco probable.	0	++	Contacto directo o indirecto. Dependería del tipo de atentado bioterrorista.	0	++

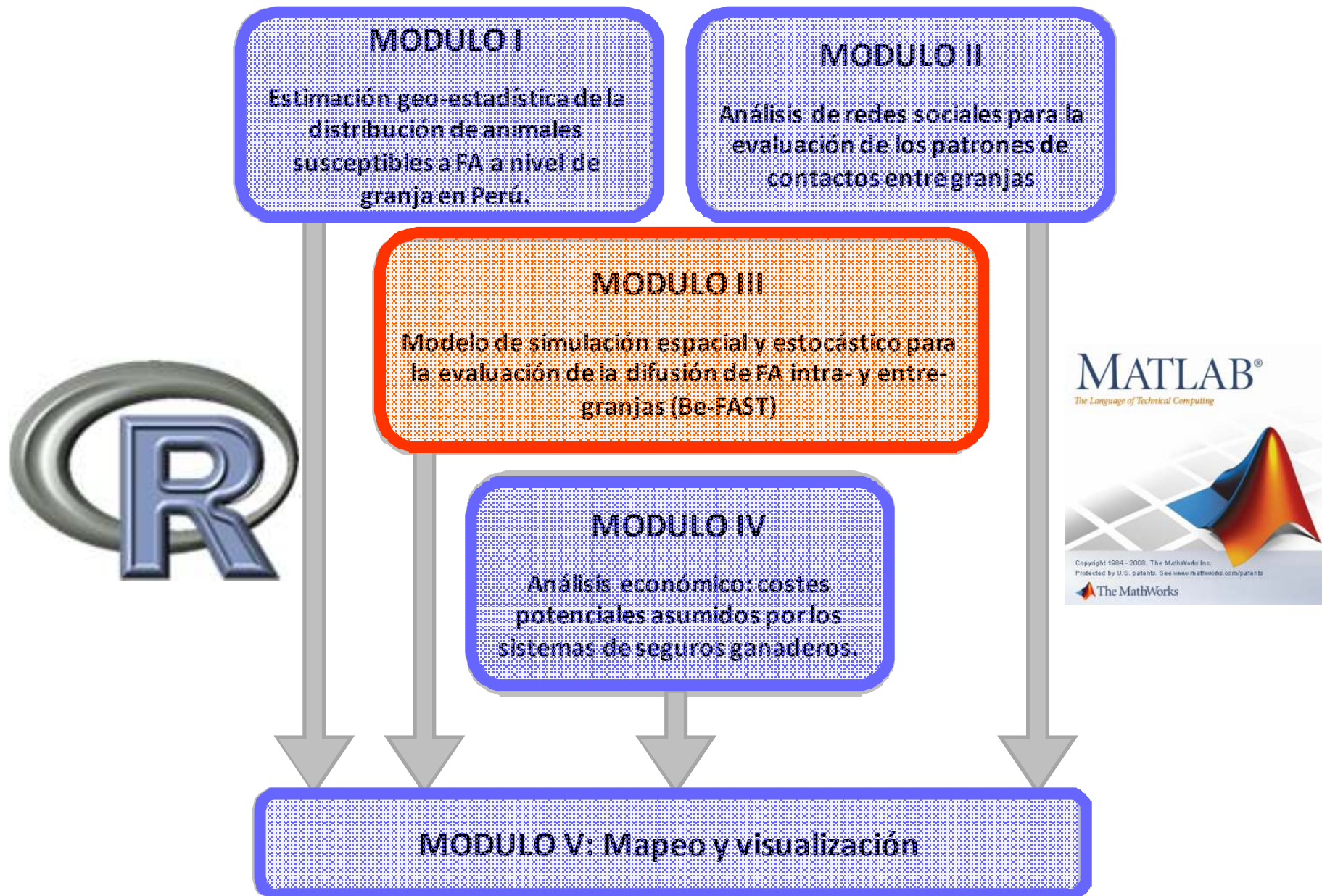
\*\* Ver cuantificación del riesgo en las secciones anteriores; R<sub>L</sub>=riesgo de liberación; R<sub>E</sub>=riesgo de exposición; R<sub>T</sub>=riesgo total; I<sub>L</sub>=incertidumbre de liberación; I<sub>E</sub>=incertidumbre de exposición; I<sub>T</sub>=incertidumbre total; 0=insignificante; - = bajo; + = medio; ++ = alto;

## II- Evaluación de la difusión

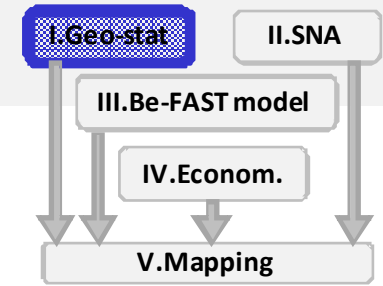




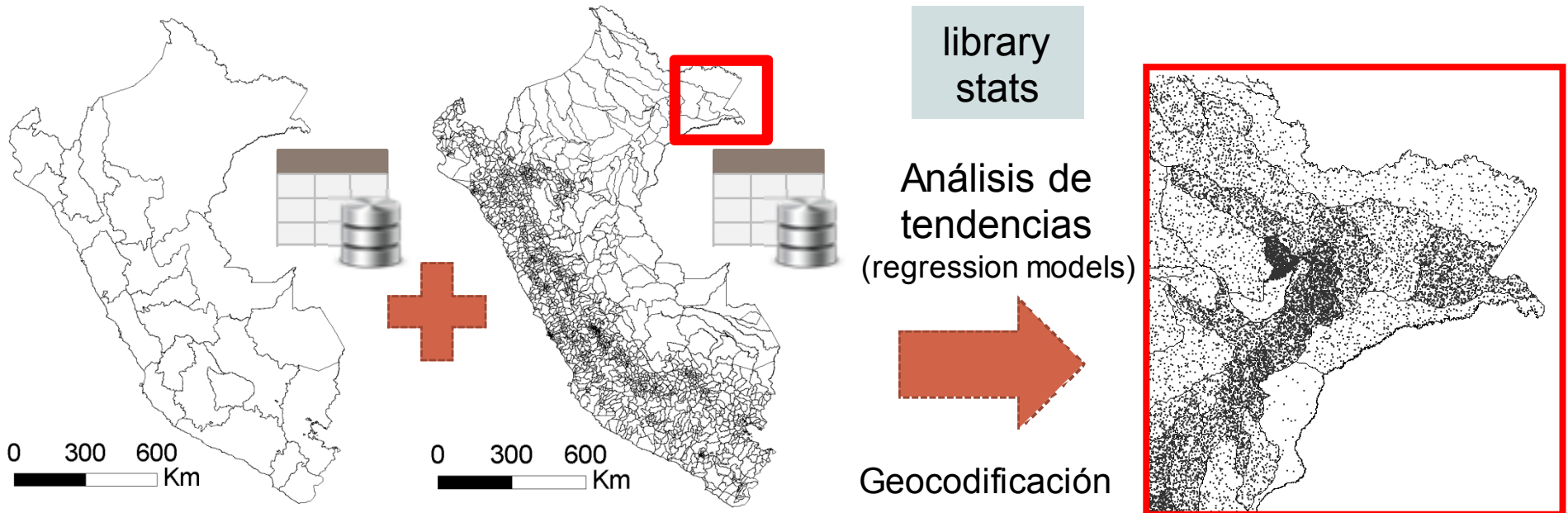
# METODOLOGIA – Evaluación de la difusión



# METODOLOGIA – Eval. de la difusión



**M.I. Estimación geo-estadística de la distribución de la población animal susceptible a FA a nivel de granja en Perú.**



Evolución de la población animal por especies y departamento desde 1994 a 2005  
 From INEI (Instituto Nacional de Estadística)

Número de granjas por especies, número de animales por especie, edad, género y tamaño de granja  
 From CENAGRO 1994 (1,834 x 7 = 12,388 tables)

library splancs

$$F_{(s)} (x_i, y_i) \in \mathbb{N}$$

$$A_{(s,g,a)i} \in \mathbb{N}$$

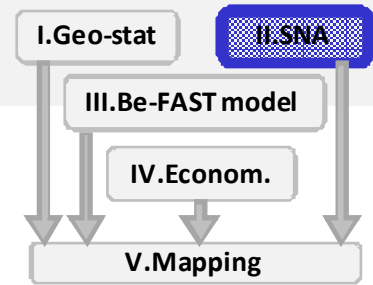
Distribución de las granjas y del tipo de animal por granja durante 2013

Nivel departamento

Nivel distrito

Nivel granja

# METODOLOGIA – Eval. de la difusión

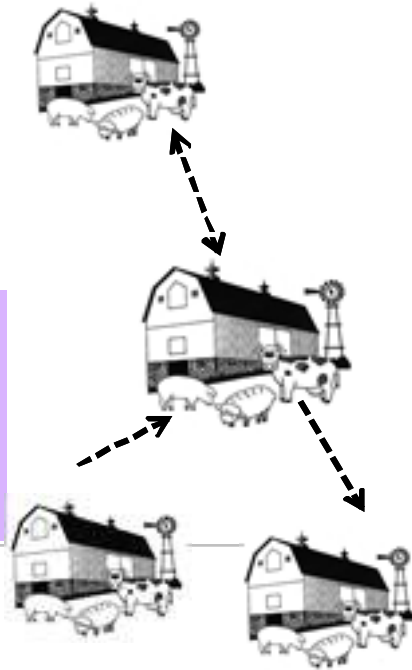


## M.II. Análisis de redes sociales para la evaluación de los patrones de contactos entre granjas



Certificado Sanitario de Tránsito Interno (CSTI), 2011, Peru

- Origen
- Destino
- Día del movimiento
- Número de animales movidos por especie
- Propósito del movimiento (i.e. comercio, exhibición, engorde, reproducción, consumo, sacrificio, etc.)
- Identificador de propietario, conductor y camión

