

ESTUDIOS

Enfermedades emergentes y cambio climático frente al desarrollo del sector ganadero en África subsahariana

Márquez, Francisco J.¹ y Márquez-Constán, Julia²

Resumen: Las actividades primarias relacionadas con la agricultura y la ganadería representan la columna vertebral de la economía de la mayoría de los países africanos, empleando un amplio porcentaje de la población activa total. El sector ganadero es susceptible a la variabilidad climática extrema pudiendo verse seriamente afectado por el cambio climático y los efectos del mismo en los sistemas de producción ganadera, que se reflejarán particularmente en la endemidad de las enfermedades emergentes y reemergentes, entre las que destacan las enfermedades transmitidas por vectores, ya sean insectos (distintas arbovirosis y las tripanosomiasis), como las transmitidas por garrapatas (esporozoos de los géneros *Theileria* y *Babesia*, organismos rickettsiales como son *Anaplasma* y *Cowdria*, así como los virus Crimea-Congo y el de la fiebre porcina africana). Distintos tipos de vectores y las enfermedades que transmiten constituyen un desafío importante para la salud del ganado y la producción ganadera en África subsahariana.

Palabras clave: *África, enfermedades emergentes, cambio climático, garrapatas, dípteros, ganadería.*

Fecha de recepción: 23 de noviembre de 2022.

Fecha de admisión definitiva: 21 de diciembre de 2022.

¹ Universidad de Jaén, <https://orcid.org/0000-0002-1450-6235>, jmarquez@ujaen.es.

² Hospital Arnau de Vilanova, juliamarc59@gmail.com.

Emerging diseases and climate change in livestock sector development in sub-Saharan Africa

Abstract: Primary activities related to agriculture and livestock represent the backbone of the economy of most African countries, employing a large percentage of the total working population. The livestock sector is susceptible to extreme climate variability and may be seriously affected by climate change and its effects on livestock production systems, which will be reflected particularly in the endemicity of emerging and re-emerging diseases. These include vector-borne diseases, both insect-borne (various arbovirosis and trypanosomiasis) and tick-borne (sporozoa of the *Theileria* and *Babesia* genera, rickettsial organisms such as *Anaplasma* and *Cowdria*, as well as Crimean-Congo and African swine fever viruses). Different types of vectors and the diseases they transmit constitute a major challenge to livestock health and livestock production in sub-Saharan Africa.

Key words: Africa, emerging diseases, climate change, ticks, diptera, livestock.

Maladies émergentes et changement climatique face au développement du secteur de l'élevage en Afrique subsaharienne

Résumé: Les activités primaires liées à l'agriculture et à l'élevage constituent l'épine dorsale de l'économie de la plupart des pays africains et emploient un pourcentage élevé de la main-d'œuvre totale. Le secteur de l'élevage est sensible à la variabilité extrême du climat et pourrait être gravement affecté par le changement climatique et ses effets sur les systèmes de production animale, ce qui se reflétera notamment dans l'endémicité des maladies émergentes et réémergentes. Il s'agit notamment des maladies à transmission vectorielle, tant celles transmises par les insectes (diverses arboviroses et trypanosomiases) que celles transmises par les tiques (sporozoaires des genres *Theileria* et *Babesia*, organismes rickettsiens tels qu'*Anaplasma* et *Cowdria*, ainsi que les virus de la peste porcine de Crimée-Congo et de l'Afrique). Les différents types de vecteurs et les maladies qu'ils transmettent constituent un défi majeur pour la santé du bétail et la production animale en Afrique subsaharienne.

Mots clé: Afrique, maladies émergentes, changement climatique, tiques, diptères, élevage.

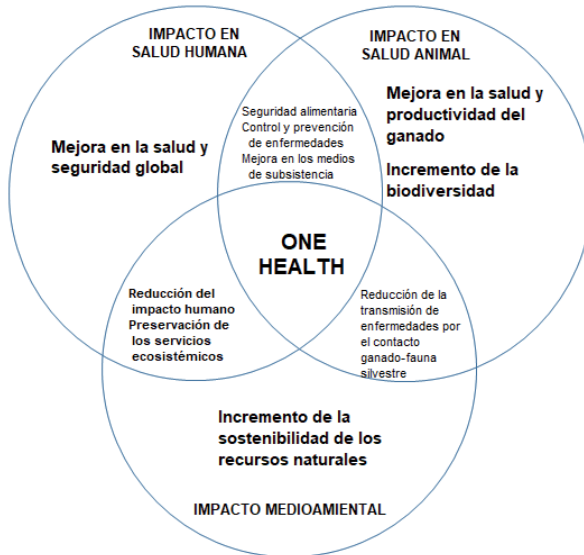
I. Introducción

Se ha señalado reiteradamente que el 75% de las enfermedades infecciosas emergentes son de origen animal. Por ello, un enfoque en el marco conceptual de *One Health* que integre la salud de las personas, los animales y el medio ambiente puede brindar una oportunidad más temprana para la detección y prevención de enfermedades zoonóticas, aquellas que se transmiten de forma natural de los animales al ser humano, y viceversa, y particularmente aquellas que en su transmisión involucran a artrópodos vectores (Figura 1). Dentro de esta idea inclusiva de *One Health*, en la que salud humana, de los animales y ambiental están clara-

mente interrelacionadas, la salud de los animales domésticos es particularmente importante por dos razones fundamentales que tienen que ver con la salud física de las personas, inextricablemente vinculada a la de los animales domésticos y la vida silvestre a través de enfermedades compartidas (zoonosis), y con el bienestar emocional de las personas que puede verse afectado por su percepción de la salud animal, a través del vínculo humano–animal (Okello *et al.*, 2014; Welburn *et al.*, 2021)(Figura 1). En este sentido, la vinculación de la estrategia *One Health* a los efectos derivados del cambio climático puede contribuir significativamente a la seguridad alimentaria, prestando especial atención al alimento que tiene como fuente a la ganadería extensiva, particularmente de los artiodáctilos domésticos (rumiantes y suidos), tomando en consideración los sistemas de respuesta y vigilancia epidemiológica, tanto a nivel regional como global (Zinsstag *et al.*, 2018). Cabe considerar que el sector ganadero es muy susceptible a la variabilidad climática extrema pudiendo verse seriamente afectado como consecuencia del cambio climático y los efectos del mismo en los sistemas de producción ganadera, que se reflejarán particularmente en la endemidad de las enfermedades emergentes y reemergentes que afectan al ganado doméstico.

FIGURA 1. Elementos constituyentes del concepto *One Health*.

Se expresa a través de la conexión existente entre salud humana, salud animal y salud ambiental, que se muestran interdependientes.



La capacidad de los artrópodos hematófagos (insectos y ácaros) para transmitir numerosos patógenos humanos y animales, junto a la presencia de numerosos hospedadores y reservorios potenciales en áreas naturales, urbanas y suburbanas constituyen un peligro persistente tanto para las poblaciones humanas como para los animales domésticos.

2. Cambio climático y producción ganadera en África subsahariana

El subsector ganadero proporciona más de la mitad del valor de la producción agrícola mundial y un tercio en los países en desarrollo de África (Magiri *et al.*, 2021). Gran parte de la economía de los países africanos tiene como eje principal la producción agropecuaria. Este sector viene a cubrir la mitad de la demanda de alimentos, claramente deficitaria, absorbiendo además una parte mayoritaria del empleo (Chauvin *et al.*, 2012). La producción ganadera desempeña un papel económico y sociocultural importante en los medios de subsistencia de las zonas rurales de África subsahariana, entre los que se destacan el suministro de alimentos y la nutrición, ser una fuente de fuerza de tiro y favorecer la fertilidad del suelo, generando además ingresos laborales que posibilitan la acumulación de capital (Abro *et al.*, 2021). Lamentablemente el subsector ganadero es extremadamente susceptible a cambios en la climatología, presentando una alta vulnerabilidad a los mismos que viene determinada por la propia variabilidad del clima (Siebert, 2014; Sintayehu, 2018), la enorme carga de enfermedades zoonóticas existentes, la dependencia de los recursos naturales, las características etnoculturales de las sociedades y sus circunstancias económicas, en muchos casos determinadas por la carencia de infraestructura, la inestabilidad política y social y la propia debilidad de las instituciones (Thornton *et al.* 2007). Cabe esperar que los países en desarrollo presenten una mayor vulnerabilidad al impacto derivado del cambio climático al estar expuestos al mismo en un alto grado y presentar capacidades de adaptación reducidas (Osborne *et al.*, 2013). En este contexto, asimismo cabe señalar que la resiliencia frente a los factores desencadenados por el cambio climático depende de la vulnerabilidad tanto de los animales como de las comunidades afectadas.

