



| Práctico de Manejo | Grupos de estudio Tx: Tratados, C: Control | Respuesta al tratamiento | | | Fuente |
|--|---|--------------------------------------|---|--|--------------------|
| | | Riesgo para MAP en adultos | Performance Predestete | Performance en adultos | |
| 1. Manejo del potrero de maternidad | Tx: potreros individuales C: potreros grupales | Riesgo reducido | Efecto nulo | No evaluado todavía | Pithua, 2013 |
| 2. Manejo del calostro | Tx: Sustituto de calostro C: Calostro natural | Riesgo reducido | Tx riesgo en aumento en falla de transferencia pasiva. Efectos sanitarios no significativos | Efecto nulo | Pithua, 2011 |
| | Tx: Calostro pasteurizado C: Calostro natural | Efecto nulo | Tx riesgo reducido de falla en transferencia pasiva y enfermedad clínico | Efecto nulo | Godden, 2012; 2015 |
| 3. Leche sobrante pasteurizada | Tx: Leche pasteurizada C: Sustituto lácteo | Efecto nulo (transmisión controlada) | Mejora en crecimiento y estado sanitario | Mejora en producción de leche y longevidad | Godden, 2008 |
| 4. Crianza de vaquillonas fuera del predio | Tx1: Fuera 0-24 meses. Tx2: Fuera 0-6 meses. C: Dentro 0-24 meses. | Riesgo reducido | No evaluado | No evaluado todavía | Aly, 2015 |
| | Tx: Primera exposición a ganado infectado después de 10 meses de edad C: Expuestos a ganado infectado desde nacimiento | Riesgo reducido | No evaluado | No evaluado | Espejo, 2013 |
| 5. Vacunación | Tx: Vacunados C: Sin vacunar | Riesgo reducido | No evaluado | Efecto nulo | Knust et al., 2013 |

EPIDEMIOLOGÍA Y SISTEMAS DE VIGILANCIA BASADOS EN RIESGO PARA LA DETECCIÓN DE TUBERCULOSIS BOVINA

Scott J. Wells, Kimberly L. VanderWaal, Catalina Picasso, Joao Ribeiro Lima, Meggan Craft, Julio Alvarez, Andres Perez.

College of Veterinary Medicine, University of Minnesota, St Paul, Minnesota, USA.

Eva A. Enns, School of Public Health, University of Minnesota, St Paul, Minnesota, USA

Federico Fernandez, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay

Andres Gil, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

La tuberculosis bovina (BTB) es causada por el *Mycobacterium bovis* y afecta al ganado y fauna en general así como a seres humanos, especialmente en países donde la enfermedad no es controlada o prevenida (Thoen et al., 2009). El control de la BTB en ganado es complicado por la epidemiología del *M. bovis*, con distintos patrones potenciales de transmisión y la gran variedad de huéspedes (O'Reilly et al., 1995). El programa nacional de erradicación de la BTB empezó en 1917 en USA y mientras se han hecho grandes avances para reducir la incidencia de casos esporádicos, la erradicación total de la enfermedad sigue siendo un desafío en desarrollo.

Por el impacto de la BTB en la producción ga-

nadera y en salud pública, desde 1893 existen programas de control para la enfermedad en los EE.UU. Como resultado de los primeros esfuerzos basados en estrategias de test y sacrificio, la prevalencia de la enfermedad fue reducida significativamente a <0.5% en 1941 en los EE.UU. A medida que la erradicación de la BTB progresaba, fue notorio que los tests individuales de rutina en rodeos eran cada vez más ineficientes como método de identificación de animales infectados. En consecuencia, en 1959 se cambia el énfasis del programa, al rastreo de los rodeos de origen de los animales que mostraban lesiones de BTB a la hora del sacrificio. Bajo este esquema actualizado, la detección de un animal infectado con BTB, desencadena una investigación epidemiológica para identificar el



rodeo de origen, la fuente de infección y cualquier otro rodeo que pueda haber sido expuesto al animal infectado. Los rodeos de origen de los animales infectados por BTB son típicamente despoblados. A pesar de los éxitos iniciales en la reducción de la prevalencia de la enfermedad en EE.UU. y de la larga historia en esfuerzos para el control de la enfermedad, el programa no ha logrado alcanzar una erradicación completa de la BTB, y ésta sigue amenazando la industria ganadera y salud pública en los EE.UU.

Estudios prospectivos han estimado que la erradicación de la BTB en el ganado traerá beneficios económicos para el sector agropecuario sobrepasando el costo en una relación de 10 a 1 (Olmstead et al., 2007). Los costos directos asociados con la enfermedad provienen de las investigaciones epidemiológicas para manejar el acontecimiento y son, por ejemplo, para California en 2007-2008 de \$20 millones. Los costos indirectos son el resultado de bajar de categoría la condición de BTB, de estados libres de BTB, lo cual requiere, entre otras consecuencias, tests de BTB obligatorios de ≥ 6 meses de edad antes de abandonar el estado. Los veterinarios privados cobran entre \$4-8 por animal testado, dependiendo de factores como distancia y disponibilidad de instalaciones. Costos adicionales incluyen salarios para cubrir las necesidades aumentadas del manejo de animales retenidos para testear. Las últimas consecuencias son mercado limitado y pérdida de competitividad, con grandes pérdidas económicas de los productores.