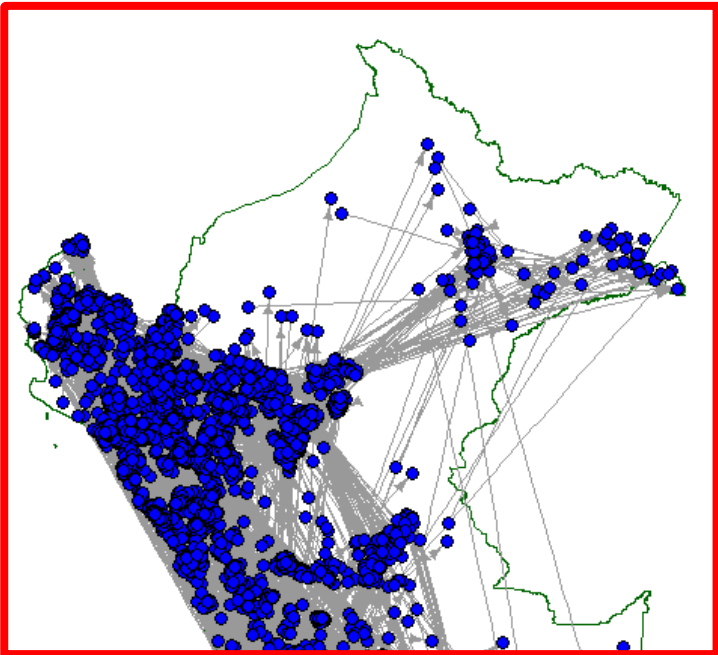


library  
igraph

Construcción de la red de movimientos



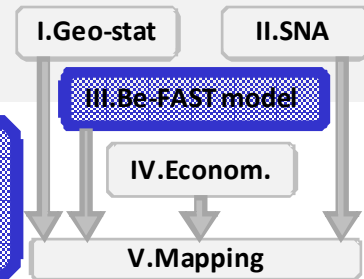
Cálculo de las medidas de centralidad  
(i.e. degree, closeness and betweenness)



Nivel de granja

# METODOLOGIA – Eval. de la difusión

## M.III. Modelo de simulación espacial y estocástico para la evaluación de la transmisión de FA intra- y entre- granja (Be-FAST)



## Adaptación del **modelo Be-FAST** para la simulación de **la transmisión de FA**

Veterinary Microbiology 147 (2011) 300–309



Contents lists available at ScienceDirect

Veterinary Microbiology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/vetmic](http://www.elsevier.com/locate/vetmic)



Research article

A novel spatial and stochastic model to evaluate the within- and between-farm transmission of classical swine fever virus. I. General concepts and description of the model

B. Martínez-López<sup>a,\*</sup>, B. Ivorra<sup>b</sup>, A.M. Ramos<sup>b</sup>, J.M. Sánchez-Vizcaíno<sup>a</sup>

<sup>a</sup>VISAVET, Animal Health Department, Veterinary School, Complutense University of Madrid, Av. Puerta de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain

<sup>b</sup>Applied Mathematics Department, Mathematics School, Complutense University of Madrid, Plaza de Ciencias 3, 28040 Madrid, Spain

Ann Oper Res

DOI 10.1007/s10479-012-1257-4

## Mathematical formulation and validation of the Be-FAST model for Classical Swine Fever Virus spread between and within farms

Benjamin Ivorra · Beatriz Martínez-López · José M. Sánchez-Vizcaíno · Ángel M. Ramos

Veterinary Microbiology 155 (2012) 21–32



Contents lists available at ScienceDirect

Veterinary Microbiology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/vetmic](http://www.elsevier.com/locate/vetmic)



A novel spatial and stochastic model to evaluate the within and between farm transmission of classical swine fever virus: II Validation of the model<sup>☆</sup>

B. Martínez-López<sup>a,\*</sup>, B. Ivorra<sup>b</sup>, D. Ngom<sup>c,d</sup>, A.M. Ramos<sup>b</sup>, J.M. Sánchez-Vizcaíno<sup>a</sup>

<sup>a</sup>VISAVET Center and Animal Health Department, Veterinary School, Complutense University of Madrid, Av. Puerta de Hierro s/n, 28040, Madrid, Spain

<sup>b</sup>MOMAT research group, IMI-Institute and Applied Mathematics Department, Mathematics School, Complutense University of Madrid, Plaza de Ciencias, 3, 28040, Madrid, Spain

<sup>c</sup>Mathematics Department, University of Ziguinchor, Bp: 523, Ziguinchor, Senegal

<sup>d</sup>LANI (Gaston Berger University), Bp: 234, Saint Louis, Senegal

## Difusión de FA

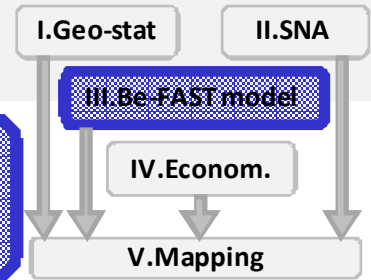
## Detección de FA

## Control de FA

Parameter	Value
Within-farm transmission parameter <sup>(1)(2)</sup>	C: Beta =0.125; P: Beta =0.150; SG: Beta =0.105; AL: Beta =0.075; M: Beta =0.105
Number of pig movements from fam <i>h</i> to fam <i>k</i> at day <i>t</i> <sup>(3)(4)</sup>	Poisson [M(t)]*m <sub>hk</sub> /MT
Number of pigs moved during a simulated movement from fam <i>h</i> to fam <i>k</i> at day <i>t</i> <sup>(3)(4)</sup>	n <sub>hk</sub> *N <sub>h</sub> (t)/N <sub>h</sub> (0) <sup>b</sup>
Probability of infection by animal contacts due to a movement from farm <i>h</i> to farm <i>k</i> at day <i>t</i>	Poisson [M(t)]*m <sub>hk</sub> / MT*n <sub>hk</sub> *I <sub>ph</sub> (t)/N <sub>h</sub> (0) <sup>c</sup>
Probability of infection by contact with vehicles transporting infected animals <sup>(2)</sup>	C,P,SG,M: Bernoulli [0.3] AL: Bernoulli [0.15]
Maximum number of visits that a vehicle can do per day <sup>(2)</sup>	4
Number of contacts with vehicles transporting products per fam at day <i>t</i> <sup>(2)</sup>	Poisson [0.1]
Probability of infection by contacts with vehicles transporting products <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.027]
Maximum number of visits that a person can do per day <sup>(2)</sup>	3
Number of contacts with people per fam at day <i>t</i> <sup>(2)</sup>	Poisson [0.2]
Probability of infection by contact with people <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.021]
Probability of infection by local spread at day <i>t</i> <sup>(5)(2)</sup>	0.0629 [0-<1km]; 0.0447 [1-<2km]; 0.0303 [2-<3km]; 0.0231 [3-<4km]; 0.0144 [4-<5km]; 0.0101 [5-<6km]; 0.0050 [6-<7km]; 0.0049 [7-<8km]; 0.0040 [8-<9km]; 0.0037 [9-<10km]; 0 [>10km] * I <sub>ph</sub> (t)/N <sub>h</sub> (t)
Latent period (transition from infected to infectious state) <sup>(6)(2)</sup>	Poisson [7]
Transition from infectious to clinical signs state <sup>(6)(2)</sup>	Poisson [2]
Probability of detection based on clinical signs at day <i>t</i> before detection of the index case <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.047]
Probability of detection based on clinical signs at day <i>t</i> outside the control and surveillance zones <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.0575]
Probability of detection based on clinical signs at day <i>t</i> in the control zone <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.98]
Probability of detection based on clinical signs at day <i>t</i> in the surveillance zone <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.95]
Probability of detection based on serological test <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.95]
Radius (duration) of the protection zone <sup>(2)</sup>	3km (min of 45 days)
Radius (duration) of the surveillance zone <sup>(2)</sup>	10km (min of 40)
Probability of restriction of animal movements on the detected as infected fam <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.99]
Probability of restriction of vehicle movements on the detected as infected fam <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.95]
Probability of restriction of people movements on the detected as infected fam <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.80]
Probability of restriction of animal movements within the control and surveillance zone <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.7]
Probability of restriction of vehicle movements within the control and surveillance zone <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.90]
Probability of restriction of people movements within the control and surveillance zone <sup>(2)</sup>	Bernoulli [0.70]
Duration of the restriction of movements outside the control and surveillance zones <sup>(2)</sup>	90 days
Probability of restriction of movements outside the control and surveillance zones <sup>(2)</sup>	C,P,SG,M: Bernoulli [0.3] AL: Bernoulli [0.1]
Probability to depopulate a detected as infected farm <sup>(2)</sup>	1
Maximum number of fams to be depopulated at day <i>t</i> <sup>(2)</sup>	Poisson [20]
Time to repopulation of a depopulated fam <sup>(2)</sup>	Poisson [90]
Probability of tracing an animal movement <sup>(2)</sup>	C,P,SG,M: Bernoulli [0.8]; AL: Bernoulli [0.4]
Probability of tracing a vehicle movement <sup>(2)</sup>	C,P,SG,M: Bernoulli [0.8]; AL: Bernoulli [0.4]
Probability of tracing a vehicle transporting products <sup>(2)</sup>	C,P,SG,M: Bernoulli [0.7]; AL: Bernoulli [0.35]
Probability of tracing a people movement <sup>(2)</sup>	C,P,SG,M: Bernoulli [0.6]; AL: Bernoulli [0.3]
Period of time to consider when tracing historical incoming or outgoing contacts <sup>(2)</sup>	60
Maximum number of fams to be traced at day <i>t</i> <sup>(2)</sup>	120

<sup>(1)</sup>Orsel et al., 2007 ; <sup>(2)</sup>Expert opinion <sup>(3)</sup>CSTI of Peru 2011 ; <sup>(4)</sup>Martínez-López et al., 2011 ; <sup>(5)</sup>Sanson et al 2006 ; <sup>(6)</sup>Burrows, 1968 and Orsel et al., 2009 ; <sup>(7)</sup>McLaws et al., 2007.