Se espera que el cambio climático afecte a la temperatura media registrada, así como al régimen de precipitaciones y a la velocidad del viento, lo que repercutirá en la disponibilidad de agua y otros servicios ecosistémicos de los que depende la agricultura (Calvin *et al.*, 2013) y provoque cambios en la intensidad y distribución de las enfermedades infecciosas (Lafferty, 2009), particularmente en aquellas que

dependen de artrópodos vectores para su transmisión (Franklinos *et al.*, 2019). En cuanto a la producción agraria, uno de los efectos más relevantes del cambio climático es la reducción de la misma, al ser extremadamente vulnerable a las alteraciones que sufren tanto la temperatura media como la pluviometría (Siebert, 2014; Sintayehu, 2018), que en conjunto afectan el rendimiento de los cultivos y consecuentemente a la producción animal. Con vista a futuro, es extremadamente relevante comprender el impacto de estos cambios en la producción de alimentos, factor clave que determina la seguridad alimentaria en el ámbito regional y mundial (Zhao *et al.*, 2017). Las proyecciones que se han venido realizando para distintos escenarios posibles de cambio global muestran resultados homogéneos en cuanto a la afectación que puedan sufrir los principales cultivos alimentarios y áreas geográficas, que suponen importantes reducciones en el rendimiento de los mismos (Wiebe *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2017), dramáticamente afectados por la desertización que se registra en determinadas áreas (Yang *et al.*, 2022). Existen, sin embargo, muy limitadas excepciones a estas expectativas. Entre los posibles impactos positivos limitados del cambio climático se encontraría, por ejemplo, la extensión de la temporada de crecimiento en las latitudes más septentrionales.

Una consecuencia esperada del cambio global se relaciona con cambios en la incidencia de diversos agentes patógenos transmitidos por artrópodos que actúan como vectores. En este grupo se encuadran diversos artrópodos hematófagos que son responsables de la transmisión de una gran variedad de enfermedades que afectan tanto al hombre como a los animales domésticos y silvestres. Distintos tipos de virus, bacterias, protozoos, hongos y metazoos utilizan a estos artrópodos como parte importante de su ciclo vital, particularmente necesarios en los procesos de transmisión entre hospedadores vertebrados. Cabe señalar que la mayoría de artrópodos vectores pasan la mayor parte del tiempo lejos del huésped y solo entran en contacto con los animales en el momento de la alimentación. Excepción a esta norma son los piojos que presentan ciclos vitales en los que huevos, ninfas y adultos suelen estar en estrecho contacto con el hospedador (Durden, 2019).

3. Enfermedades infecciosas transmitidas por vectores

Las enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes pueden definirse como aquellas que han aparecido recientemente en una población o han existido, pero están aumentando rápidamente en incidencia o rango geográfico o, particularmente para el caso humano (biodefensa), que son causadas por uno de los patógenos prioritarios de categoría A, B o C del NIAID (*National Institute of Allergy and*

Infectious Diseases, EE. UU.). Dentro de este grupo destacan las enfermedades zoonóticas, aquellas que se transmite de forma natural de los animales al ser humano, y viceversa (Karesh *et al.*, 2012). En África subsahariana, entre las enfermedades transmitidas por insectos tienen especial relevancia diversos arbovirus y las especies de tripanosomas transmitidos por vectores. En la transmisión de arbovirus se encuentran involucrados distintos dípteros del tipo mosquitos y jejenes (Nematoceros: Culicidos y Ceratopogónidos), así como diversas moscas picadoras como son tábanos, estomóxidos y moscas tsé-tsé (Ortorrafos y Ciclorrafos).

3.1. Tripanosomiasis

Con respecto a las tripanosomiasis, cabe señalar que representan un conjunto de enfermedades zoonóticas que afecta tanto a los seres humanos como al ganado (Radwanska *et al.*, 2018), por lo que debemos referirnos a ellas como tripanosomiasis africana humana (TAH) y tripanosomiasis africana animal (TAA), respectivamente. La distribución geográfica sigue la de las especies de mosca tsé-tsé (especies del género *Glossina*), su vector reconocido. Los hospedadores son las personas, o el ganado, que entran en contacto con el vector, infectándose como consecuencia de la transmisión del parásito con la saliva liberada en el momento de la picadura (Morrison *et al.*, 2016; Büscher *et al.*, 2017). A partir de aquí, existe la posibilidad, en razón de varios factores que se encuentran involucrados, de desarrollar formas agudas o crónicas de la enfermedad, que puede cursar hacia la muerte sin el adecuado tratamiento (Connor, 1992).

Tanto los machos como las hembras de la mosca tsé-tsé son hematófagas y por tanto capaces de transmitir a este parásito. Son dípteros vivíparos, por lo que las hembras depositan una larva completamente desarrollada que se entierra en el suelo, donde se convierte en pupa, pudiendo emerger como mosca adulta transcurrido un mes. La taxonomía de las *Glossina* es compleja, habiéndose descrito 31 taxones entre especies y subespecies que muestran diferentes preferencias de hábitats (p. e. sabana abierta, márgenes de ríos, etc.) (Cecchi *et al.*, 2008; Krafur & Maudlin, 2018; Krinsky, 2019).

En relación a la TAH cabe señalar que involucra a dos subespecies diferenciadas, *T. brucei gambiense* y *T. brucei rhodesiense* (Büscher *et al.*, 2017). En este caso, los principales vectores de *T. b. gambiense* pertenecen al grupo *palpalis* (*G. fuscipes* y *G. palpalis*) (Wamwiri & Changasi, 2016), que tienen una marcada preferencia por los hábitats de ribera, mientras que en el caso de *T. b. rhodesiense* los principales vectores son *G. fuscipes*, *G. morsitans* y *G. pallidipes*, que tienen preferencia por los hábitats de sabana (WHO, 2013; Franco *et al.*, 2014).

La infección de las moscas tsé-tsé por el tripanosoma se produce cuando ingieren sangre periférica de un hospedador infectado que contienen las formas tripomastigotas del protozoo (Noble, 1955). Una vez ingeridos, los tripanosomas inician un proceso de reproducción asexual ciclo evolutiva y multiplicativa en el sistema digestivo del díptero, para llegar finalmente a las glándulas salivales y/o al canal salival, donde finalmente se transforman en formas metacíclicas, que son las que tienen capacidad infectiva para el hospedador vertebrado (Noble., 1955; Auty *et al.*, 2012). Distintas investigaciones han puesto de manifiesto que la prevalencia de infección en la mosca es relativamente baja (en torno al 0,01%), sin embargo, el ritmo de alimentación del díptero (alrededor de una picadura cada tres días) pone de manifiesto la elevada capacidad vectorial de la misma durante los entre dos y tres meses que se prolonga la vida del adulto.

3.2. *Tripanosomiasis bovina*

Nagana y *surra*, son las denominaciones locales de la tripanosomiasis animal africana (TAA) que afecta al ganado (Kimaro & Abiola, 2021), con especies vehiculadas por las moscas tsé-tsé (*Trypanosoma congolense*, *T. vivax* y menos relevante *T. brucei*) (Morrison *et al.*, 2016), o por otros dípteros (*T. evansi*) (Touratier, 2000). La tripanosomiasis se puede definir como un trastorno provocado por la multiplicación del parasitario en el torrente sanguíneo, los vasos linfáticos y los tejidos del huésped, incluidos los músculos cardíacos y el sistema nervioso central. Los tripanosomas son capaces de eludir la respuesta del sistema inmunitario del hospedador debido a que disponen de un mecanismo de organización genética y expresión del antígeno variable de superficie (denominado con el acrónimo inglés VSG) que impide la afectación de las formas sanguíneas del parásito por la vía alternativa del complemento (Vincendeau & Bouteille, 2006; Eshetu & Begejo, 2015; Morrison *et al.*, 2016). Los síntomas de la etapa aguda de la TAA incluyen aborto, trastornos del sistema nervioso central e incluso la muerte, mientras que, en la condición crónica, la capacidad de trabajo y la productividad de los animales se ven afectadas como consecuencia de la emaciación, inflamación de los ganglios linfáticos y anemia severa. Como consecuencia de la TAA se producen importantes pérdidas económicas determinadas por la alta mortalidad, en parte debida a la inmunosupresión que sufren los animales. Como efectos colaterales deben considerarse la baja producción de leche y carne, la mala calidad de las canales, el reducido rendimiento reproductivo, así como una disminución de la producción de estiércol y fuerza animal de tiro (Desquesnes *et al.*, 2013). Se estima que la presión ejercida por la TAA afecta la producción ganadera en regiones subhúmedas y húmedas de África (Mattioli & Wilson, 1996), provocando una reducción de la