En la actualidad, se necesita información adicional para avanzar en el entendimiento de la transmisión y vigilancia, en la situación actual de EE.UU., con una muy baja prevalencia pero una infección continua y persistente. En años recientes, varios estados de EE.UU. han declarado brotes de la enfermedad en el ganado, incluyendo Michigan, California, Nuevo México y Minnesota, y han perdido por lo menos temporalmente, su condición de libre de BTB. La BTB posee un riesgo crítico para la agricultura de los EE.UU., amenazando con severas restricciones de comercio a los productores de leche y carne, y provocando grandes costos regulatorios (impuestos) al Departamento de Agricultura de los EE.UU. y a los estados afectados a través del programa nacional de erradicación. El programa de erradicación de la BTB de los EE.UU. es principalmente financiado por fondos federales que han sido de aproximadamente \$15 millones por año desde el 2003. Estos fondos han sido aumentados por fondos adicionales de emergencia, obtenidos por el Departamento de

Agricultura de los EE.UU. (USDA), el Servicio de Inspección de Sanidad Animal (APHIS) y los Servicios Veterinarios (VS), ya sea por solicitud de la Corporación de Créditos sobre Mercancías o por fondos de contingencia usados cuando los costos de vigilancia exceden el presupuesto del programa. Los fondos de emergencia han sido estimados en \$207 millones por año desde el 2001 (USDA - APHIS - VS, 2009a).

Cuando los rodeos dan positivos al test, los productores ganaderos han sido frecuentemente forzados a despoblar sus rodeos, con indemnización, costando millones de dólares anuales a los productores y agencias de gobierno. Estas reacciones regulatorias drásticas son aplicadas incluso cuando la prevalencia de la enfermedad es baja; un solo animal positivo al test de *M. bovis* puede echar a perder el sustento de un productor y unos pocos casos pueden restringir el comercio a través de estados enteros. En la presencia de un brote, los costos de las medidas de emergencia para controlar y erradicar la BTB son tremendos. En Minnesota, el costo total aproximado desde que comenzó el brote en 2005 hasta 2009 (con doce rodeos infectados con BTB), fue estimado en \$60 millones (Buhr et al., 2009), sin incluir costos de la vigilancia regular en curso, ni las consecuencias económicas para las industrias agrícola y ganadera, como clausura de negocios y pérdidas de puestos de trabajo. La BTB también representa un riesgo zoonótico para los consumidores de productos alimenticios derivados de ganado afectado, así como también para los trabajadores rurales que trabajan con rodeos infectados. En la actualidad, no hay un sistema de vigilancia para la enfermedad efectivo, que identifique la infección temprana, o ayude a los responsables políticos a dirigir pocos recursos para prevenir los esfuerzos costosos de limpieza. Para ser bien efectivo, un sistema de vigilancia necesita ser capaz de detectar la enfermedad lo más tempranamente posible, para minimizar la propagación de la enfermedad y mitigar los costos de control y erradicación.

El concepto detrás de una vigilancia basada en riesgo, es concentrar el financiamiento y los recursos hacia el subgrupo de población en riesgo, con un mayor riesgo del suceso sanitario de interés, mejorando la sensibilidad del sistema de vigilancia y la relación costo-eficacia (Stark et al., 2006). Un aspecto importante entonces, es identificar factores de riesgo para el evento sanitario de interés y los actores que magnifican esos factores de riesgo en una población interconectada. El concepto de vigilancia basada en riesgo ha sido presentado como una



herramienta necesaria para el desarrollo en un reciente informe de la USDA-APHIS-VS (2009a). Un factor primario para la transmisión de la BTB, es la introducción de ganado infectado a rodeos por movimiento de ganado (USDA – APHIS – VS, 2011). Mientras los movimientos han sido identificados como un factor clave de riesgo, más investigación se necesita para aclarar qué rodeos y lugares se asocian con un mayor riesgo de transmisión e introducción de la enfermedad, y para desarrollar métodos que identifiquen rodeos de alto riesgo en una etapa temprana, de manera de optimizar vigilancia y atenuantes. Al momento, no está claro si los datos de movimientos de ganado pueden realmente predecir la transmisión de la enfermedad antes de la detección, ya que no ha sido previamente demostrado.