# METODOLOGIA – Eval. de la difusión



## M.III. Modelo de simulación espacial y estocástico para la evaluación de la transmisión de FA intra- y entre- granja (Be-FAST)

Para el escenario = 1, ..., M  
 Para el día = 0, ..., T

### Algoritmo de Monte-Carlo

#### 1- Transmisión intra-granja (Modelo SI: Susceptible-Infectado)

$$\frac{dNI_i(t)}{dt} = \beta_i \frac{NS_i(t)NI_i(t)}{NP_i(t)}$$

$NI_i$  = número de animales infectados  
 $NS_i$  = número de animales susceptibles  
 $NP_i$  = número total de animales en la granja  $i$

$\beta_i$  **varía dependiendo del tipo de granja\***  
 (\*basado en revisiones bibliográficas)

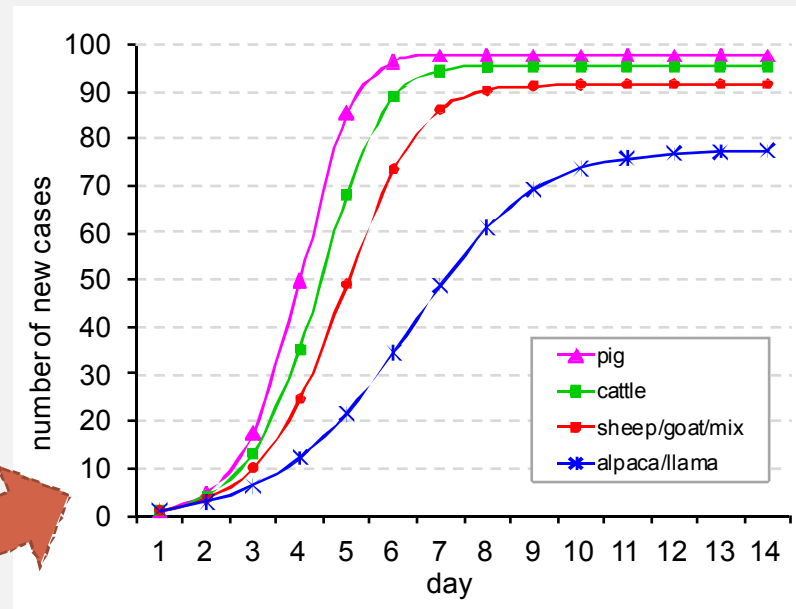
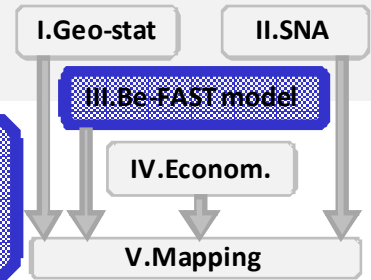


Figura 1. % acumulado del número de casos por día para cada tipo de granja como resultado del modelo SI

# METODOLOGIA – Eval. de la difusión



## M.III. Modelo de simulación espacial y estocástico para la evaluación de la transmisión de FA intra- e inter- granja (Be-FAST)

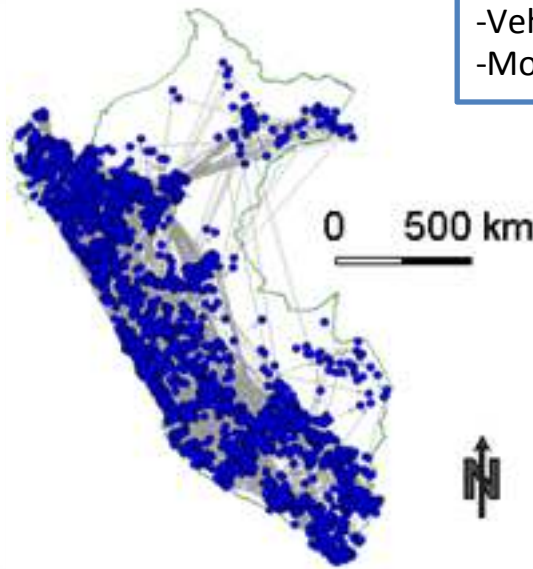
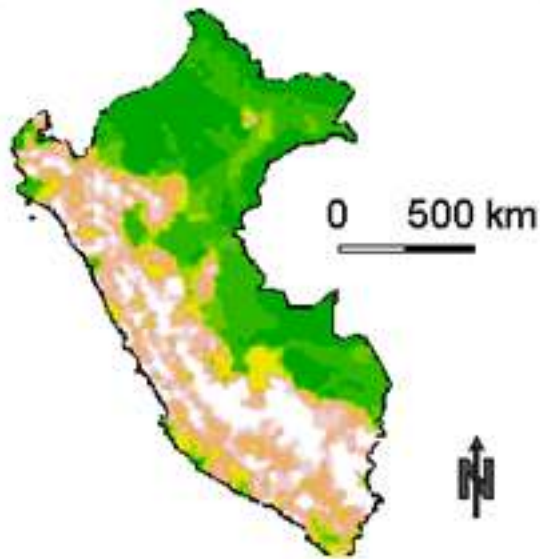
Para el escenario = 1,...,M  
Para el día = 0,...,T

### Algoritmo de Monte-Carlo

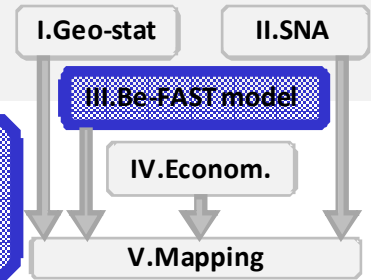
**1- Transmisión intra-granja**  
(Modelo SI: susceptible-infectado)

**2- Transmisión entre-granja**  
(Modelo individual espacial estocástico: S-I-T-Cs)

- Difusión local
- Contactos directos (red real de movimientos)
- Vehiculos transportando productos
- Movimiento de personas



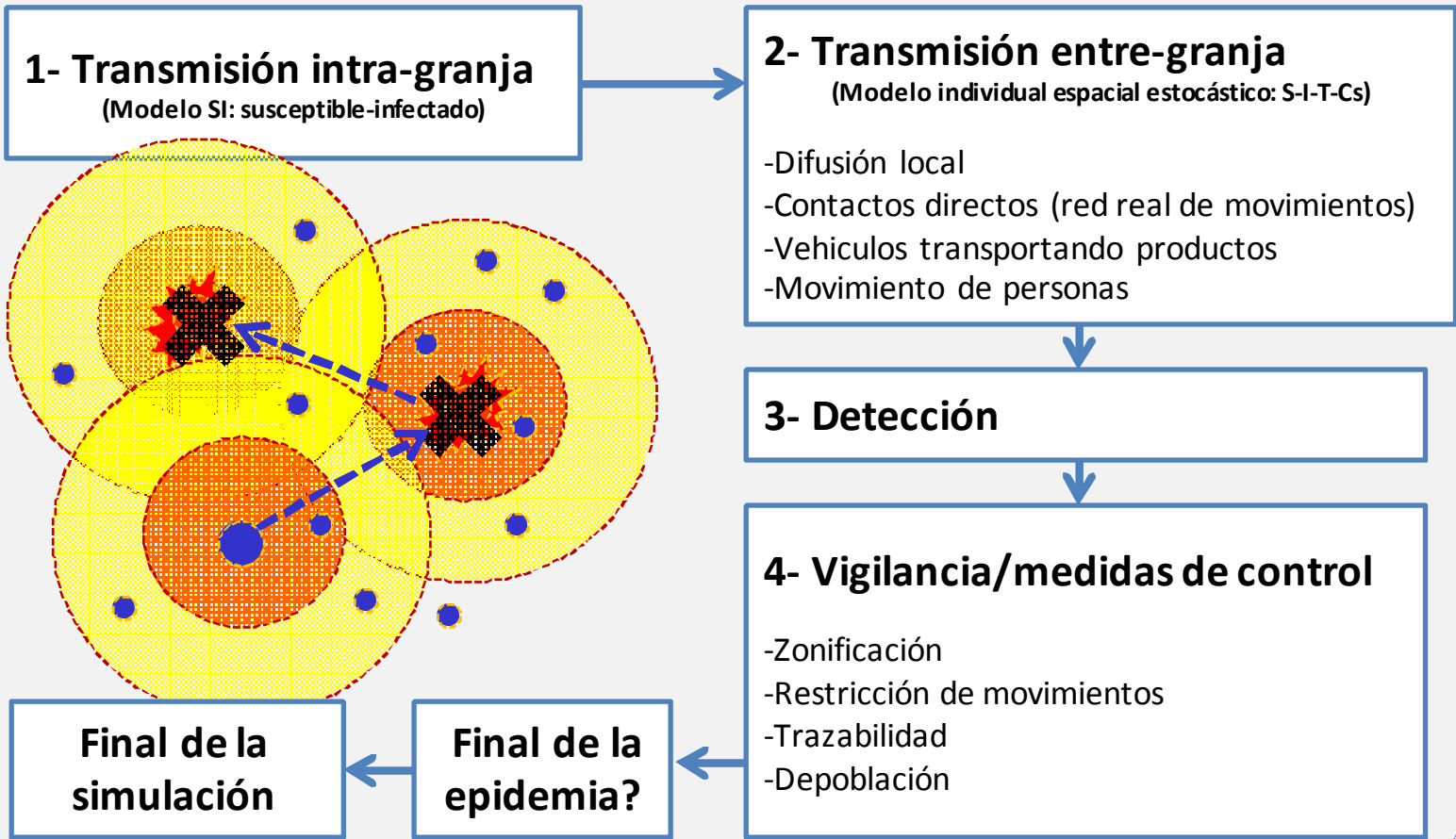
# METODOLOGIA – Eval. de la difusión



## M.III. Modelo de simulación espacial y estocástico para la evaluación de la transmisión de FA intra- e inter- granja (Be-FAST)

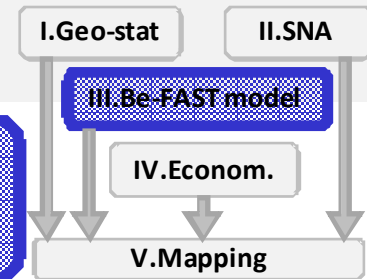
Para el escenario = 1,...,M  
Para el día = 0,...,T

### Algoritmo de Monte-Carlo





# METODOLOGIA – Eval. de la difusión



## M.III. Modelo de simulación espacial y estocástico para la evaluación de la transmisión de FA intra- e inter- granja (Be-FAST)