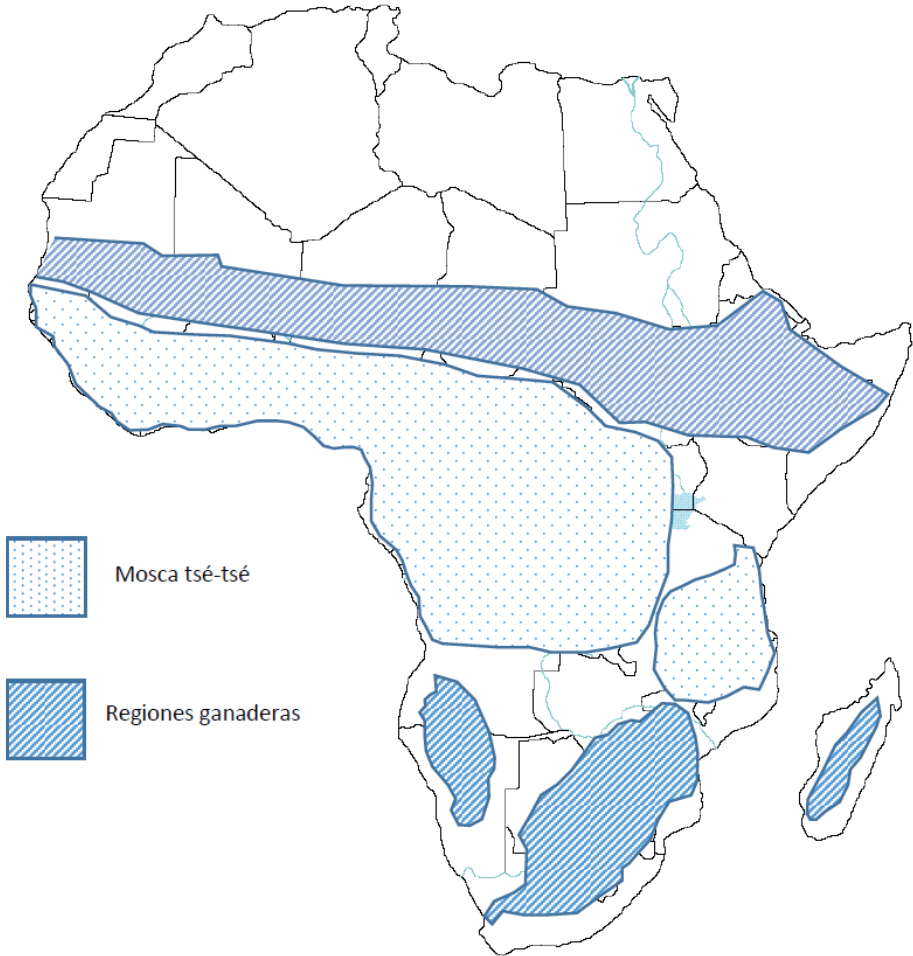
misma en torno a los 400 millones de animales contabilizando bovinos, caprinos y ovinos (Swallow, 2000; Meyer *et al.*, 2018), con en torno a 50–70 millones de cabezas en riesgo de sufrir la tripanosomiasis, lo que podría representar entre el 8 y el 76% de los animales según el área considerada (Abro *et al.*, 2021).

La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), señala que es probablemente la única enfermedad que ha afectado el asentamiento y el desarrollo económico de una gran parte del continente africano. De hecho, la huella de la TAA es tan profunda que ha venido a modelar las rutas migratorias de las tribus ganaderas, de tal modo que las rutas históricamente elegidas han sido aquellas que evitan el “cinturón de la mosca tsé-tsé”, particularmente definida para las especies del complejo *G. morsitans* (Lambrecht, 1964) (Figura 2), así como en los movimientos de los primeros colonos europeos y árabes que dependían de caballos y bueyes en África (McKelvey, 1973).

Otras especies de *Trypanosoma* no tienen a las moscas tsé-tsé como vectores. Tal es el caso de *T. evansi*, agente etológico de la surra, y *T. equiperdum*, causante de la durina, que afecta a los équidos y se corresponde con una enfermedad de transmisión sexual) (Stoco *et al.*, 2017; Olaho–Mukani, 2021). Como consecuencia de la actividad humana, *T. evansi* ha extendido su área de distribución a partir de su localización inicial en África, encontrándose en América Central y del Sur, Medio Oriente y Asia. *Trypanosoma evansi* afecta tanto a perisodáctilos (caballos y asnos), como artiodáctilos (vacas, búfalos, cerdos), además de al perro, adquiriendo cierta relevancia en Asia. En el sudeste asiático, la infección por *T. evansi* se ha manifestado como una enfermedad de importancia económica ya que afecta a búfalos, ganado bovino y cerdos (Brun *et al.*, 1998; Ebhodaghe *et al.*, 2018).

La TAA es actualmente una enfermedad endémica en 37 países africanos, lo que viene a suponer una extensión de alrededor de 10 millones de km² de espacio cultivable, situado entre las latitudes 15° N y 30° S, que delimita el área de distribución de la mosca tsé-tsé (Cattand, 2001; Van den Bossche *et al.*, 2010) (Figura 2). La presencia de la mosca tsé-tsé hace que gran parte de esta área deje de ser adecuada para mantener una actividad mixta de agricultura y ganadería. Se han identificado además otros grupos de vectores (moscas del género *Stomoxys* y diversos tábanos) que posibilitan la transmisión mecánica, lo que vendría a complementar la transmisión biológica determinada por las picaduras de las moscas tsé-tsé (Desquesnes *et al.*, 2009; Diall, *et al.*, 2017). Por otra parte, numerosas especies de mamíferos, domésticos o silvestres, participan como reservorios en el ciclo de transmisión de la *nagana* (Ebhodaghe *et al.*, 2021).

FIGURA 2. Cinturón de la mosca tsé-tsé y territorios ganaderos en África subsahariana (modificado de Baral, 2010)



El control de la THA y la TAA no ha terminado de conseguirse, a pesar de las numerosas campañas emprendidas desde el periodo colonial para erradicar a los vectores (Schofield & Maudlin, 2001). El desarrollo de nuevos fármacos tripanocidas abre una ventana a la esperanza de un futuro control tanto de la THA como de la TAA (Giordani *et al.*, 2016; Munsimbwe *et al.*, 2021). En este mismo sentido, estudios que correlacionan el asentamiento de los tripanosomas en la mosca tsé-

tsé y la flora bacteriana que las moscas presentan parecen prometedores para el desarrollo de medidas de control (Tsakeng *et al.*, 2022).

La influencia del cambio climático sobre las tripanosomiasis en África se cree que va a ser importante (Moore *et al.*, 2012), si bien todavía hay que delimitar la influencia de factores ambientales (cambios registrados en la temperatura y humedad), variación en las poblaciones de mosca tsé-tsé, cambios en los patrones de poblamiento humano, de desarrollo de la actividad ganadera (considerando las especies y razas utilizadas), así como los relativos a animales silvestres que puedan actuar como reservorios.

4. Enfermedades transmitidas por garrapatas

Las garrapatas (Acari, Parasitiformes, Ixodida) representan un grupo de artrópodos quelicerados que, como consecuencia de sus hábitos alimentarios hematófagos, su fisiología y su ciclo vital, cumplen un importante papel como organismos reservorios y transmisores de distintos agentes patógenos que afectan a diversos grupos de vertebrados (Márquez *et al.*, 2021). Cada uno de los estadios postembrionarios (larva, ninfa o adulto) tiene un rango de hospedadores determinado, dependiendo de la disponibilidad de los mismos en los hábitats en los que se localizan (Cumming, 1998). Tanto las garrapatas propiamente dichas como los microbios que transmiten se reconocen como amenazas importantes para la salud pública humana y veterinaria (Wikel, 2018). Las características climáticas del África subsahariana, con regiones de clima tropical y subtropical, favorece el desarrollo de importantes poblaciones de garrapatas relacionadas con la transmisión de diversos patógenos al ganado (Perveen *et al.*, 2021). El papel vectorial de las garrapatas es muy importante por cuanto albergan y son capaces de transmitir una gran diversidad de agentes patógenos que son responsables de enormes pérdidas en la ganadería a nivel mundial, pero que también pueden afectar a los seres humanos (Baneth, 2014). Sólo en el ámbito de la ganadería bovina se calcula que las pérdidas a nivel global pueden superar los 30.000 millones de USD (Mukolwe *et al.*, 2021). África subsahariana sufre fuertemente el impacto derivado de la presencia de las garrapatas y de las numerosas enfermedades que transmiten, entre las que podemos destacar las relacionadas con bacterias (cowdriosis y anaplasmosis), así como las que tienen a protozoos piroplásmidos como agentes etiológicos (babesiosis bovina y theileriosis) (MacGregor *et al.*, 2021). Todos estos patógenos se relacionan con las pérdidas que sufre el sector ganadero, consecuencia de la morbilidad y mortalidad asociada a estas enfermedades. Es muy probable que entre los efectos del cambio global en esta área geográfica se encuentre la expansión

de las garrapatas, particularmente algunas de las especies más relevantes de los géneros *Amblyomma* y *Rhipicephalus* (Githaka *et al.*, 2021). Parte de los cambios que se registran en la distribución actual de las garrapatas, y la expansión de enfermedades transmitidas, en África subsahariana tiene también que ver con el desplazamiento del ganado a través del transporte entre distintos países (Zannou *et al.*, 2021). De hecho, el cambio climático está determinando el movimiento transfronterizo ilegal de ganado, que posibilita la introducción de garrapatas en nuevas regiones (Githaka *et al.*, 2021). En estas condiciones, actualmente se están registrando cambios en la composición de especies de garrapatas, con el establecimiento de especies más tolerantes al calor en zonas donde anteriormente no se encontraban. Un claro ejemplo es la aparición de *Rh. microplus* en Namibia a partir de poblaciones sudafricanas (Nuttall, 2022), y una reducción en el área de distribución de *Rh. decoloratus*, una especie menos tolerante al incremento de temperaturas (Lynen *et al.*, 2008). Una situación semejante se ha descrito para *Amblyomma variegatum*, que también ha incrementado enormemente su área de distribución en África (Okely *et al.*, 2020; Mukolwe *et al.*, 2021). Una revisión de la distribución de las garrapatas con una mayor importancia como vectores en África subsahariana, pertenecientes a los géneros *Amblyomma* y *Rhipicephalus*, aparece recogida en Nyangwiwe *et al.* (2018).