Métodos de vigilancia en la actualidad

Los métodos de vigilancia actuales usados para la detección de BTB en ganado con baja prevalencia, son sub-óptimos (USDA – APHIS – VS, 1992; Norby et al., 2004). La vigilancia al sacrificio hace de columna vertebral del sistema de vigilancia de BTB actual. Sin embargo, es insensible para detectar ganado enfermo en etapas tempranas de la enfermedad (USDA – APHIS – Servicios Veterinarios, 2009b; Kanee-ne et al., 2006), con una demora media de 5.75 años, entre la detección de un rodeo infectado y su infección inicial (Fischer et al., 2005). La eficacia de la vigilancia en el frigorífico varía por tamaño de rodeo y por tipo de ganado, ya que estos factores afectan el número de ganado por rodeo que entra al sistema de inspección frigorífica por unidad de tiempo. En los EE.UU., un bajo porcentaje de ganado de carne por año es mandado a frigorífico (menos del 10% en promedio) comparado con rodeos lecheros (20-23%), llevando esto a una baja probabilidad de detección de BTB en los rodeos de carne. También poco ganado proveniente de rodeos chicos es mandado a frigorífico comparando con rodeos grandes, resultando también en una baja probabilidad de detección de la BTB en rodeos chicos infectados. Un artículo reciente de USDA-APHIS-VS (2009b), estimó el impacto de estos factores en la probabilidad de detectar un solo rodeo de ganado infectado, a través de la vigilancia en frigorífico en un período de vigilancia de cinco años. Este estudio reportó un 15% de probabilidad de detección de un rodeo de carne infectado con menos de 50 vacas, un 20% de probabilidad de detección de un rodeo lechero infectado con menos de 50 vacas, y un 35% de probabilidad de detección de un rodeo de carne infectado con 500 vacas o más, com-

parado a un 99% de probabilidad de detección de un rodeo lechero infectado con 500 vacas o más. Esta falta de sensibilidad para muchos rodeos, constituye uno de los principales problemas del sistema de vigilancia de la BTB en los EE.UU., en donde con el escenario de baja prevalencia actual, el tiempo desde la infección hasta la detección es extremadamente largo, con severas consecuencias en términos de propagación de la enfermedad a otros ganados y fauna en general. Los tests de BTB antemortem usados en el ganado están actualmente disponibles, pero no son muy usados en las regiones de EE.UU. consideradas libres de BTB, debido al costo (principalmente de mano de obra) y la incomodidad del testado. Por esto, en vez de ser usados en una vigilancia activa, estos tests se usan con un propósito confirmatorio, verificando la condición de la infección de BTB en los rodeos ante la sospecha de un brote y para los rodeos en contacto con aquellos positivos al test. Actualmente, los tests intradérmicos de tuberculina y los tests gamma-interferon que dependen de la respuesta inmune mediada por células de los linfocitos T, son las únicas herramientas de diagnóstico antemortem aprobadas por el USDA para uso oficial para el M. bovis en ganado. Los tests cutáneos actualmente en uso incluyen, Tuberculina en Pliegue anocaudal (CFT) y la prueba de Tuberculina Cervical Comparativa (CCT). Las dos utilizan una reacción de hipersensibilidad tardía para indicar infección por M. bovis y requieren dos visitas al rodeo por test. La sensibilidad de tests seriados (CFT seguido por CCT en ganado positivo) fue estimada del 81% y la especificidad del 98% (Farnham et al., 2012). Recientemente, tests serológicos para la detección de anticuerpos para el M. bovis, han sido desarrollados (Lilenbaum et al., 2001; da Silva et al., 2011; Cuaters et al., 2011), pero con menor sensibilidad que la prueba seriada CFT-CCT. Aunque todavía no han sido aprobados para uso oficial en los EE.UU., estos ensayos parecen prometedores para ser incluidos en futuras estrategias de vigilancia, debido en parte a la necesidad de una sola visita por rodeo testado. Una vigilancia más activa, usando pruebas antemortem en ganados de alto riesgo, tiene un gran potencial para la rápida detección en ganado infectado por M. bovis, si se identifica un método eficiente de selección en ganado de alto riesgo. Un próximo paso es desarrollar estrategias válidas y rentables para detectar BTB en escenarios de baja prevalencia, usando métodos que centren el uso de recursos limitados (incluyendo los test antemortem de ganado) en un subconjunto relativamente chico de rodeos de alto riesgo.



Vigilancia basada en riesgo

La vigilancia basada en riesgo es diseñada para enfocar los recursos, hacia el subconjunto de una población con el riesgo más alto, para optimizar la sensibilidad y rentabilidad del sistema de vigilancia (Stark et al., 2006). Una evaluación reciente llevada a cabo por el USDA - APHIS - VS, identificó la importación y contactos cruzados de novillos provenientes de México, las prácticas de manejo y bioseguridad usadas por criadores de terneros para reemplazos de vaquillonas lecheras, y entrada de suplementos comprados, como factores de riesgo para la BTB en áreas sin reservorios silvestres (USDA - APHIS - Servicios Veterinarios, 2011). Estos datos proveen evidencia de riesgos diferenciales de BTB basados en la ubicación del rodeo y manejo de la bioseguridad. Más aún, el papel de los movimientos de ganado ha sido identificado de importancia primaria, particularmente en áreas de baja prevalencia de la enfermedad o donde la enfermedad no está presente y puede ser introducida por la importación de ganado de áreas infectadas (Gilbert et al., 2005; Gopal et al., 2006; Bessell et al., 2012). Se necesita más investigación para comprender mejor estos factores en el ganado y su influencia en el riesgo de infección de BTB, en escenarios con prevalencia de enfermedad.