1000 epidemias simuladas

### Selección del caso índice:

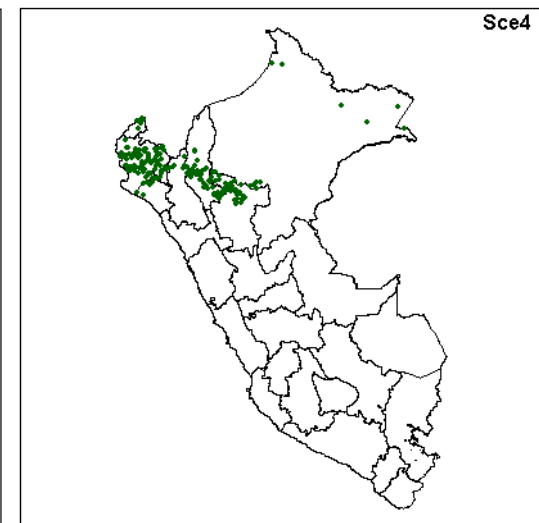
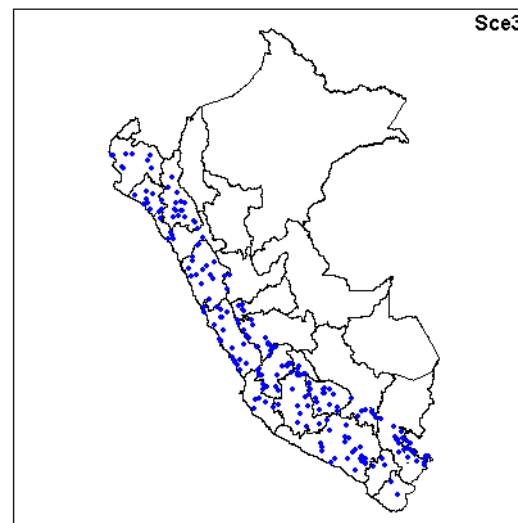
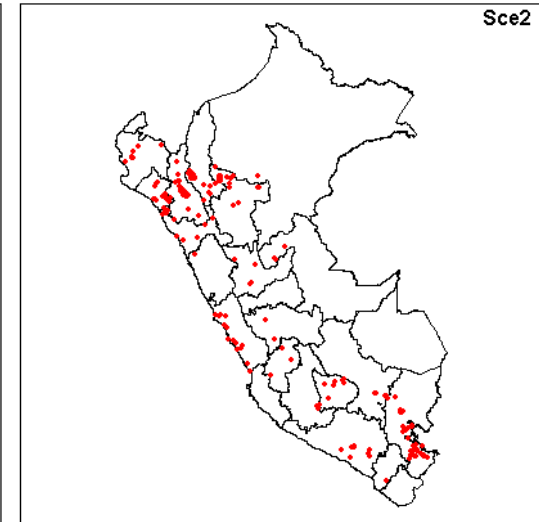
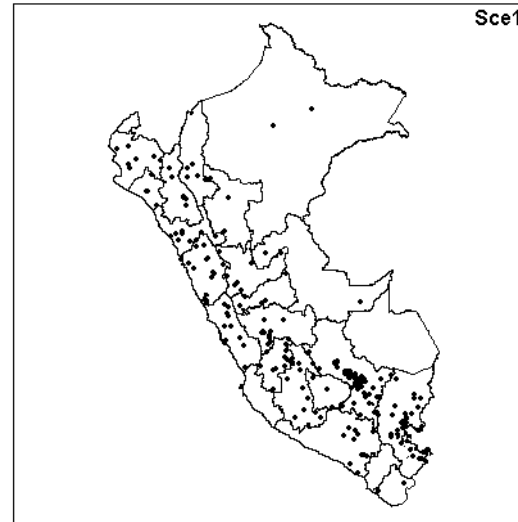
**Sce1:** Aleatoria (en todas las regiones)

**Sce2:** Aleatoria entre aquellas con **movimientos salientes** (out-degree>0)

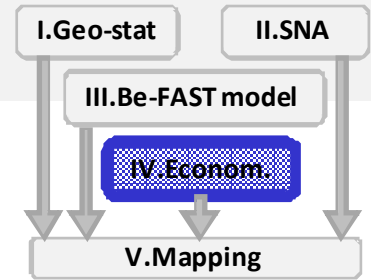
**Sce3:** Aleatoria entre aquellas localizadas en la **Costa o Sierra** (zonas de alta densidad ganadera)

**Sce4:** Aleatoria entre aquellas localizadas en el **Norte** de Perú

Análisis de sensibilidad y validación con datos históricos de epidemics en Peru



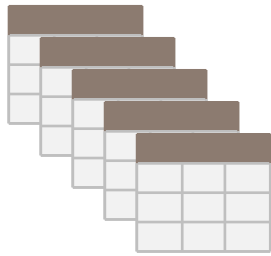
# METODOLOGIA – Eval. de la difusión



## M.IV. Análisis económico: coste potencial cubierto por los sistemas de seguros ganaderos

Costes directos

Compensación por muerte o sacrificio



librería mc2d



Encuesta de opinión de expertos

Departamento

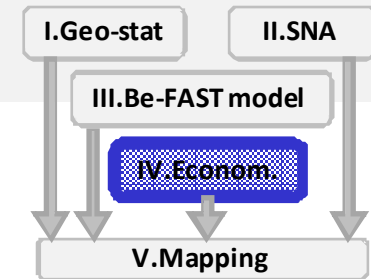
Minimo, mas probable y máximo **precio de mercado del animal** para cada departamento de Perú y cada categoría de animales durante 2013  
 $25 \times 15 = 375$  distribuciones pert

Especie ganadera	Grupo de animales	Tipo de animal	Valor de los animales vivos (nuevos soles/cabeza)		
			mínimo	más probable	máximo
Vacuno	Reproductores	Hembra reproductora			
		Semental			
	Recria y otros animales menores	Menor de 3 meses			
Ovino y caprino	Reproductores	Hembra reproductora			
		Semental			
	Recria y otros animales menores	Menor de 3 meses			
Porcino	Reproductores	Hembra reproductora			
		Semental			
	Recria y otros animales menores	Menor de 3 meses			
Alpaca	Reproductores	Hembra reproductora			
		Semental			
	Recria y otros animales menores	Menor de 3 meses			
Llama	Reproductores	Hembra reproductora			
		Semental			

Figura 1. Distribuciones Pert empleadas para el valor (US\$) de recría, ganado bovino reproductor hembra y macho en dos regiones de Perú

# METODOLOGIA – Eval. de la difusión

## M.IV. Análisis económico: coste potencial cubierto por los sistemas de seguros ganaderos



### Costes directos

Compensación por muerte o sacrificio

### Costes indirectos

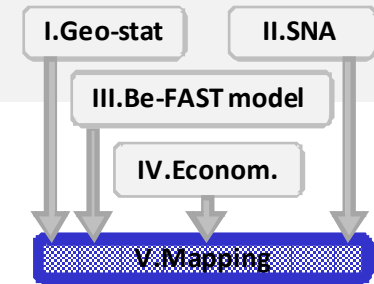
**Costes de inmovilización\***  
(depreciación del valor del animal, coste de la alimentación, etc,)

Animal inmovilizado	Coste/animal /semana
Adultos (reproducción) bovino	7 US\$
Bovino joven (<3 meses) y porcino adulto (reproducción)	3 US\$
Ovino, caprino y camelidos adultos (reproducción)	2 US\$
Ovino, caprino y camelidos jóvenes	1 US\$

\*Se asume similar a las establecidas en los seguros ganaderos en España

# METODOLOGIA – Eval. de la difusión

## M.V. Mapeo y visualización



Producción de **gráficos** (i.e. curvas epidémicas, etc.), **mapas** para la representación espacial de los resultados de los módulos I to IV.

Mapas de las regiones administrativas de Perú (i.e. departamento > provincia > distrito) se obtuvieron del Ministerio de Medio Ambiente de Peru (available at: <http://geoservidor.minam.gob.pe/intro/>).

Quartic kernel functions with a correction for edge effects

Se empleó el algorithmo de Fisher-Jenks (Fisher, 1958) para determinar la categorización de los datos.

library  
classInt

library  
splancs

library  
sp

library  
RColorBrewer

library  
maps

library  
maptools

library  
mapproj

# RESULTADOS – Eval. de la difusión

## M.I. Distribución de la población de animales susceptibles de Perú a nivel de granja

### Población susceptible a FA estimada en Peru:

- Granjas: 1,986,750
- Animales: 27,671,887

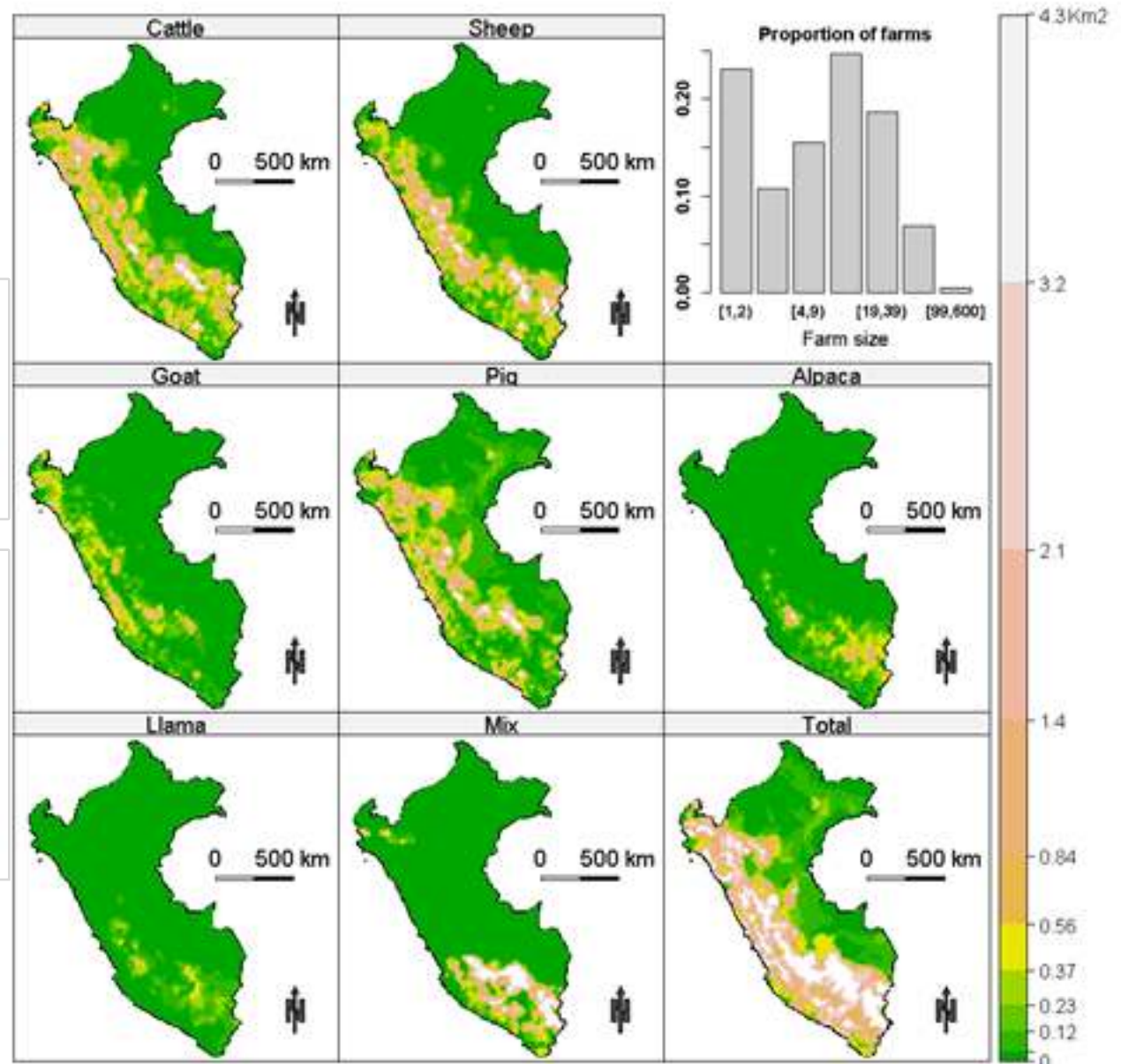
### Tamaño de granja:

- 49.3% pequeñas (<8 cabezas)
- 43.3% medianas (9-38)
- 7.4% grandes (>38)

### Media (desviación estándar) edad/sexo tipo de animales por granja:

- Machos (reproducción): 1(2)
- Hembras (reproducción): 7(12)
- Joven (<3 meses); 6 (9)

Fig 1. Densidad de granjas  
estimada por especies por Km<sup>2</sup>  
en Perú durante 2013  
(Categorización con el algoritmo  
de Fisher-Jenks)

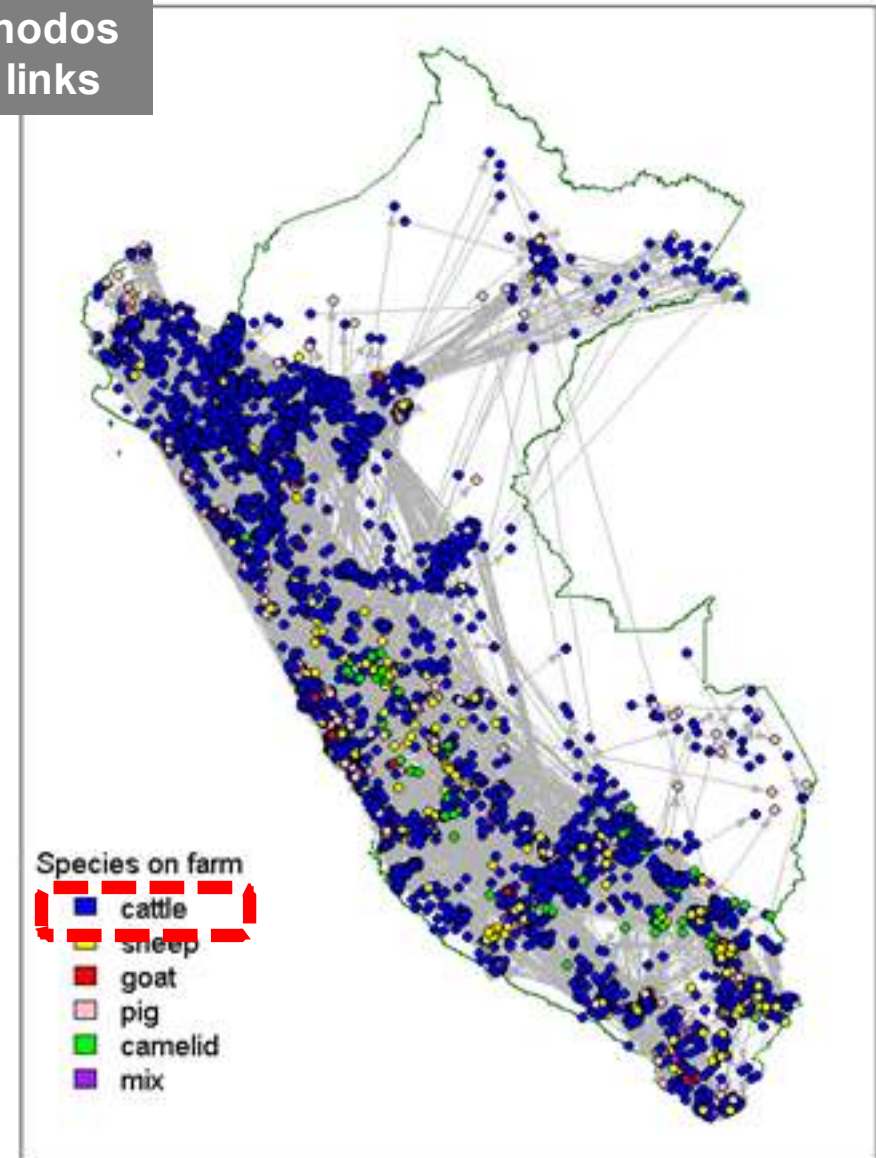
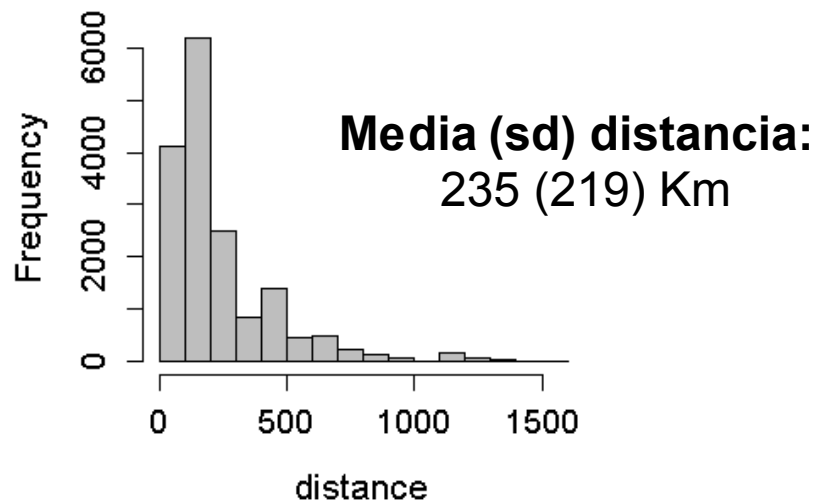
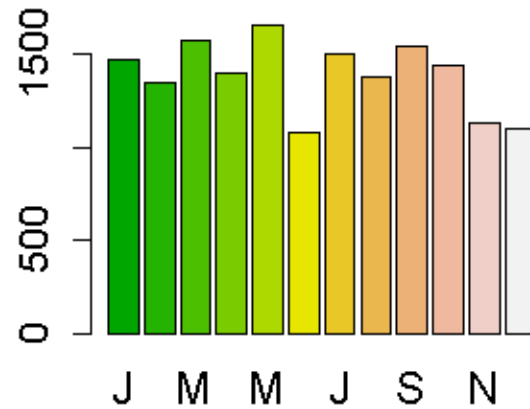


# RESULTADOS – Eval. de la difusión

## M.II. Análisis de redes para la evaluación del patrón de contactos de granja-a-granja

**Media (ds) movimientos/ mes**  
1388 (189)

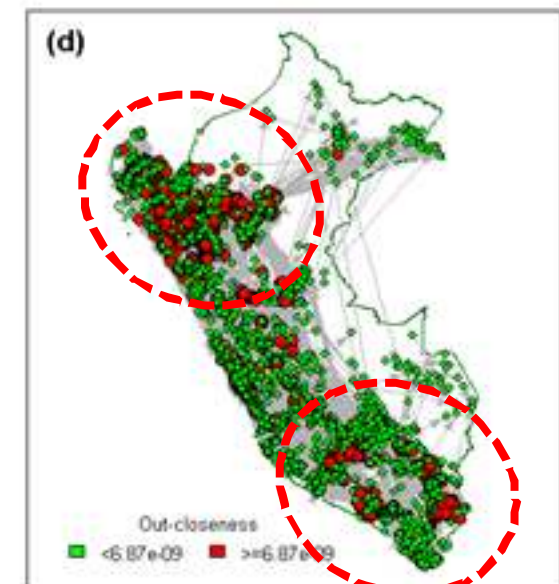
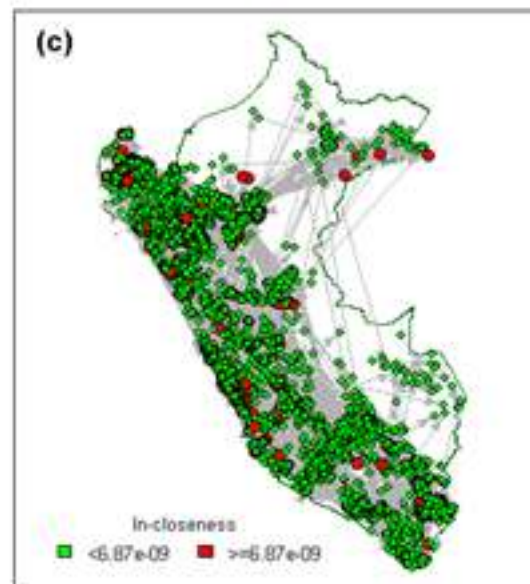
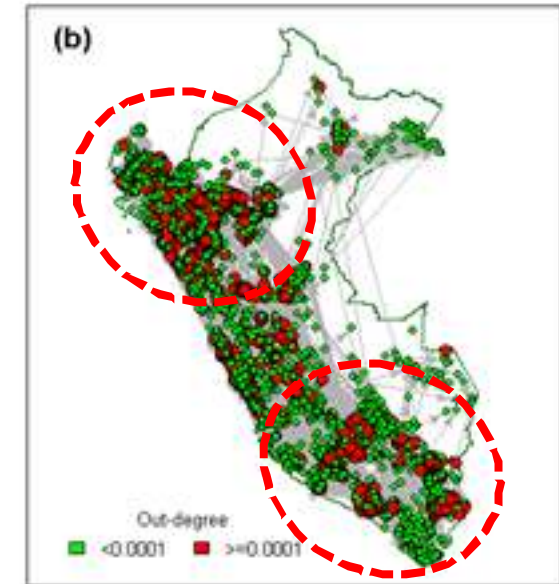
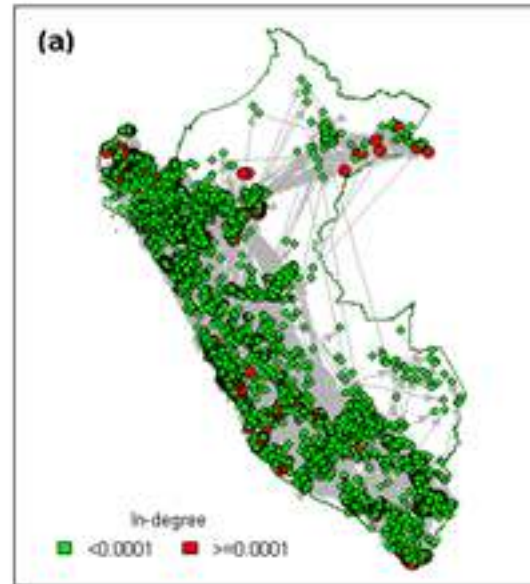
12,068 nodos  
16,650 links



# RESULTADOS – Eval. de la difusión

## M.II. Análisis de redes para la evaluación del patrón de contactos de granja-a-granja

Elevados valores de **out-degree** y **out-closeness** se concentran en el norte y sur de Perú.