Cuatro son los principales agentes patógenos causantes de enfermedades transmitidas por garrapatas (ETG) que afectan al ganado bovino: los piroplásmidos *Theileria parva*, agente causal de la fiebre de la costa Este, *Babesia bigemina*, causante de la babesiosis, y los Alfa-proteobacterias, *Anaplasma marginale*, causante de la anaplasmosis bovina, y *Ehrlichia ruminantium*, agente etiológico de la hidropericarditis.

Dentro de los protozoos del filo de los Apicomplexos destacan por su importancia veterinaria diversas especies de los géneros *Babesia* y *Theileria*. En las babesiosis bovinas que se desarrollan en África destacan particularmente *B. bigemina* y *B. bovis* (Bock *et al.*, 2004). Ambas especies son transmitidas por especies de *Rhipicephalus* (*Boophilus*), entre las que destacan *Rh. microplus* y *Rh. decoloratus* (Gray *et al.*, 2019). *Babesia bovis* causa la forma más virulenta de la enfermedad, mientras que *B. bigemina* es la más prevalente en el continente. La patogenia está casi totalmente relacionada con una rápida hemólisis intravascular, que puede llegar a ser masiva. En el caso de *B. bovis* no son infrecuentes trastornos en la coagulación o la citoaderencia de los hematíes (Bock *et al.*, 2014). La enfermedad se caracteriza por fiebre, anemia, orina roja (por hemólisis), pudiendo provocar la muerte del ganado susceptible (Tayebwa *et al.*, 2018). En ambos casos, las pérdidas son extremadamente importantes (Kuttler, 2018).

Theileria parva es el piroplásmido involucrado en la theileriosis en esta región, un parásito que de forma natural infecta al búffalo (*Synceros caffer*), en el que la infección se desarrolla de forma asintomática. En este caso el vector es la garrapata *Rh. appendiculatus* (McGregor *et al.*, 2021), que cuenta con una amplia distribución en África subsahariana (Leta *et al.*, 2013). La biología de *T. parva* en el ganado implica la invasión de linfocitos a los que convierte en inmortales (Dobbelaere & Heussler, 1999) lo que facilita la persistencia y extensión de la infección. En el ganado bovino la infección cursa con diarrea severa, fiebre, anorexia y dificultad respiratoria (Agina *et al.*, 2020). La infección provoca una alta morbilidad y mortalidad, particularmente en las razas ganaderas importadas (p. e. el cebú), donde la mortalidad puede alcanzar al 30–90% de los ejemplares, frente al 3% que se registra en las razas autóctonas (Abdela & Bekele, 2016). Esta diferencia en la mortalidad causada por este parásito inhibe la introducción de ganado mejorado en las zonas endémicas. Estas ETG determinan que la capacidad de mejora de las razas y el incremento de producción en las zonas endémicas sea muy limitada, impidiendo el desarrollo de una industria ganadera económicamente competitiva (Enahoro *et al.*, 2019). A nivel global, la theileriosis supone una importante limitación en la producción y mejora de la ganadería en numerosos países en vías de desarrollo en los que pueden estar afectados más de 250 millones de cabezas de ganado (Demessie & Derso, 2015).

La anaplasmosis es la ETG más prevalente del ganado, principalmente causada por *Anaplasma marginale*, que se distribuye en las regiones tropicales y subtropicales de todos los continentes (Aubry & Geale, 2011). Tiene como vector principal a *Rhipicephalus decoloratus*, aunque diversos dípteros (entre otros de los géneros *Tabanus*, *Stomoxys* y *Culicoides*) facilitan su transmisión mecánica (Byaruhanga *et al.*, 2018). Una segunda especie de *Anaplasma*, *A. centrale*, causa una forma leve de anaplasmosis, por lo que se ha utilizado como vacuna viva para proteger contra la infección por *A. marginale* (Kocan *et al.*, 2010).

Ehrlichia ruminantium es un organismo rickettsial que causa una cardiopatía en los animales infectados (ganado bovino y otros pequeños rumiantes) (Allsopp, 2010, 2015). Los animales infectados manifiestan, además del derrame pericardico y pleural, trastornos nerviosos (Musisi & Lawrence, 1995). Afecta a diversos rumiantes en casi todo el África subsahariana, así como en numerosas islas próximas al continente (Reunión, Mauricio, Madagascar y Santo Tomé), habiéndose exportado a islas del Caribe como consecuencia de la translocación de razas ganaderas (Gondard *et al.*, 2017). Este patógeno es transmitido por *Amblyomma variegatum* que, como hemos indicado, se encuentra en franca expansión en el continente. La bacteria afecta a un amplio rango de mamíferos domésticos y silvestres (Olivieri *et al.*, 2021).

4.1. Virus transmitidos por garrapatas

Entre los virus transmitidos por garrapatas destaca el virus de la fiebre hemorrágica de Crimea–Congo, que tiene una importante repercusión en salud humana, y el virus de la peste porcina africana, causante de enormes mortalidades en las explotaciones porcinas y en los suidos silvestres.

El virus de la fiebre hemorrágica de Crimea–Congo (CCHFV) (Orthonairovirus, Nairoviridae) (Garrison *et al.*, 2020) es el agente etiológico de una enfermedad hemorrágica grave en humanos de origen zoonótico, la Fiebre hemorrágica de Crimea–Congo (CCHF). El carácter zoonótico de esta enfermedad determina que pueda causar, en las áreas endémicas, episodios esporádicos que no pueden ser anticipados con importantes consecuencias sanitarias (Borio *et al.*, 2002) incluso en áreas todavía no intensamente afectadas (Maltezou *et al.*, 2010). La CCHF como tal sólo ocurre en humanos en los que transcurre dando lugar a fiebre hemorrágica, frecuentemente mortal, por lo que la Organización Mundial de la Salud la ha incluido en el listado de enfermedades que requieren investigación prioritaria (Mehand *et al.*, 2018). En el ciclo de transmisión del CCHFV intervienen las garrapatas como vectores y reservorios (principalmente especies pertenecientes al género *Hyalomma*), así como los vertebrados que actúan como amplificadores del agente infeccioso o dispersores de los vectores, particularmente pequeños rumiantes, por lo que puede definirse como una enfermedad enzoótica, en la que el hombre actúa como una vía muerta (Bente *et al.*, 2013). La transmisión se produce bien por picadura de garrapata bien por contacto con fluidos corporales infectados procedentes de animales o seres humanos. La CCHF tiene una amplia distribución, incluyendo África, Asia y Europa, que viene a coincidir con el área de distribución de las especies de garrapatas del género *Hyalomma*, principal vector de la misma.

La peste porcina africana (PPA) es una enfermedad vírica extremadamente contagiosa, producida por el virus de ese mismo nombre, que afecta con una elevada mortalidad a los suidos domésticos y silvestres en varios continentes (Blome *et al.*, 2013; Sánchez–Vizcaíno *et al.*, 2019). Presenta una patogénesis claramente definida (Salgero, 2020). La PPA está sujeta a una rápida dispersión y frecuentemente se manifiesta como una severa epizootia que aparece de forma esporádica en un territorio con efectos devastadores. El agente etiológico es un Asfivirus (familia Asfarviridae) con un genoma constituido por una doble cadena de ADN (Yañez *et al.*, 1995; De Villers *et al.*, 2010). El virus tiene forma icosaédrica y es muy resistente a las condiciones ambientales, pudiendo ser transmitido por contacto con materiales contaminados o de tejidos de animales infectados (Olesen *et al.*, 2017), lo que determina la aparición de epidemias en diversas partes del mundo (Zhuo *et*

al., 2018). Se ha descrito un ciclo enzoótico de la PPA en el que puede intervenir distintas especies de garrapatas blandas pertenecientes al género *Ornithodoros* (Ixodoidea, Argasidae) y la mosca de los establos (*Stomoxys*) (Burrage, 2013; Olesen *et al.*, 2018). Aunque la PPA no representa ningún peligro para la salud humana, tiene consecuencias económicas muy relevantes en las explotaciones porcinas, con mortalidades próximas al 100% de la cabaña, lo que determina enormes pérdidas en los sistemas de producción (Mulumba–Mfumu *et al.*, 2019). Para su erradicación en África subsahariana se hace necesario el control del ciclo de suidos domésticos y silvestres (Penrith *et al.*, 2013; Jori *et al.*, 2013; Dixon *et al.*, 2020).