Trazabilidad animal y Tuberculosis bovina

El interés en sistemas de trazabilidad animal ha incrementado en años recientes, motivado mayoritariamente por la necesidad de detectar y controlar enfermedades zoonóticas que pueden ser transmitidas a través de la cadena alimenticia. Como los movimientos de ganado son una vía primaria para la propagación de la BTB (USDA - APHIS - Servicios Veterinarios, 2009a), los registros de trazabilidad animal son cruciales para el desarrollo de una estrategia basada en riesgo efectivo. En los EE.UU., todavía no hay un sistema de trazabilidad completo que incluya un sistema de identificación animal único. Registros limitados de los movimientos de ganado en EE.UU. están disponibles, por el seguimiento de rodeos que se realiza cuando aparece un brote de BTB, donde todos los movimientos de ganado, ya sea entrada o salida de los rodeos infectados, son seguidos, junto con un seguimiento obligatorio de los animales que se mueven dentro de las zonas infectadas por BTB.

Por ejemplo, en el brote de BTB del 2005-2009 en Minnesota, se detectaron doce rodeos infectados en relación con más de 1000 movimientos

de ganado (Shaw, 2008). Se evaluó la epidemiología descriptiva del BTB en Minnesota, en donde diez de los doce rodeos de ganado, tenían historia de relación con movimientos de ganado con otros rodeos infectados de Minnesota, lo que podía explicar la introducción de la BTB (Shaw, 2008). La transmisión de ciervos a ganado pudo haber explicado el resto de la propagación entre rodeos, pero no fue reconocida como la forma primaria de transmisión.

Luego del brote de Minnesota, el estado recibió la condición de Estado dividido y los movimientos de ganado fueron registrados para todos los rodeos en la región. Desde el 2008 al 2011, se observaron más de 3000 movimientos de aproximadamente 680 rodeos (Ribeiro Lima et al., 2012b). Estos datos, previamente analizados por miembros de nuestro equipo de investigación, proveen entendimiento de los patrones de movimiento de ganado en el estado de Minnesota. Sin embargo, estos datos tienen un alcance limitado ya que son sólo entre rodeos infectados o sólo dentro de una región específica del estado. Para un análisis más completo de la relación entre movimientos de ganado y propagación de la BTB, con propósitos de vigilancia específica, se necesitan datos de un país con un sistema de trazabilidad animal bien desarrollado.

En contraste con los EE.UU., Uruguay tiene un completo sistema de trazabilidad animal electrónico. Analizando registros de movimiento de un país con registros completos y precisos, estamos aumentando nuestro conocimiento de factores de riesgo relacionados a los movimientos de ganado, que pueden ser analizados en el contexto de los EE.UU. La población de ganado en Uruguay está constituida por 41570 y 3979 rodeos de carne y lecheros respectivamente. Los rodeos lecheros en Uruguay, están concentrados en la zona sur del país, próximos a la capital, Montevideo (Figura 1). Uruguay es un país relativamente pequeño con un clima templado y sistemas de producción ganadera predominantemente pastoriles. Mientras esta



Figura 1: Ubicación geográfica de rodeos lecheros en Uruguay. Cada punto representa la ubicación geográfica del predio registrado por el Servicio de Salud Animal Uruguayo. Diciembre, 2011.



industria ganadera no tiene la escala y diversidad de la industria ganadera en los EE.UU., el sistema es muy productivo y vende la mayoría de sus productos cárnicos y lácteos al mercado internacional.

En Uruguay, los terneros recién nacidos han sido identificados individualmente desde el 2006, y todo ganado ha sido exclusivamente identificado con caravanas electrónicas desde el 2011. Por cada movimiento de ganado, se registra la siguiente información: fecha de movimiento, número de animales por grupo incluyendo vacas, toros, vaquillonas y terneros; rodeo de origen; destino de rodeo; y camionero. Estos datos se registraron en forma manual desde 1974. En la década del 80, un registro electrónico fue iniciado y un respaldo sistemático para estos registros comenzó en el 2005 con la creación del SNIG (Sistema Nacional de Información Ganadera). Desde el 2005, el registro de movimientos de ganado es completo y está disponible electrónicamente. En general, en el año pasado se movieron 6.000.848 animales en 271.892 embarques, incluyendo 3.544.524 movidos a otros rodeos en 134.430 embarques desde 45.549 predios. Aproximadamente 2 millones fueron movidos a frigorífico y 0,5 millones movidos a remates. El ganado lechero representó aproximadamente el 5% del total de movimientos.