# RESULTADOS – Eval. de la difusión

## M.III. Modelo espacial estocástico (Be-FAST)

	sce1 (n=250)	sce2 (n=250)	Media (95% IP) sce3 (n=250)	sce4 (n=250)	Total (n=1000)
Número de granjas infectadas	48 (0, 378)	62 (0, 494)	34 (0, 333)	5 (0, 40)	<b>73 (0, 1164)</b>
Número de animales infectados	2631 (0, 13149)	3310 (9, 23577)	2502 (0, 10793)	153 (0, 1158)	<b>2152 (0, 13250)</b>
Número de distritos infectados	2 (1, 8)	4 (1, 21)	2 (1, 6)	3 (1, 11)	<b>4 (1, 16)</b>
Duración de la epidemia	69 (0, 500)	91 (0, 726)	57 (0, 199)	35 (0, 189)	<b>63 (0, 442)</b>
Número de granjas immobilizadas	63,570 (332, 210k)	55,250 (390, 294k)	8,504 (8, 111k)	40,490 (11, 99k)	<b>44,330 (135, 249k)</b>
Duración de la inmovilización	115 (18, 717)	120 (14, 730)	98 (11, 364)	77 (15, 219)	<b>103 (13, 718)</b>
Tiempo hasta la detección	9 (1, 31)	10 (1, 37)	10 (1, 24)	15 (4, 49)	<b>11 (1, 38)</b>
Riesgo de infección por granja	1.09 (1, 2)	1.83 (1, 9)	1.10 (1, 2)	1.11 (1, 2)	<b>1.32 (1, 4)</b>
R0 (riesgo de difusión por granja)	2.61 (1, 10)	3.33 (1, 14)	2.44 (1, 9)	1.98 (1, 6)	<b>2.79 (1, 11)</b>
% de infecciones asociadas al movimiento de animales	0.01	0.21	0	0.02	<b>0.09</b>
% de infecciones asociadas a la difusión local	99.62	99.34	99.54	98.9	<b>99.46</b>
% de infecciones asociadas al movimiento de personas	0.23	0.21	0.33	0.69	<b>0.26</b>
% de infecciones asociadas al movimiento de vehículos que transportan productos	0.13	0.12	0.13	0.39	<b>0.14</b>
% de infecciones asociadas al movimiento de vehículos que transportan animales	0.01	0.12	0	0	<b>0.05</b>
% de detección por signos clínicos	47.7	21.2	40.2	8.15	<b>33.8</b>
% de detección por vigilancia activa en la zona de control	43.62	67.67	48.38	78.33	<b>55.5</b>
% de detección por vigilancia activa en la zona de vigilancia	4.08	4.11	4.96	13.31	<b>4.57</b>
% de detección por trazabilidad	0.007	0.1	0	0	<b>0.04</b>
% de epidemias con duración > 2 años	4.55	6.97	6.43	0.2	<b>6.07</b>
Costes directos en US\$	1.36 mill (972, 8.2m)	2.09 mill (7, 051, 15.5m)	1.22 mill (652, 5.1m)	102,082 (178, 964k)	<b>1.19 mill (1, 072, 9.5m)</b>
Costes indirectos en US\$	180,000 (0, 794,444)	149,000 (0, 674,460)	42,850 (0, 219,237)	122,200 (0, 603,714)	<b>120,700 (0, 735,907)</b>



# RESULTADOS – Eval. de la difusión

## M.III. Modelo espacial estocástico (Be-FAST)

**El porcentaje de granjas (y animales) infectados:**

- Pequeño → 39.6% (8.4%)
- Mediano → 54.5% (62.4%)
- Grande → 5.9% (29.2%)

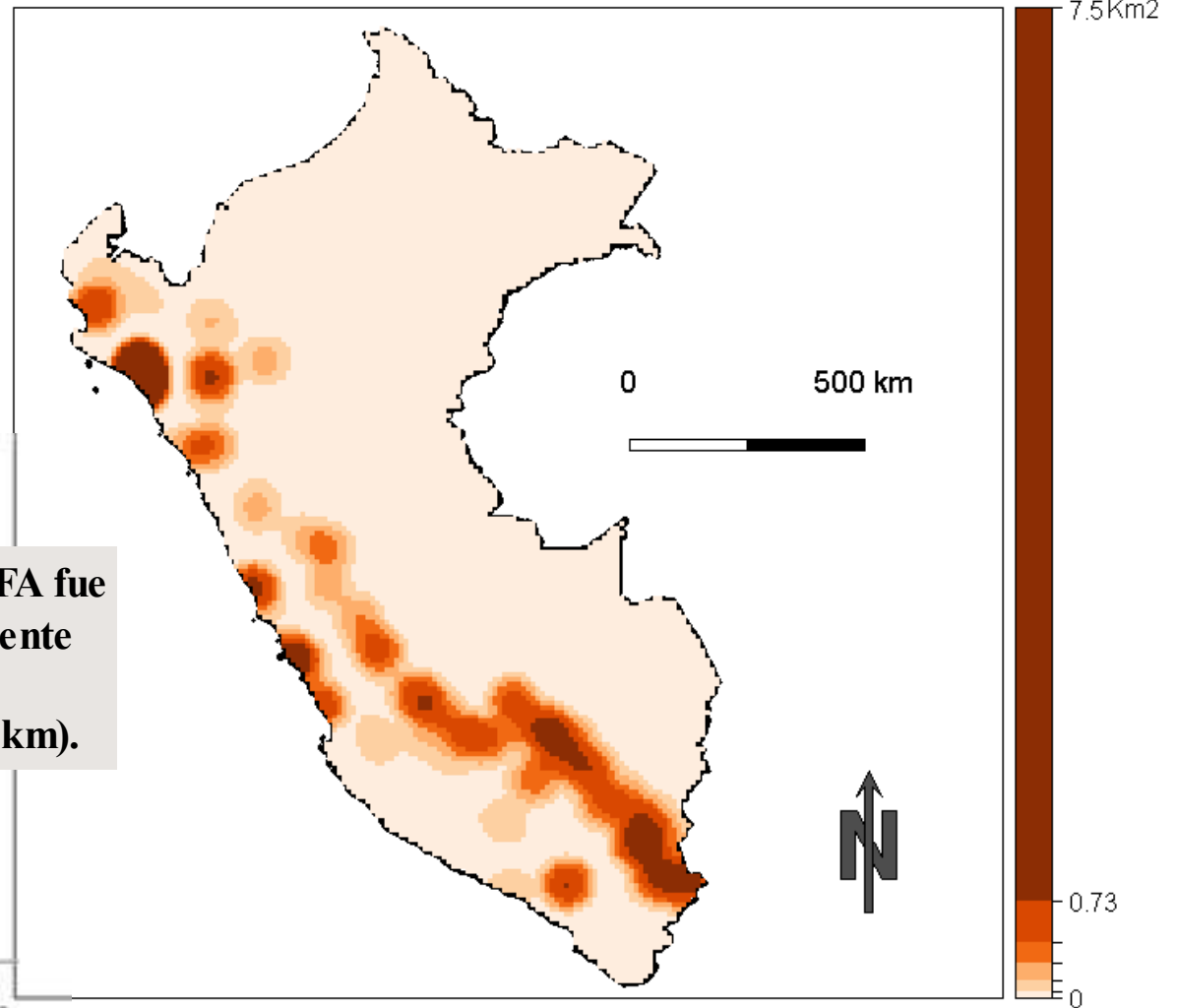
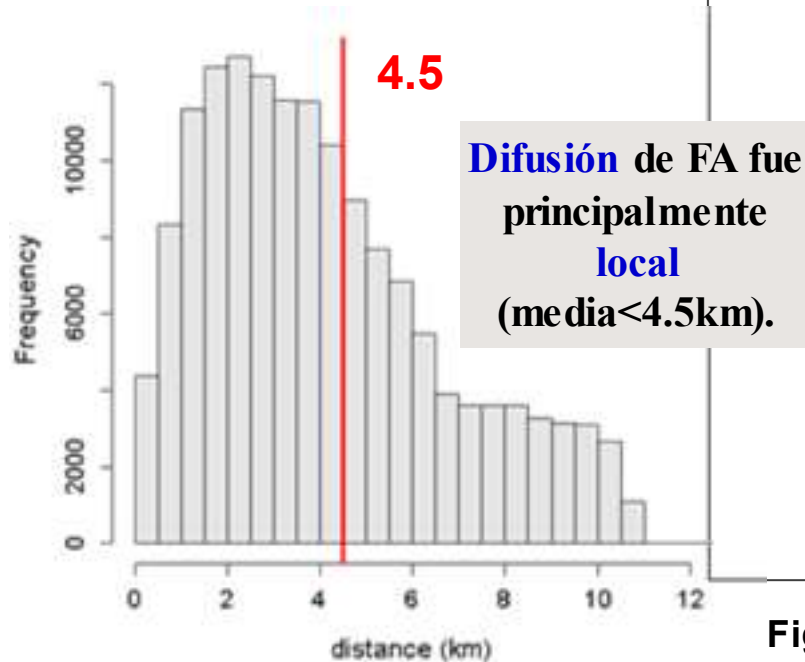


Fig 4. Mapa de riesgo de la difusión potencial de FA en Perú.

Fig 5. Distancia desde la granja infecciosa a la granja infectada

# RESULTADOS – Eval. de la difusión

## M.III. Modelo espacial estocástico (Be-FAST)

El mayor riesgo de difusión de FA se concentró en las áreas ecológicas de **costa y sierra** para todos los escenarios.