5. Discusión y conclusiones

África Subsahariana contiene una enorme diversidad de razas ganaderas autóctonas (Hanotte et al., 2010). Más allá de sus características morfológicas, son consecuencia de procesos de adaptación al medio y selección, que en muchos casos encierran competencias y capacidades que todavía no han sido explotadas convenientemente, entre ellas, la tolerancia a diversos parásitos (Holt et al., 2016).

Estos son aspectos a considerar antes de que se produzca una erosión de razas locales por la introducción de razas externas que, aparentemente, podrían ser más productivas (Kubkomawa, 2017). La diversidad de formas, colores, tipos de cornamenta, etc., de los animales domésticos del África subsahariana tienen también un enorme valor cultural difícilmente evaluable desde un punto de vista económico.

El origen y estructura genética del ganado vacuno de África oriental y occidental ha sido estudiado, particularmente para establecer las razas derivadas de *Bos taurus* y *B. primigenius indicus* (Ibeagha–Awemu & Erhardt, 2005; Lin *et al.*, 2010). Los animales derivados de estos cruces son formas relativamente adaptadas, con una adecuada respuesta al estrés por calor, y fertilidad y productividad razonables, tanto en las formas nominales como en sus híbridos en áreas tropicales (Otto *et al.*, 2019; Kasarapu *et al.*, 2017).

La tripanosomiasis animal africana (AAT), es una enfermedad transfronteriza que ha tenido un impacto inmenso en el ganado y se encuentra entre las principales enfermedades del ganado a nivel mundial. La AAT y las ETG han supuesto grandes obstáculos para la producción agrícola sostenible basada en la ganadería y la seguridad alimentaria, siendo factores importantes en el subdesarrollo. Debido a la disminución de la eficacia de los medicamentos disponibles, la resistencia ge-

neralizada de tripanosomas y bacterias transmisibles, y la dificultad de mantener otras medidas de control, existe la necesidad de desarrollar estrategias sostenibles alternativas para reducir el impacto que estas enfermedades tienen en el ganado.

De cara al futuro se presentan varios desafíos clave entre los que destacan el control de la transmisión de enfermedades zoonóticas, por ejemplo, a través del desarrollo de programas de erradicación de los vectores. Sin embargo, la aparición de resistencias a los insecticidas y acaricidas empleados, problemas de orden político, los movimientos transfronterizos de ganado o la debilidad de los servicios veterinarios comprometen seriamente el desarrollo de la actividad ganadera, particularmente en condiciones de cambio climático que afectan negativamente el devenir de la misma. Nos encontramos claramente ante un problema complejo que afecta a numerosos grupos de interés, que requiere de su participación, y que va a necesitar de la aplicación de un enfoque de control integrado sostenible. En todos los casos de enfermedad transmitida por vectores la solución del problema vendrá de la mano del control integrado, incluida la vacunación, el control estratégico de vectores, la vigilancia de la resistencia a los insecticidas y acaricidas, en el que por una parte pueda destruirse el agente patógeno, p. e. tripanocidas en el caso de la TAA o THA (Giordani *et al.*, 2016), disminuir las poblaciones de los vectores (Allsopp, 2010) y reducir el contacto entre el vector y el hospedador vertebrado (Young *et al.*, 1988; Wamwiri & Changasi, 2016). Todo ello implica una relación costo-beneficio que favorece a los productores (Kristjanson *et al.*, 2019).

Debemos tener en cuenta que los vectores y los patógenos que transmiten han coevolucionado en equilibrio con los animales salvajes que sirven simultáneamente como hospedadores y reservorios, así como con los animales domésticos en las áreas en que estos se han introducido. Normalmente las situaciones de inestabilidad solo ocurren cuando estos reservorios entran en contacto con animales domésticos, ya sea por la introducción de animales no infestados a regiones infestadas, o por el movimiento de animales infestados a regiones no infestadas (Jongejan & Uilenberg, 2004; Hurtado & Giraldo-Ríos, 2018).

La historia de la tripanosomiasis africana es un claro ejemplo de cómo una enfermedad no solo afectó la evolución de los humanos sino también el desarrollo cultural y económico de las personas en las regiones subsaharianas. De los acontecimientos históricos del siglo XX se puede aprender que un enfoque concertado de detección y tratamiento sistemático de casos es el método apropiado para el control de la enfermedad del sueño y que la interrupción de estas medidas de control conducirá a la reaparición y propagación de la enfermedad. La historia también ha demostrado que la TAA siempre impidió la introducción de la ganadería

en las zonas endémicas. Una consecuencia de esto es que gran parte de África tropical todavía está presente hoy y no se ha convertido en pastizales para la cría de ganado (Steverding, 2008).

Se han emprendido grandes esfuerzos para determinar el marco conceptual en el que se pueda operar en la comprensión de los aspectos sensibles al clima, de la biología de vectores y de los organismos patógenos transmitidos por aquellos, para predecir cambios en la prevalencia y el riesgo de enfermedades debido al cambio climático (Magiri *et al.*, 2020). En el futuro de nuestras acciones se encuentra la respuesta.

6. Referencias

- ABDELA, N., & BEKELE, T. (2016). "Bovine theileriosis and its control: A review". *Advances in Biological Research*, 10(4), 200–212.
- ABRO, Z., KASSIE, M., MURIITHI, B., OKAL, M., MASIGA, D., WANDA, G., ... & CHILONGO, K. (2021). "The potential economic benefits of controlling trypanosomiasis using waterbuck repellent blend in sub-Saharan Africa". *Plos One*, 16(7), e0254558
- AFRICAN TRYPANOTOLERANT LIVESTOCK NETWORK (ATLN). "Livestock Production in tsetse affected areas of Africa". *Proceedings of an African Trypanotolerant Livestock Network meeting*, Nairobi, 1987. p.3–<http://www.fao.org/Wairdocs/ILRI/x5443E/x5443e00.htm>. Accessed 23 February 2018.
- AGINA, O. A., SHAARI, M. R., ISA, N. M. M., AJAT, M., ZAMRI-SAAD, M., & HAMZAH, H. (2020). "Clinical pathology, immunopathology and advanced vaccine technology in bovine theileriosis: A review". *Pathogens*, 9(9), 697.
- ALLSOPP, B. A. (2010). Natural history of *Ehrlichia ruminantium*. *Veterinary Parasitology*, 167(2–4), 123–135.
- (2015). "Heartwater. *Ehrlichia ruminantium* infection". *Revue scientifique et technique – Office international des epizooties*, 34 (2), 557–568
- ALLSOPP, R. (2001). "Options for vector control against trypanosomiasis in Africa". *Trends in Parasitology*, 17, 15–19.
- AUBRY, P., & GEALE, D. W. (2011). "A review of bovine anaplasmosis". *Transboundary and Emerging Diseases*, 58(1), 1–30.

- AUTY, H., ANDERSON, N. E., PICOZZI, K., LEMBO, T., MUBANGA, J., HOARE, R., ... & WELBURN, S. C. (2012). "Trypanosome diversity in wildlife species from the Serengeti and Luangwa Valley ecosystems". *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 6, e1828.
- BALDACCHINO, F., MUENWORN, V., DESQUESNES, M., DESOLI, F., CHAROENVIRIYAPHAP, T., & DUVALLET, G. (2013). "Transmission of pathogens by *Stomoxys* flies (Diptera, Muscidae): a review". *Parasite*, 20, 26.
- BANETH, G. (2014). "Tick-borne infections of animals and humans: a common ground". *International Journal of Parasitology*, 44, 591–596.
- BARAL, T. N. (2010). "Immunobiology of African trypanosomes: need of alternative interventions". *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2010, 389153.
- ESHETU, E., & BEGEJO, B. (2015). "The current situation and diagnostic approach of Nagana in Africa: a review". *Journal of Natural Sciences Research*, 5(17), 117–125.
- BENTE, D. A., FORRESTER, N. L., WATTS, D. M., MCAULEY, A. J., WHITEHOUSE, C. A., & BRAY, M. (2013). "Crimean-Congo hemorrhagic fever: history, epidemiology, pathogenesis, clinical syndrome and genetic diversity". *Antiviral Research*, 100(1), 159–189.
- BLOME, S., GABRIEL, C., & BEER, M. (2013). "Pathogenesis of African swine fever in domestic pigs and European wild boar". *Virus Research*, 173(1), 122–130.
- BOCK, R., JACKSON, L., DE VOS, A., & JORGENSEN, W. (2004). "Babesiosis of cattle". *Parasitology*, 129(S1), S247–S269.
- BORIO, L., INGLESBY, T., PETERS, C. J., SCHMALJOHN, A. L., HUGHES, J. M., JAHRLING, P. B., ... & WORKING GROUP ON CIVILIAN BIODEFENSE. (2002). "Hemorrhagic fever viruses as biological weapons: medical and public health management". *JAMA*, 287(18), 2391–2405.
- BRUN, R., HECKER, H., & LUN, Z. R. (1998). "*Trypanosoma evansi* and *T. equiperdum*: distribution, biology, treatment and phylogenetic relationship (a review)". *Veterinary Parasitology*, 79(2), 95–107.
- BURRAGE, T. G. (2013). "African swine fever virus infection in *Ornithodoros* ticks". *Virus Research*, 173(1), 131–139.