Mientras que la prevalencia de la BTB en EE.UU. es extremadamente baja, en muchas otras regiones del mundo es más alta. En tanto la prevalencia del *M. bovis* en el ganado uruguayo ha sido baja desde la implementación de un sistema de vigilancia activo en tambos y frigoríficos, la incidencia del *M. bovis* ha aumentado desde el 2005, con 74 rodeos lecheros uruguayos positivos al test de la BTB desde el 2005. Más recientemente, 15, 26 y 16 brotes han sido declarados durante 2011, 2012 y 2013 de más de 42.000 rodeos susceptibles.

El Servicio de Sanidad Animal Uruguayo ha detectado ganado con aislamiento de *M. bovis* y patología, y ha usado efectivamente los registros de movimientos para rastrear a los rodeos que movieron ganado a rodeos afectados. Por ley, el ganado de todos los rodeos lecheros en Uruguay ha sido testeado anualmente usando la CFT (Tuberculina en pliegue anocaudal) desde 1963. La prueba comparativa en cuello (CCT) es usada como confirmatoria de la CFT en Uruguay, similar al protocolo seguido en EE.UU. El ganado uruguayo de carne es rutinariamente testeado solo si es enviado a exposición o exportado, o después de una identificación positiva del rodeo, basada en lesiones de BTB en

contradas en frigorífico. En Uruguay, no ha sido detectado BTB en la fauna, y como en Minnesota y otras partes de EE.UU., los movimientos de ganado son reconocidos como la vía primaria de propagación de BTB entre rodeos.

Análisis de Redes Sociales

El movimiento de ganado entre rodeos, representa una vía potencial para la introducción de la enfermedad desde el rodeo de origen al rodeo destinatario (Gilbert et al. 2005, Johnston et al. 2005, Ramírez-Villaescusa et al. 2010, Skuce et al. 2012). Sin embargo, la probabilidad de que la BTB sea introducida en un rodeo, no está solo en función de que haya introducciones de ganado en el rodeo, sino también por las características de riesgo del rodeo de donde esos animales provienen. El análisis de redes sociales (SNA) es un conjunto de herramientas que pueden ser usadas para analizar estas interdependencias y desarrollar una evaluación más minuciosa a nivel de sistema para el riesgo de la BTB.

El uso del SNA para entender la propagación de enfermedades infecciosas tanto de humanos como de animales, es cada vez más común. El SNA ha probado ser extremadamente útil para entender la estructura de contactos en y entre poblaciones y el rol de rodeos de alto riesgo en la transmisión de enfermedades infecciosas (Green et al, 2008, Heath et al, 2008, Dube et al, 2009, Volkova et al, 2010). El SNA ha sido usado para caracterizar patrones de movimiento de ganado en varios países y para evaluar la vulnerabilidad de estas industrias de ganado a epidemias hipotéticas (León et al. 2006, Azner et al. 2011, Bajardi et al. 2011, Rautureau et al. 2011). Luego de la epidemia de Fiebre Aftosa en el Reino Unido del 2001, los movimientos de ganado entre rodeos fueron examinados a fondo por su papel en facilitar la propagación de la enfermedad. El SNA dio un marco para evaluar la importancia de estos movimientos, desarrollando modelos matemáticos para predecir el riesgo y severidad de futuros brotes potenciales y evaluando la eficacia de diferentes estrategias de vigilancia en la prevención de una futura epidemia de Fiebre Aftosa (Kao et al. 2006, Kiss et al. 2006, Tildesley et al. 2006). Dada la exitosa aplicación del SNA en el entendimiento del brote de Fiebre Aftosa del 2001 del Reino Unido, y el rol de la enfermedad, hay un gran potencial del SNA para producir similares entendimientos del manejo y propagación de la BTB. Debido a las diferencias entre la dinámica de infección de la F.A. y la BTB, como el largo del período de incubación e infección y la velocidad de transmisión, es importante un análisis específico



para la BTB.

En nuestro estudio, se evaluaron inicialmente los movimientos de ganado desde 2008 al 2013 usando el SNA, para entender el flujo de ganado en esta industria e identificar predios de alto riesgo para vigilancia y control. Los predios representaban nódulos en la red que eran conectados basados en la frecuencia y número de ganado movido. La distribución de movimientos internos y externos de los predios, así como el número de ganado movido, fue severamente sesgado hacia la derecha y el 10% de los predios más vinculados respondieron al 72-83% del ganado movido cada año. Esta heterogeneidad en los patrones de movimiento indica que algunos predios son probablemente cruciales para la propagación de la enfermedad. De hecho, los predios que experimentaron brotes de *M. bovis* durante este período, estaban considerablemente involucrados en más movimientos que el promedio de la población.