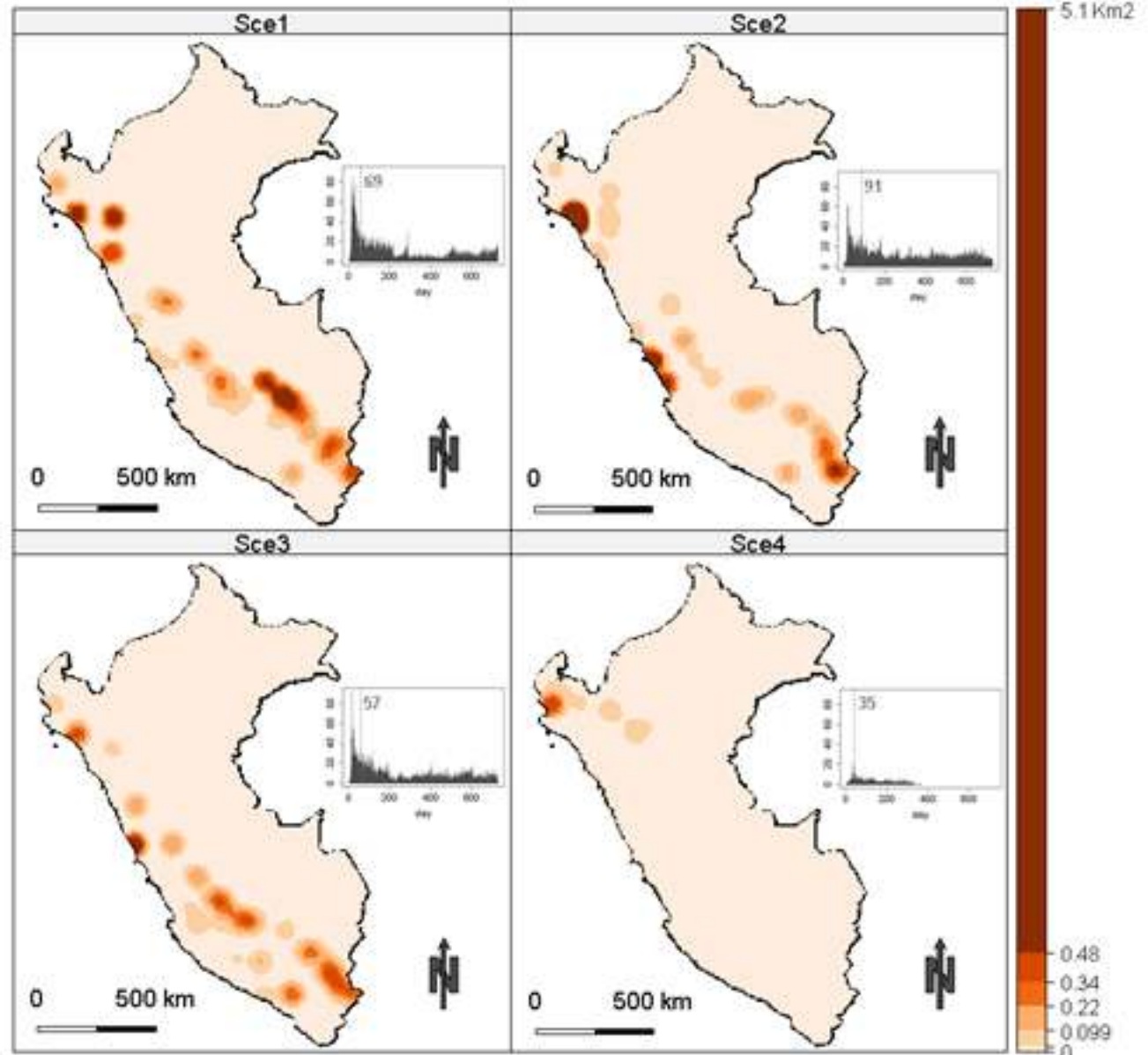
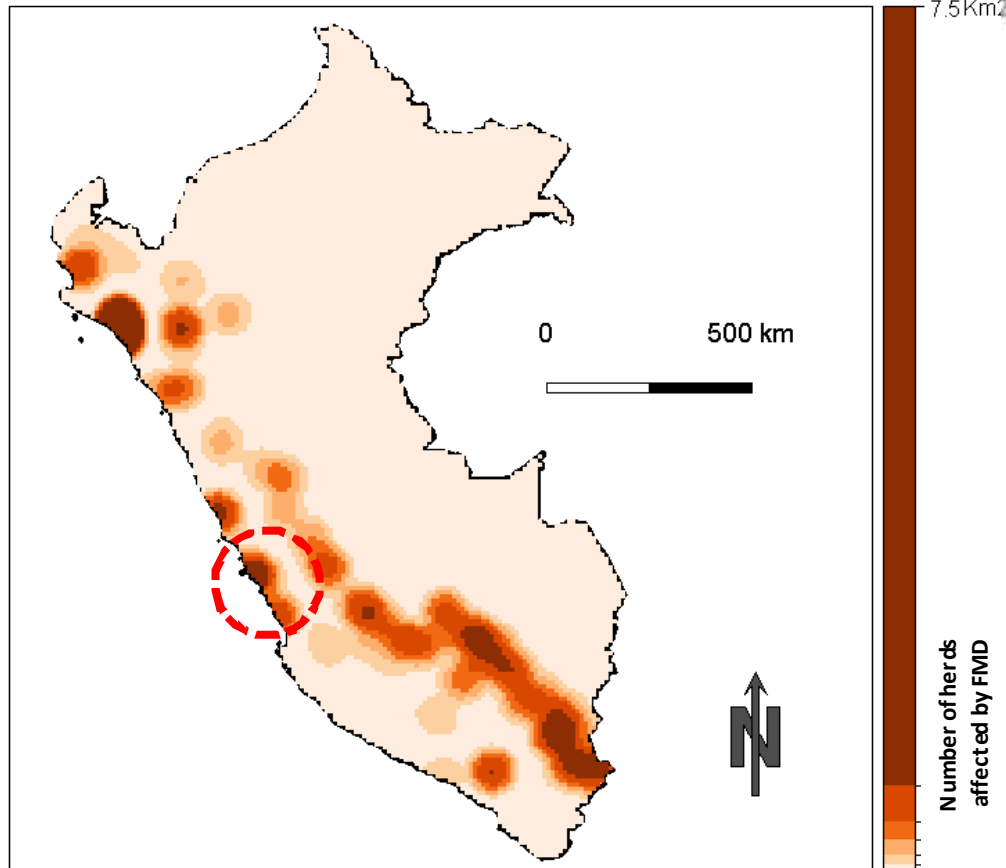


Fig 6. Mapa de riesgo (y curva epidémica) de la difusión potencial de FA en Perú en los 4 escenarios considerados

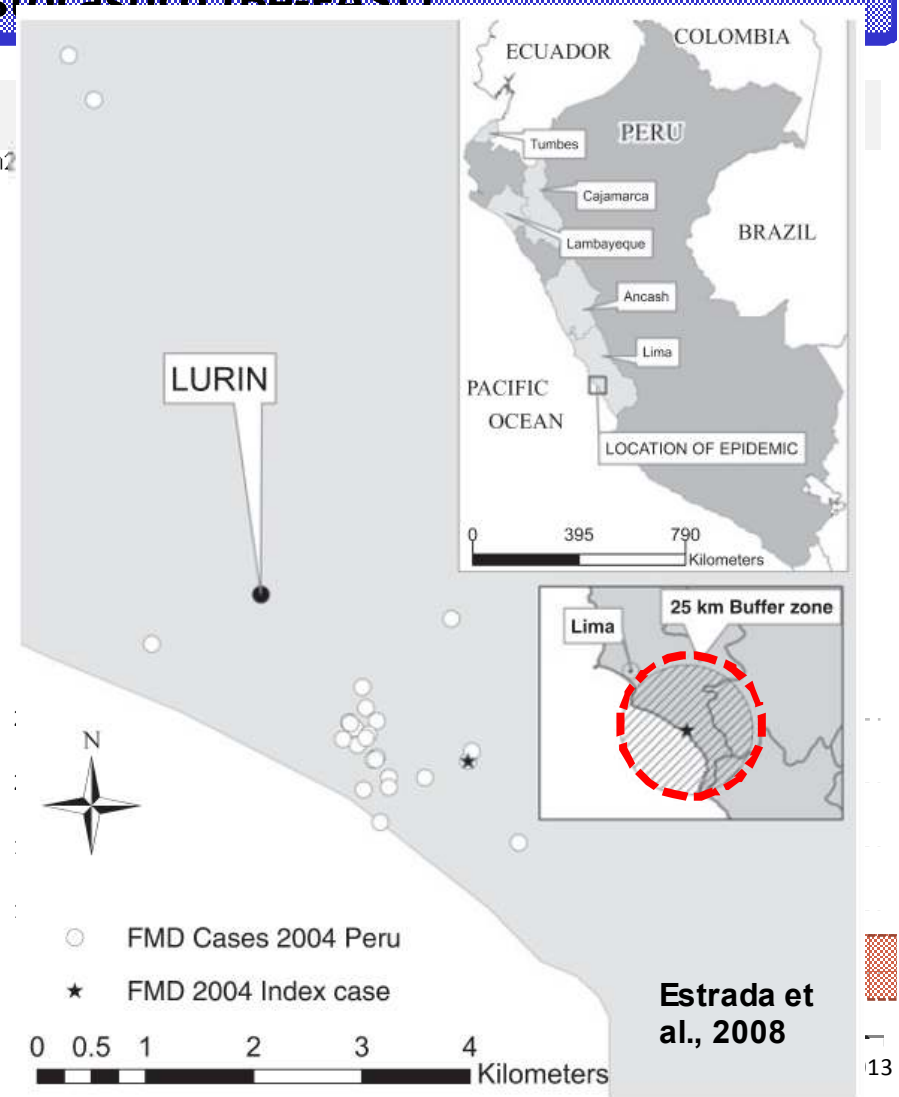
# RESULTADOS – Eval. de la difusión

## M.III. Modelo espacial estocástico (Be-FAST)

Be-FAST model



Número de granjas infectadas ~ 73 (0, 1,164)  
Duración de la epidemia ~ 63 (0, 442)  
 $R_0 = 2.79$  (1, 11)