- BÜSCHER, P., CECCHI, G., JAMONNEAU, V., & PRIOTTO, G. (2017). "Human african trypanosomiasis". *The Lancet*, 390(10110), 2397–2409.
- BYARUHANGA, C., COLLINS, N. E., KNOBEL, D. L., KHUMALO, Z. T., CHAISI, M. E., & OOSTHUIZEN, M. C. (2018). "Molecular detection and phylogenetic analysis of *Anaplasma marginale* and *Anaplasma centrale* amongst transhumant cattle in north-eastern Uganda". *Ticks and Tick-borne Diseases*, 9(3), 580–588.
- CALVIN, K., WISE, M., CLARKE, L., EDMONDS, J., KYLE, P., LUCKOW, P., & THOMSON, A. (2013). "Implications of simultaneously mitigating and adapting to climate change: Initial experiments using GCAM". *Climatic Change*, 117(3), 545–560.
- CATTAND, P. (2001). "The epidemiology of human African trypanosomiasis: a complex multifactorial history". *Medecine tropicale: Revue du Corps de Sante Coloniale*, 61(4–5), 313–322.
- CECCHI, G., MATTIOLI, R. C., SLINGENBERGH, J., & DE LA ROCQUE, S. (2008). "Land cover and tsetse fly distributions in sub-Saharan Africa". *Medical and Veterinary Entomology*, 22(4), 364–373.
- CHAUVIN, N. D., MULANGU, F., & PORTO, G. (2012). "Food production and consumption trends in sub-Saharan Africa: Prospects for the transformation of the agricultural sector". *UNDP Regional Bureau for Africa: New York, NY, USA*, 2(2), 74.
- CONNOR, R. (1992). "The diagnosis, treatment and prevention of animal trypanosomiasis under field conditions". *Programme for the control of African animal trypanosomiasis and related development: ecological and technical aspects*. FAO animal production and health paper. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/3/t0599e/T0599E01.htm>
- CUMMING, G. S. (1998). "Host preference in African ticks (Acari: Ixodida): a quantitative data set". *Bulletin of Entomological Research*, 88(4), 379–406.
- DE VILLIERS, E. P., GALLARDO, C., ARIAS, M., DA SILVA, M., UPTON, C., MARTIN, R., & BISHOP, R. P. (2010). "Phylogenomic analysis of 11 complete African swine fever virus genome sequences". *Virology*, 400(1), 128–136.
- DEMESSIE, Y., & DERSO, S. (2015). "Tick borne hemoparasitic diseases of ruminants: A review". *Advances in Biological Research*, 9(4):210–224.

- DESQUESNES, M., BITEAU-COROLLER, F., BOUYER, J., DIA, M. L., & FOIL, L. (2009). "Development of a mathematical model for mechanical transmission of trypanosomes and other pathogens of cattle transmitted by tabanids". *International Journal for Parasitology*, 39(3), 333–346.
- DESQUESNES, M., HOLZMULLER, P., LAI, D. H., DARGANTES, A., LUN, Z. R., & JITTAPLAPONG, S. (2013). "Trypanosoma evansi and surra: a review and perspectives on origin, history, distribution, taxonomy, morphology, hosts, and pathogenic effects". *BioMed Research International*, 194176.
- DIALLO, O., CECCHI, G., WANDA, G., ARGILÉS-HERRERO, R., VREYSEN, M. J., CATTOLI, G., ... & BOUYER, J. (2017). "Developing a progressive control pathway for African animal trypanosomosis". *Trends in Parasitology*, 33(7), 499–509.
- DIXON, L. K., STAHL, K., JORI, F., VIAL, L., & PFEIFFER, D. U. (2020). "African swine fever epidemiology and control". *Annual Review of Animal Biosciences*, 8, 221–246.
- DOBBELAERE, D., & HEUSSLER, V. (1999). "Transformation of leukocytes by *Theileria parva* and *T. annulata*". *Annual Review of Microbiology*, 53, 1–42.
- DURDEN, L. A. (2019). Lice (Phthiraptera). En: *Medical and veterinary entomology* (pp. 79–106). Academic Press.
- EBHODAGHE, F. I., OKAL, M. N., KALAYOU, S., BASTOS, A. D., & MASIGA, D. K. (2021). "Tsetse bloodmeal analyses incriminate the common warthog *Phacochoerus africanus* as an important cryptic host of animal trypanosomes in smallholder cattle farming communities in Shimba Hills, Kenya". *Pathogens*, 10(11), 1501.
- EBHODAGHE, F., OHIOLEI, J. A., & ISAAC, C. (2018). "A systematic review and meta-analysis of small ruminant and porcine trypanosomiasis prevalence in sub-Saharan Africa (1986 to 2018)". *Acta Tropica*, 188, 118–131.
- ENAHORO, D., MASON-D'CROZ, D., MUL, M., RICH, K. M., ROBINSON, T. P., THORNTON, P., & STAAL, S. S. (2019). "Supporting sustainable expansion of livestock production in South Asia and Sub-Saharan Africa: Scenario analysis of investment options". *Global Food Security*, 20, 114–121.
- FRANCO, J. R., SIMARRO, P. P., DIARRA, A., & JANNIN, J. G. (2014). "Epidemiology of human African trypanosomiasis". *Clinical Epidemiology*, 6, 257.

- FRANKLINOS, L. H., JONES, K. E., REDDING, D. W., & ABUBAKAR, I. (2019). "The effect of global change on mosquito-borne disease". *The Lancet Infectious Diseases*, 19(9), e302–e312.
- GARRISON, A. R., ALKHOVSKY, S. V., AVŠIČ-ŽUPANC, T., BENTE, D. A., BERGERON, É., BURT, F., ... & PALACIOS, G. (2020). "ICTV virus taxonomy profile: Nairoviridae". *Journal of General Virology*, 101(8), 798–799.
- GEERTS, S., HOLMES, P. H., EISLER, M. C., & DIALL, O. (2001). "African bovine trypanosomiasis: the problem of drug resistance". *Trends in Parasitology*, 17(1), 25–28.
- GIORDANI, F., MORRISON, L. J., ROWAN, T. G., DE KONING, H. P., & BARRETT, M. P. (2016). "The animal trypanosomiasis and their chemotherapy: a review". *Parasitology*, 143(14), 1862–1889.
- GITHAKA, N., KANDUMA, E., & BISHOP, R. (2021). "Role of climate and other factors in determining the dynamics of tick and tick-transmitted pathogen populations and distribution in western, central and eastern Africa". *Climate, ticks and disease* (pp. 486–491). Wallingford UK: CABI.
- GONDARD, M., CABEZAS-CRUZ, A., CHARLES, R. A., VAYSSIER-TAUSSAT, M., ALBINA, E., & MOUTAILLER, S. (2017). "Ticks and tick-borne pathogens of the Caribbean: Current understanding and future directions for more comprehensive surveillance". *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 7, 490.
- GRAY, J. S., ESTRADA-PEÑA, A., & ZINTL, A. (2019). "Vectors of babesiosis". *Annual Review of Entomology*, 64, 149–165.
- HANOTTE, O., DESSIE, T., & KEMP, S. (2010). "Time to tap Africa's livestock genomes". *Science*, 328 (5986), 1640–1641.
- HOLT, H. R., SELBY, R., MUMBA, C., NAPIER, G. B., & GUITIAN, J. (2016). "Assessment of animal African trypanosomiasis (AAT) vulnerability in cattle-owning communities of sub-Saharan Africa". *Parasites & Vectors*, 9(1), 1–12.
- HURTADO, O. J. B., & GIRALDO-RÍOS, C. (2018). "Economic and health impact of the ticks in production animals". *Ticks and Tick-Borne Pathogens* (pp. 133–152). Intech Open: Londres.