Como se muestra en la figura 2, el número de movimientos internos (in-degree) y movimientos externos (out-degree) variaron por tipo de rodeo durante este período en Uruguay. Sin embargo, en toda la gráfica, los rodeos de ganado detectados con BTB en Uruguay (TB en la figura) tuvieron valores mucho más altos para estos parámetros comparados al resto de los rodeos

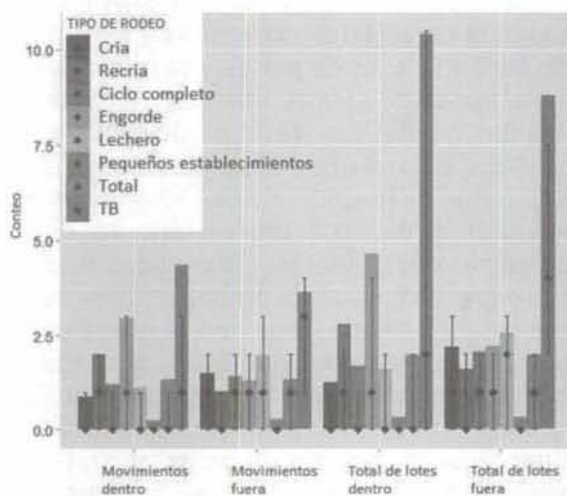


Figura 2. Movimientos de ganado en Uruguay según tipo de rodeo desde 2008-2013 en comparación con rodeos positivos a T.B.

Registros de movimiento de ganado de Minnesota fueron obtenidos entre 2008-2011 de los certificados de movimiento de ganado y etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) de la zona BTB acreditada modificada como Es-

tado Dividido de Minnesota. El objetivo de este estudio (Ribeiro Lima et al, 2015) fue caracterizar los movimientos de ganado en un área previamente infectada con BTB en Minnesota e identificar rodeos de alto riesgo, basados en parámetros de la red social y factores de riesgo conocidos de literatura publicada. Durante este período fueron registrados 3762 movimientos con 57460 cabezas de ganado movidas, correspondientes a autorizaciones emitidas a 682 sitios representando mayoritariamente rodeos privados, locales de venta, ferias del estado o condado y frigoríficos (Figura 3). A pesar de que los locales de venta representaban menos del 2%, el 60% de los movimientos de ganado eran desde o hacia un local de venta. Una evaluación de los movimientos de ganado mostró que, el 20% de los predios realizó el 90% de los movimientos. Este análisis, a pesar de haber sido realizado en un área restringida de BTB y con detección limitada de nuevas infecciones, aportó descripciones innovadoras sobre la estructura de contacto de los movimientos de ganado en un área de alto riesgo de BTB y sugiere un índice de riesgo basado en parámetros del análisis de las redes sociales y factores de riesgo conocidos, para respaldar futuras decisiones de vigilancia. Esta heterogeneidad en los patrones de movimiento, indica que algunos predios son probablemente cruciales para la propagación de la enfermedad.

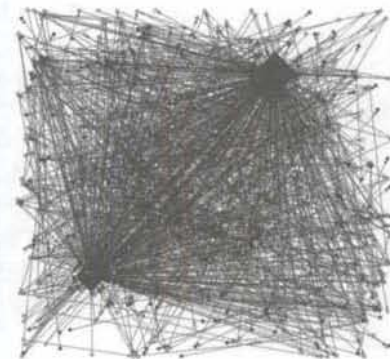


Figura 3: Gráfica de redes para todos los movimientos de ganado desde 2008-2011 en la zona de MN de BTB. Los nódulos están ordenados por el número de movimientos dentro de los sitios. La localización de los nódulos no está relacionada con la ubicación geográfica.

Los resultados de estos estudios subrayan la importancia de registrar los movimientos de ganado, de integrar y coordinar acciones de control y prevención para enfermedades infecciosas, de manera de entender la vulnerabilidad de las redes de comercio de ganado a la invasión por enfermedades infecciosas. Un entendimiento