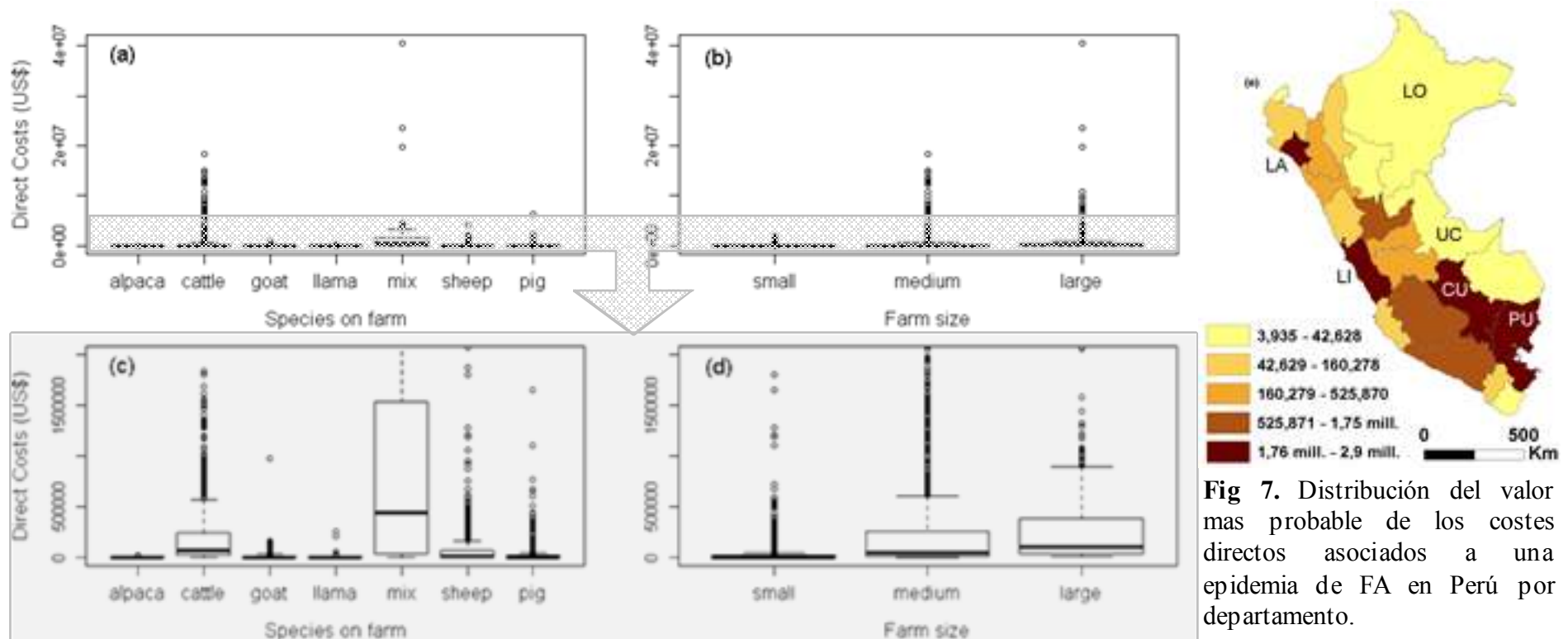


26 granjas infectadas  $R_0 = 5.3$  (día 2)  
39 días (duración de la epidemia)  $R_0 = 1.31$  (día 25)

# RESULTADOS – Eval. de la difusión

## M.IV. Análisis económico: costes que cubrirían los sistemas de seguros ganaderos

La media (95% IP) global de los **costes directos** asociados a la muerte/sacrificio de los animales infectados es **1.19 millones** (1,072, 9.5 million) US\$.



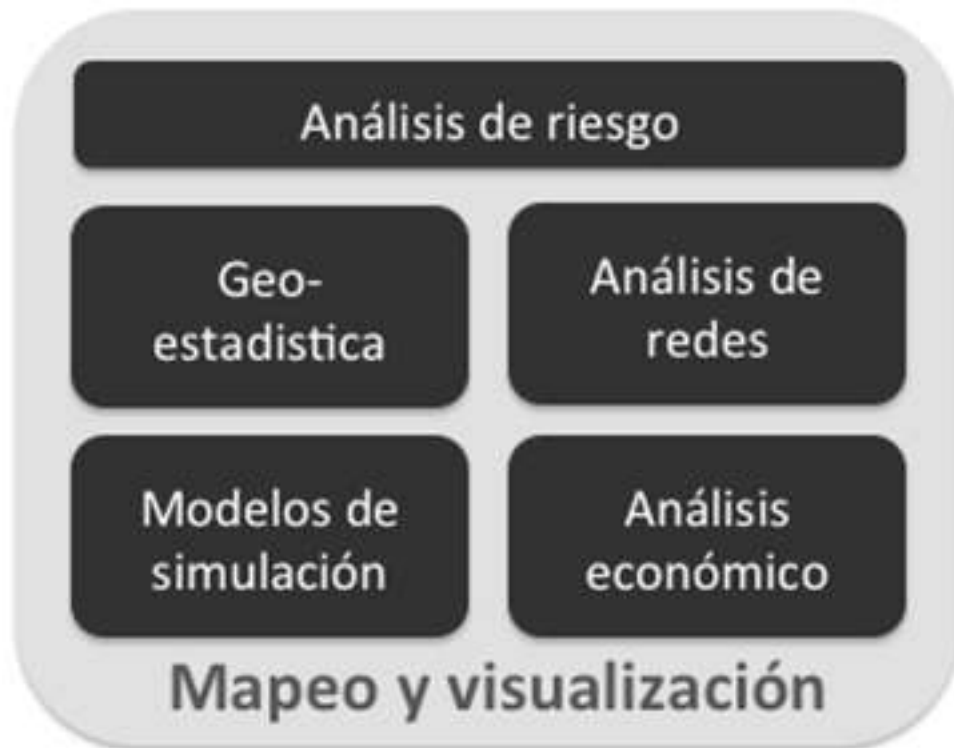
La media (95% IP) global de los **costes indirectos** asociados a la inmovilización de los animales (i.e., depreciación del valor de los animales y el coste de la alimentación) fue de **120,700** (0, 735,907) US\$.

# CONCLUSIONES

- Se dispone de muchas herramientas epidemiológicas que nos pueden proporcionar **estimaciones cuantitativas detalladas del riesgo y del coste económico potencial de potenciales epidemias de FA** en el escenario de re-introducción con el estatus de “libre sin vacunación” → informan el diseño de **sistemas de vigilancia basados en riesgo** y la **implementación de sistemas de seguros ganaderos**.
- En el trabajo de Perú, los resultados revelan que **futuros brotes de FA serían de magnitud, duración e impacto económico relativamente pequeños** (73 granjas infectadas, 2152 animales infectados, 63 días y 1.2 millones de US\$, respectivamente), de forma similar a lo observado en los recientes brotes en el país. Sin embargo, el modelo reveló que en ciertos escenarios la enfermedad podría convertirse en endémica de nuevo (6% de las epidemias duraron >2 años) → estos resultados deben tenerse en cuenta para el diseño de programas de vigilancia/control y para la definición de las primas de los seguros ganaderos.

# CONCLUSIONES

- **El sistema multi-análisis desarrollado:**
  - Fue específicamente **adaptado a las condiciones epidemiológicas de Perú** y a los datos disponibles y proporciona un **estimación objetiva** en la cual los parametros y computaciones pueden ser evaluados de forma transparente (no es una “caja negra”).
  - Puede **“ser corrido” fácil/rápidamente** para responder a preguntas epidemiológicas específicas (e.g. escenarios “what if”) y ser actualizado si se obtienen nuevos datos → **apoyo en tiempo real a la toma de decisiones.**



**Apoyo a la  
toma de  
decisiones**

# EJEMPLO: PERU

**GESTIÓN** 25 años 1991-2015  
EL DIARIO DE ECONOMÍA Y NEGOCIOS DE PERÚ

Portada **Economía** Empresas Mercados Tu Dinero Inmobiliaria

ESTÁS EN > PORTADA > ECONOMÍA >

## Dos aseguradoras están interesadas en ofrecer Seguro Ganadero contra fiebre aftosa en Perú

Miércoles, 30 de abril del 2014

**ECONOMÍA**  
07:02

Se trata de **La Positiva** y **Mapfre Perú**, las cuales ya tienen experiencia en el sector agrícola con el Seguro Agrícola Catastrófico, afirma representante de la Enesa de España.

## CONtextoganadero

UNA LECTURA RURAL DE LA REALIDAD COLOMBIANA

PORTADA REGIONES INTERNACIONAL GANADERÍA AGRICULTURA POLÍTICA ECONOMÍA T

INTERNACIONAL

TEMAS DEL DÍA 'Abril  
Alternativas para come

## En octubre lanzarán nuevas pólizas de seguros para ganaderos de toda la región

Por: Contexto Ganadero | 29 de Julio 2013



La póliza permitirá a los productores enfrentar con mayor respaldo fenómenos climáticos y patologías bovinas. Foto: CONtexto Ganadero

Una aseguradora española anunció en Perú la presentación de un par de portafolios de seguros para ganaderos que le permitirían a los productores de toda América Latina enfrentar con mayor respaldo fenómenos climáticos y patologías bovinas.

En el marco de un seminario llevado a cabo la semana anterior en la ciudad de Lima, Perú, la Entidad Estatal de Seguros Agrarios de España, Enesa, anunció que en octubre presentará una propuesta de seguros para ganaderos del territorio inca; una iniciativa estructurada con el apoyo de la

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO.

Se trata de una póliza que estará orientada a productores de todos los tamaños (pequeños, medianos y grandes) y se dividiría en 2 portafolios. Uno cubriría exclusivamente al ganado contra la fiebre aftosa y estaría dirigido a los pecuarios más pequeños y el otro cubriría actividades ganaderas de tipo intermedio y grande. (Lea: **Proponen gestionar seguros para actividad rural en Risaralda**)

# Agradecimientos



Manuel Sánchez y  
Alejandro Rivera

- Colaboración técnica UCM-ENESA-Agroseguro



- Proyecto Regional de FAO para el control progresivo de FA (GCP/RLA/178/SPA Y GTSF/RLA/172/ITA)



- Proyecto Nacional MTM2011-22658 y Ministerio de Economía y Competitividad de España

- SENASA y Ministerio de Agricultura de Perú





Muchas gracias por su atención!

Preguntas?

**[beamartinezlopez@ucdavis.edu](mailto:beamartinezlopez@ucdavis.edu)**

Foto: <http://emilysmith.net>