- IBEAGHA-AWEMU, E. M., & ERHARDT, G. (2005). "Genetic structure and differentiation of 12 African *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle breeds, inferred from protein and microsatellite polymorphisms". *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 122(1), 12–20.
- JONGEJAN, F., & UILENBERG, G. (2004). "The global importance of ticks". *Parasitology*, 129 (4), S3–S14.
- JORI, F., VIAL, L., PENRITH, M. L., PÉREZ-SÁNCHEZ, R., ETTER, E., ALBINA, E., ... & ROGER, F. (2013). "Review of the sylvatic cycle of African swine fever in sub-Saharan África and the Indian ocean". *Virus Research*, 173(1), 212–227.
- KARESH, W. B., DOBSON, A., LLOYD-SMITH, J. O., LUBROTH, J., DIXON, M. A., BENNETT, M., ... & HEYMANN, D. L. (2012). "Ecology of zoonoses: natural and unnatural histories". *The Lancet*, 380(9857), 1936–1945.
- KASAJJA, P. D., ESTRADA-PEÑA, A., CONTRERAS, M., KIRUNDA, H., & DE LA FUENTE, J. (2021). "Cattle ticks and tick-borne diseases: a review of Uganda's situation". *Ticks and Tick-borne Diseases*, 12(5), 101756.
- KASARAPU, P., PORTO-NETO, L. R., FORTES, M. R., LEHNERT, S. A., MUDADU, M. A., COUTINHO, L., ... & REVERTER, A. (2017). "The *Bos taurus*-*Bos indicus* balance in fertility and milk related genes". *PloS One*, 12(8), e0181930.
- KIMARO, E. G., & ABIOLA, P. M. (2021). "Epidemiology and economic importance of African animal trypanosomiasis". ORENGE C. O. (ed.) *Combating and Controlling Nagana and Tick-Borne Diseases in Livestock* (pp. 24–52). IGI Global.
- KOCAN, K. M., DE LA FUENTE, J., BLOUIN, E. F., COETZEE, J. F., & EWING, S. A. (2010). "The natural history of *Anaplasma marginale*". *Veterinary Parasitology*, 167(2–4), 95–107.
- KRAFSUR, E. S., & MAUDLIN, I. (2018). "Tsetse fly evolution, genetics and the trypanosomiasis—A review". *Infection, Genetics and Evolution*, 64, 185–206.
- KRINSKY, W. L. (2019). "Tsetse flies (Glossinidae)". *Medical and Veterinary Entomology* (pp. 369–382). Academic Press.
- KRISTJANSON, P. M., SWALLOW, B. M., ROWLANDS, G. J., KRUSKA, R. L., & DE LEEUW, P. N. (1999). "Measuring the costs of African animal trypanosomiasis, the potential benefits of control and returns to research". *Agricultural Systems*, 59(1), 79–98.

- KUBKOMAWA, H. I. (2017). "Indigenous breeds of cattle, their productivity, economic and cultural values in Sub-Saharan Africa: A review". *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 3(1), 27–43.
- KUTTLER, K. L. (2018). "World-wide impact of babesiosis". *Babesiosis of domestic animals and man* (pp. 1–22). CRC Press.
- LAFFERTY, K. D. (2009). "The ecology of climate change and infectious diseases". *Ecology*, 90(4), 888–900.
- LAMBRECHT, F. L. (1964). "Aspects of evolution and ecology of tsetse flies and trypanosomiasis in prehistoric African environment". *The Journal of African History*, 5(1), 1–24.
- LETA, S., DE CLERCQ, E. M., & MADDER, M. (2013). "High-resolution predictive mapping for *Rhipicephalus appendiculatus* (Acari: Ixodidae) in the Horn of Africa". *Experimental and Applied Acarology*, 60(4), 531–542.
- LIN, B. Z., SASAZAKI, S., & MANNEN, H. (2010). "Genetic diversity and structure in *Bos taurus* and *Bos indicus* populations analyzed by SNP markers". *Animal Science Journal*, 81(3), 281–289.
- LYNEN, G., ZEMAN, P., BAKUNAME, C., DI GIULIO, G., MTUI, P., SANKA, P., & JONGEJAN, F. (2008). "Shifts in the distributional ranges of *Boophilus* ticks in Tanzania: evidence that a parapatric boundary between *Boophilus microplus* and *B. decoloratus* follows climate gradients". *Experimental and Applied Acarology*, 44(2), 147–164.
- MACGREGOR, P., NENE, V., & NISBET, R. E. R. (2021). "Tackling protozoan parasites of cattle in sub-Saharan Africa". *PLoS Pathogens*, 17(10), e1009955.
- MAGIRI, R., MUZANDU, K., GITAU, G., CHOONGO, K., & IJI, P. (2020). "Impact of climate change on animal health, emerging and re-emerging diseases in Africa". *African Handbook of Climate Change Adaptation* (pp. 1–18). Springer.
- MAICHOMO, M. W., ORENGE, C. O., & GAMBA, D. O. (2021). "Introduction of African Animal Trypanosomiasis (AAT)/Nagana". *Combating and Controlling Nagana and Tick-Borne Diseases in Livestock* (pp. 1–23). IGI Global.
- MALTEZOU, H. C., ANDONOVA, L., ANDRAGHETTI, R., BOULOY, M., ERGONUL, O., JONGEJAN, F., ... & ZELLER, H. (2010). "Crimean-Congo hemorrhagic fever in Europe: current situation calls for preparedness". *Eurosurveillance*, 15(10), 19504.

MÁRQUEZ, F. J., MÁRQUEZ-CONSTÁN, J., & CARUZ, A. (2021). "Revisión actualizada del papel vectorial de las garrapatas en España. Un enfoque desde la Biología Molecular". *Análisis, conservación y restauración de Ecosistemas* (pp. 253–304). Editorial UJA.

MARTENS, C., HICKLER, T., DAVIS-REDDY, C., ENGELBRECHT, F., HIGGINS, S. I., VON MALTITZ, G. P., ... & SCHEITER, S. (2021). "Large uncertainties in future biome changes in África call for flexible climate adaptation strategies". *Global Change Biology*, 27(2), 340–358.

MATTIOLI, R. C., & WILSON, R. T. (1996). "Trypanosomes, tsetse and trypanotolerance: Coevolution in tropical Africa". *Parassitologia*, 38, 531–536.

McKELVEY JR, J. J. (1973). *Man against tsetse. Struggle for Africa*. Cornell University Press, London, UK.

MEHAND, M. S., AL-SHORBAJI, F., MILLETT, P., & MURGUE, B. (2018). "The WHO R&D Blueprint: 2018 review of emerging infectious diseases requiring urgent research and development efforts". *Antiviral Research*, 159, 63–67.

MEYER, A., HOLT, H. R., OUMAROU, F., CHILONGO, K., GILBERT, W., FAURON, A., ... & GUITIAN, J. (2018). "Integrated cost-benefit analysis of tsetse control and herd productivity to inform control programs for animal African trypanosomiasis". *Parasites & Vectors*, 11(1), 1–14.

MOLOTOKS, A., SMITH, P., & DAWSON, T. P. (2021). "Impacts of land use, population, and climate change on global food security". *Food and Energy Security*, 10(1), e261.

MOORE, S., SHRESTHA, S., TOMLINSON, K. W., & VUONG, H. (2012). "Predicting the effect of climate change on African trypanosomiasis: integrating epidemiology with parasite and vector biology". *Journal of the Royal Society Interface*, 9(70), 817–830.

MORRISON, L. J., VEZZA, L., ROWAN, T., & HOPE, J. C. (2016). "Animal African trypanosomiasis: time to increase focus on clinically relevant parasite and host species". *Trends in Parasitology*, 32(8), 599–607.

MUKOLWE, D. L., BYARUHANGA, C., & OBONYO, F. O. (2021). "Epidemiology and economic importance of tick-borne diseases of cattle in Africa". *Combating and Controlling Nagana and Tick-Borne Diseases in Livestock* (pp. 144–165). IGI Global.

MULUMBA-MFUMU, L. K., SAEGERMAN, C., DIXON, L. K., MADIMBA, K. C., KAZADI, E., MUKALAKATA, N. T., ... & PENRITH, M. L. (2019). "African swine fever: update on Eastern, Central and Southern Africa". *Transboundary and Emerging Diseases*, 66(4), 1462–1480.

MUNSIMBWE, L., SEETSI, A., NAMANGALA, B., N'DA, D. D., INOUE, N., & SUGANUMA, K. (2021). "In vitro and in vivo trypanocidal efficacy of synthesized nitrofurantoin analogs". *Molecules*, 26(11), 3372.

MUSISI, F. L., & LAWRENCE, J. A. (1995). "Prospects for control of tick-borne diseases in cattle by immunization in eastern, central, and southern Africa". *Agriculture and Human Values*, 12(2), 95–106.

NOBLE, E. R. (1955). "The morphology and life cycles of trypanosomes". *The Quarterly Review of Biology*, 30(1), 1–28.

NUTTALL, P. A. (2022). "Climate change impacts on ticks and tick-borne infections". *Biologia*, 77, 1503–1512.

NYANGIWE, N., YAWA, M., & MUCHENJE, V. (2018). "Driving forces for changes in geographic range of cattle ticks (Acari: Ixodidae) in Africa: A review". *South African Journal of Animal Science*, 48(5), 829–841.

OKELLO, A. L., BARDOSH, K., SMITH, J., & WELBURN, S. C. (2014). "One health: past successes and future challenges in three African contexts". *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8(5), e2884.