meticuloso de la transmisión de BTB es esencial para respaldar a las agencias de gobierno en implementar un programa de vigilancia nacional óptimo. Esta tarea es de crucial importancia, especialmente en estos tiempos de demandas en aumento de recursos disponibles para la vigilancia de salud animal y programas de control.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, J., Perez, A., Bezos, J., Marqués, S., Grau, A., Saez, J. L., Mínguez, O., de Juan, L., Dominguez, L. 2012. Evaluation of the sensitivity and specificity of bovine tuberculosis diagnostic tests in naturally infected cattle herds using a Bayesian approach. *Veterinary Microbiology*, 155(1), 38-43.
- Alvarez, J., Perez, A. M., Bezos, J., Casal, C., Romero, B., Rodriguez-Campos, S., Saez-Llorente, J. L., Diaz, R., Carpintero, J., de Juan, L., Dominguez, L. 2012. Eradication of bovine tuberculosis at a herd-level in Madrid, Spain: study of within-herd transmission dynamics over a 12 year period. *BMC veterinary research*, 8:100.
- Aznar, M. N., Stevenson, M. A., Zarich, L., León, E. A. 2011. Analysis of cattle movements in Argentina, 2005. *Prev vet med*, 98(2-3), 119-27.
- Bajardi, P., Barrat, A., Natale, F., Savini, L., Colizza, V. 2011. Dynamical patterns of cattle trade movements. *PloS one*, 6(5), e19869
- Bessell PR, Orton R, White PCL, Hutchings MR, Kao RR. 2012. Risk factors for bovine Tuberculosis at the national level in Great Britain. *BMC veterinary research*, 8:51.
- Buhr, B., McKeever, K., Adachi K., 2009. Economic Impact of Bovine Tuberculosis on Minnesota's Cattle and Beef Sector. Staff paper series, Department of Applied Economics, CFANS, University of MN.
- da Silva, E.B., Silva, B.D., Leon, J.R., Kipnis, A., Santos, I.K., Junqueira-Kipnis, A.P., 2011. Using BCG, MPT-51 and Ag85 as antigens in an indirect ELISA for the diagnosis of bovine tuberculosis. *Vet J* 187, 276-278.
- Dubé, C., Ribble, C., Kelton, D., McNab, B., 2009. A review of network analysis terminology and its application to foot-and-mouth disease modelling and policy development. *Transboundary Emerging Diseases* 56, 73-85.
- Farnham MW, Norby B, Goldsmith TJ, Wells SJ. 2012. Meta-analysis of field studies on bovine tuberculosis skin tests in United States cattle herds. *Prev Vet Med*. 103(2-3):234-42
- Fischer, E.A., van Roermund, H.J., Hemerik, L., van Asseldonk, M.A., de Jong, M.C., 2005. Evaluation of surveillance strategies for bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) using an individual based epidemiological model. *Prev Vet Med* 67, 283-301.
- Gilbert, M., Mitchell, A., Bourn, D., Mawdsley, J., Clifton-Hadley, R., Wint, W., 2005. Cattle movements and bovine tuberculosis in Great Britain. *Nature* 435, 491-496.
- Gopal R, Goodchild A, Hewinson G, Domenech RDR. 2006. Introduction of bovine tuberculosis to north-east England by bought-in cattle. *Veterinary Record*:165-271.
- Green, D.M., Kiss, I.Z., Mitchell, A.P., Kao, R.R., 2008. Estimates for local and movement-based transmission of bovine tuberculosis in British cattle. *Proc Biol Sci* 275, 1001-1005.
- Heath, M.F., Vernon, M.C., Webb, C.R., 2008. Construction of networks with intrinsic temporal structure from UK cattle movement data. *BMC Vet Res* 4, 11.
- Johnston WT, Gettinby G, Cox DR, Donnelly C a, Bourne J, Clifton-Hadley R, Le Fevre a M, McInerney JP, Mitchell a, Morrison WI, et al. 2005. Herd-level risk factors associated with tuberculosis breakdowns among cattle herds in England before the 2001 foot-and-mouth disease epidemic. *Biology letters* 1:53-6.
- Kaneene, J.B., Miller, R., Meyer, R.M., 2006. Abattoir surveillance: the U.S. experience. *Vet Microbiol* 112, 273-282.
- Kao, R. R., Danon, L., Green, D. M., & Kiss, I. Z.. 2006. Demographic structure and pathogen dynamics on the network of livestock movements in Great Britain. *Proceedings of The Royal Society B*, 273: 1999-2007.
- Kiss, I. Z., Green, D. M., & Kao, R. R. 2006. The network of sheep movements within Great Britain: Network properties and their implications for infectious disease spread. *Journal of the Royal Society Interface*, 3(10), 669-77.
- León, E. a, Stevenson, M. a, Duffy, S. J., Ledesma, M., & Morris, R. S. 2006. A description of cattle movements in two departments of Buenos Aires province, Argentina. *Preventive veterinary medicine*, 76(1-2), 109-20.
- Lilenbaum, W., Pessolani, M.C., Fonseca, L.S., 2001. The use of Ag85 complex as antigen in ELISA for the diagnosis of bovine tuberculosis in dairy cows in Brazil. *J Vet Med B Infect Dis Vet Public Health* 48, 161-166.
- Martínez-López B, Perez AM, Sánchez-Vizcaíno JM. 2009. Social network analysis. Review of general concepts and use in preventive veterinary medicine. *Journal of Transboundary and emerging diseases*. 56:109-20.
- Natale F, Giovannini A, Savini L, Palma D, Posenti L, Fiore G, Calistri P. 2009. Network analysis of Italian cattle trade patterns and evaluation of risks for potential disease spread. *Prev vet med*. 92:341-50.