OKELY, M., ANAN, R., GAD-ALLAH, S., & SAMY, A. M. (2020). "Mapping the environmental suitability of etiological agent and tick vectors of Crimean-Congo hemorrhagic fever". *Acta Tropica*, 203, 105319.

OLAHO-MUKANI, W. (2021). "Non-Tsetse-Transmitted Animal Trypanosomosis (NTT): Trypanosomosis due to *Trypanosoma evansi* (Surra), *T. vivax* (Duttonella), and *T. equiperdum*". *Combating and Controlling Nagana and Tick-Borne Diseases in Livestock* (pp. 122–142). IGI Global.

OLESEN, A. S., HANSEN, M. F., RASMUSSEN, T. B., BELSHAM, G. J., BØDKER, R., & BØTNER, A. (2018). "Survival and localization of African swine fever virus in stable flies (*Stomoxys calcitrans*) after feeding on viremic blood using a membrane feeder". *Veterinary Microbiology*, 222, 25–29.

- OLESEN, A. S., LOHSE, L., BOKLUND, A., HALASA, T., GALLARDO, C., PEJSAK, Z., ... & BØTNER, A. (2017). "Transmission of African swine fever virus from infected pigs by direct contact and aerosol routes". *Veterinary Microbiology*, 211, 92–102.
- OLIVIERI, E., KARIUKI, E., FLORIANO, A. M., CASTELLI, M., TAFESSE, Y. M., MAGOGA, G., ... & SASSERA, D. (2021). "Multi-country investigation of the diversity and associated microorganisms isolated from tick species from domestic animals, wildlife and vegetation in selected African countries". *Experimental and Applied Acarology*, 83(3), 427–448.
- OSBORNE, T., ROSE, G., & WHEELER, T. (2013). "Variation in the global-scale impacts of climate change on crop productivity due to climate model uncertainty and adaptation". *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 183–194.
- OTTO, P. I., GUIMARÃES, S. E., VERARDO, L. L., AZEVEDO, A. L. S., VANDENPLAS, J., SEVILLANO, C. A., ... & MACHADO, M. A. (2019). "Genome-wide association studies for heat stress response in *Bos taurus* × *Bos indicus* crossbred cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 8148–8158.
- PENRITH, M. L., VOSLOO, W., JORI, F., & BASTOS, A. D. (2013). "African swine fever virus eradication in Africa". *Virus Research*, 173(1), 228–246.
- PERVEEN, N., MUZAFFAR, S. B., & AL-DEEB, M. A. (2021). "Ticks and tick-borne diseases of livestock in the Middle East and North Africa: A review". *Insects*, 12(1), 83.
- RADWANSKA, M., VEREECKE, N., DELEEUW, V., PINTO, J., & MAGEZ, S. (2018). "Salivarian trypanosomiasis: a review of parasites involved, their global distribution and their interaction with the innate and adaptive mammalian host immune system". *Frontiers in Immunology*, 9, 2253.
- SALGUERO, F. J. (2020). "Comparative pathology and pathogenesis of African swine fever infection in swine". *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 282.
- SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, J. M., LADDOMADA, A., & ARIAS, M. L. (2019). "African swine fever virus". *Diseases of swine* (pp. 443–452). Wiley.
- SCHOFIELD, C. J., & MAUDLIN, I. (2001). "Trypanosomiasis control". *International Journal for Parasitology*, 31(5–6), 615–620.
- SIEBERT, A. (2014). "Hydroclimate extremes in Africa: variability, observations and modeled projections". *Geography Compass*, 8(6), 351–367.

- SINTAYEHU, D. W. (2018). "Impact of climate change on biodiversity and associated key ecosystem services in Africa: a systematic review". *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(9), 225–239.
- STEVERDING, D. (2008). "The history of African trypanosomiasis". *Parasites & Vectors*, 1(1), 1–8.
- STOCO, P. H., MILETTI, L. C., PICOZZI, K., STEINDEL, M., & GRISARD, E. C. (2017). "Other major trypanosomiasis". *Arthropod Borne Diseases*, 299–324. Springer, Cham.
- SWALLOW, B. M. (2000). *Impacts of trypanosomiasis on African agriculture* (Vol. 2, pp. 1–52). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- TAYEBWA, D. S., VUDRIKO, P., TUVSHINTULGA, B., GUSWANTO, A., NUGRAHA, A. B., GANTUYA, S., ... & IGARASHI, I. (2018). "Molecular epidemiology of *Babesia* species, *Theileria parva*, and *Anaplasma marginale* infecting cattle and the tick control malpractices in Central and Eastern Uganda". *Ticks and Tick-borne Diseases*, 9(6), 1475–1483.
- THORNTON, P. K., HERRERO, M. T., FREEMAN, H. A., OKEYO MWAI, A., REGE, J. E. O., JONES, P. G., & McDERMOTT, J. J. (2007). "Vulnerability, climate change and livestock—opportunities and challenges for the poor". *Journal of Semi-Arid Tropical Agricultural Research*, 4(1), 1–23.
- TOURATIER, L. (2000). Challenges of non-tsetse transmitted animal trypanosomoses (NTTAT). An outline and some perspectives. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 916, 237–239.
- TSAKENG, C. U. B., TANEKOU, T. T. M., SOFFACK, S. F., TIRADOS, I., NOUTCHIH, C., NJIOKOU, F., ... & WONDJI, C. S. (2022). "Assessing the tsetse fly microbiome composition and the potential association of some bacteria taxa with *Trypanosome* establishment". *Microorganisms*, 10(6), 1141.
- VAN DEN BOSSCHE, P., DE LA ROCQUE, S., HENDRICKX, G., & BOUYER, J. (2010). A changing environment and the epidemiology of tsetse-transmitted livestock trypanosomiasis". *Trends in Parasitology*, 26(5), 236–243.
- WAMWIRI, F. N., & CHANGASI, R. E. (2016). "Tsetse flies (*Glossina*) as vectors of human African trypanosomiasis: A review". *BioMed Research International*, 2016, 6201350.
- WELBURN, S. C., & COLEMAN, P. (2021). "Human and animal African trypanosomiasis". *One Health: The theory and practice of integrated health approaches* (pp. 263–282). CABI. Wallingford, UK.

- WIEBE, K., LOTZE-CAMPEN, H., SANDS, R., TABEAU, A., VAN DER MENSBRUGGHE, D., BIEWALD, A., BODIRSKY, B., ISLAM, S., KAVALLARI, A., MASON-D'CROZ, D., MÜLLER, C., POPP, A., ROBERTSON, R., ROBINSON, S., VAN MEIJL, H., & WILLENBOCKEL, D. (2015). "Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios". *Environmental Research Letters*, 10(8), 85010.
- WIKEL, S. K. (2018). "Ticks and tick-borne infections: complex ecology, agents, and host interactions". *Veterinary Sciences*, 5(2), 60.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (2013). *Control and surveillance of human African trypanosomiasis*. Report of a WHO expert committee, 1-237.
- YÁÑEZ, R. J., J. M. RODRÍGUEZ, M. L. NOGAL, L. YUSTE, C. ENRÍQUEZ, J. F. RODRÍGUEZ Y E. VIÑUELA (1995). "Analysis of the complete nucleotide sequence of African swine fever virus." *Virology*, 208(1): 249-278.
- YANG, Z., GAO, X., LEI, J., MENG, X., & ZHOU, N. (2022). "Analysis of spatio-temporal changes and driving factors of desertification in the África Sahel". *Catena*, 213, 106213.
- YOUNG, A. S., GROOCOCK, C. M., & KARIUKI, D. P. (1988). "Integrated control of ticks and tick-borne diseases of cattle in Africa". *Parasitology*, 96(2), 403-432.
- ZANNOU, O. M., OUEDRAOGO, A. S., BIGUEZOTON, A. S., ABATH, E., CORAL-ALMEIDA, M., FAROUGOU, S., ... & SAEGERMAN, C. (2021). "Models for studying the distribution of ticks and tick-borne diseases in animals: a systematic review and a meta-analysis with a focus on Africa". *Pathogens*, 10(7), 893.
- ZHAO, C., LIU, B., PIAO, S., WANG, X., LOBELL, D. B., HUANG, Y., HUANG, M., YAO, Y., BASSU, S., CIAIS, P., DURAND, J.-L., ELLIOTT, J., EWERT, F., JANSSENS, I. A., LI, T., LIN, E., LIU, Q., MARTRE, P., MÜLLER, C., ... & ASSENG, S. (2017). "Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(35), 9326-9331.
- ZHOU, X., LI, N., LUO, Y., LIU, Y. E., MIAO, F., CHEN, T., ... & HU, R. (2018). "Emergence of African swine fever in China, 2018". *Transboundary and Emerging Diseases*, 65(6), 1482-1484.
- ZINSSTAG, J., CRUMP, L., SCHELLING, E., HATTENDORF, J., MAIDANE, Y. O., ALI, K. O., ... & CISSÉ, G. (2018). "Climate change and one health". *FEMS Microbiology Letters*, 365(11), fny085.