- Norby, B., Bartlett, P.C., Fitzgerald, S.D., Granger, L.M., Bruning-Fann, C.S., Whipple, D.L., Payeur JB. 2004. The sensitivity of gross necropsy, caudal fold and comparative cervical tests for the diagnosis of bovine tuberculosis. *J Vet Diagn Invest.* 16:126-131.
- Olmstead, A.L. and P.W. Rhode, 2004. An Impossible Undertaking: The Eradication of Bovine Tuberculosis in the United States. *J Econ Hist*, 64(3): p. 734-772.
- Olmstead, A.L. and P.W. Rhode 2007. Not on My Farm! Resistance to Bovine Tuberculosis Eradication in the United States. *J Econ Hist*, 67(03): p. 768-809.
- O'Reilly, L.M. and C.J. Daborn. 1995. The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections in animals and man: a review. *Tuber Lung Dis*, 76 Suppl 1: p. 1-46.
- Perez, A.M., Ward, M.P., Charmandarian, A., Ritacco, V. 2002. Simulation model of within-herd transmission of bovine tuberculosis in Argentine dairy herds. *Prev Vet Med*, 54(4): p. 361-72.
- Perez, A.M., Ward, M.P., Ritacco, V. 2002. Simulation-model evaluation of bovine tuberculosis-eradication strategies in Argentine dairy herds. *Prev Vet Med*, 54(4): p. 351-60.
- Ramírez-Villaescusa a M, Medley GF, Mason S, Green LE. 2010. Risk factors for herd breakdown with bovine tuberculosis in 148 cattle herds in the south west of England. *Preventive veterinary medicine* 95:224-30.
- Rautureau, S., Dufour, B., & Durand, B. 2010. Vulnerability of Animal Trade Networks to The Spread of Infectious Diseases: A Methodological Approach Applied to Evaluation and Emergency Control Strategies in Cattle, France, 2005. *Transboundary and emerging diseases*, 58, 110-120.
- Ribeiro Lima, J., Patton, E., Glazer, L., Carlson, B., Wells S.J. Impact of Johne's disease, natural infection and vaccination, on bovine tuberculosis diagnostics tests. *Proceedings of 2012 Conference of Research Workers on Animal Diseases, Chicago 2012.*
- Ribeiro Lima, J., Thompson, B., Craft, M., Wells, S.J. Network analysis of cattle movements in relation to bovine tuberculosis transmission risk in Minnesota, US. *Proceedings of the International Symposium of Veterinary Epidemiology and Economics XIII, Maastricht, Netherlands 2012.*
- Ribeiro-Lima J, Enns EA, Thompson B, Craft ME, and Wells SJ. 2014. From network analysis to risk analysis - An approach to risk-based surveillance for bovine tuberculosis in Minnesota, US. *Preventive Veterinary Medicine*, S0167-5877(14)00418-8.
- Shaw, S.L., 2008. Public health implications of surveillance programs for zoonotic pathogens: a case study of *Mycobacterium bovis* in the state of Minnesota. *School of Public Health. University of Minnesota, Minneapolis*, 92 pp.
- Skuce, R. a, Allen, A. R., & McDowell, S. W. J. 2012. Herd-level risk factors for bovine tuberculosis: a literature review. *Veterinary medicine international*, 621210. doi:10.1155/2012/621210
- Stärk, K.D., Regula, G., Hernandez, J., Knopf, L., Fuchs, K., Morris, R.S., Davies, P., 2006. Concepts for risk-based surveillance in the field of veterinary medicine and veterinary public health: review of current approaches. *BMC Health Serv Res* 6, 20.
- Thoen, C.O., Lobue, P.A., Enarson, D.A., Kaneene, J.B., de Kantor, I.N., 2009. Tuberculosis: a re-emerging disease in animals and humans. *Vet Ital* 45, 135-181.
- Tildesley, M. J., Savill, N. J., Shaw, D. J., Dearnley, R., Brooks, S. P., Woolhouse, M. E. J., Grenfell, B. T., Keeling, M.J. 2006. Optimal reactive vaccination strategies for a foot-and-mouth outbreak in the UK. *Nature*, 440(7080), 83-86.
- USDA-APHIS-VS, 1992. Assessment of risk factors for *Mycobacterium bovis* in the US.
- USDA-APHIS-VS, 2009a. A New Approach for Managing Bovine Tuberculosis. http://www.aphis.usda.gov/newsroom/hot_issues/bovine_tuberculosis/bovine_tb.shtml.
- USDA-APHIS-VS, 2009b. Analysis of Bovine Tuberculosis Surveillance in Accredited Free States. <http://www.aphis.usda.gov/vs/nahss/cattle/index.htm>
- USDA-APHIS-VS, 2011. Assessment of Pathways for the Introduction and Spread of *Mycobacterium bovis* in the United States. http://www.aphis.usda.gov/animal_health/emergingissues/
- Volkova, V.V., Howey, R., Savill, N.J., Woolhouse, M.E., 2010. Sheep movement networks and the transmission of infectious diseases. *PLoS One* 5, e11185.
- Waters, W.R., Buddle, B.M., Vordermeier, H.M., Gormley, E., Palmer, M.V., Thacker, T.C., Bannantine, J.P., Stabel, J.R., Linscott, R., Martel, E., Milian, F., Foshaug, W., Lawrence, J.C. 2011. Development and evaluation of an enzyme-linked immunosorbent assay for use in the detection of bovine tuberculosis in cattle. *Clin Vaccine Immunol.* 18(11):1882-8.