

Organoides animales: una herramienta emergente para investigación en el marco *One Health*

INÉS GARCÍA-RODRÍGUEZ¹, LUCÍA BARRADO-GIL¹, COVADONGA ALONSO¹, MIGUEL ÁNGEL CUESTA-GEIJO¹

¹ Dpto. de Biotecnología, INIA-CSIC, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ctra. de la Coruña Km 7.5, 28040 Madrid, Spain

MIGUEL ÁNGEL CUESTA GEIJO (Autor de correspondencia)

Un nuevo escenario sanitario global

El cambio climático y la globalización están transformando profundamente el panorama sanitario mundial. En las últimas décadas, la aparición de enfermedades emergentes que afectan tanto a animales como a humanos ha puesto de manifiesto su impacto no solo en la salud pública, sino también en la producción ganadera y en los ecosistemas. En este contexto, el enfoque *One Health* se ha consolidado como un marco clave, al evidenciar que la salud humana, animal y ambiental están estrechamente interconectadas⁽¹⁾.

Sin embargo, afrontar estos retos no depende únicamente de nuevos enfoques conceptuales, sino también de herramientas experimentales que permitan comprender mejor las enfermedades y desarrollar estrategias eficaces de control. En este sentido, los organoides animales se han posicionado como una tecnología con un gran potencial.

Los organoides animales permiten mejorar la modelización de enfermedades *in vitro*, comprender las infecciones zoonóticas, estudiar la toxicología de contaminantes ambientales, profundizar en el conocimiento de la resistencia a antibióticos en diferentes especies y optimizar las estrategias de cría de ganado (Figura 1).

¿Qué son los organoides y qué aportan a la investigación veterinaria?

Los organoides son estructuras tridimensionales generadas a partir de células madre que reproducen, en condiciones de laboratorio, características fundamentales de los órganos de los que proceden⁽²⁾. A diferencia de los cultivos tradicionales, estos modelos conservan parte de la arquitectura tisular y de las interacciones celulares, lo que los hace más representativos de la realidad biológica⁽³⁾.

Su desarrollo se basa en el aislamiento de células madre, ya sean adultas o pluripotentes, y su cultivo en matrices tridimensionales con factores de crecimiento específicos que imitan el entorno del órgano original (Figura 2)⁽⁴⁻⁶⁾. Aunque muchas de estas técnicas se han desarrollado inicialmente en modelos humanos y murinos^(5,7), en los últimos años se han adaptado a un número creciente de especies animales.

Modelización de enfermedades: del laboratorio a la clínica veterinaria

Una de las principales aplicaciones de los organoides en veterinaria es la modelización de enfermedades. Estos sistemas permiten estudiar procesos patológicos en tejidos específicos sin necesidad de utilizar animales vivos, lo que supone una ventaja tanto ética como experimental.

Por ejemplo, se han desarrollado organoides intestinales en perros

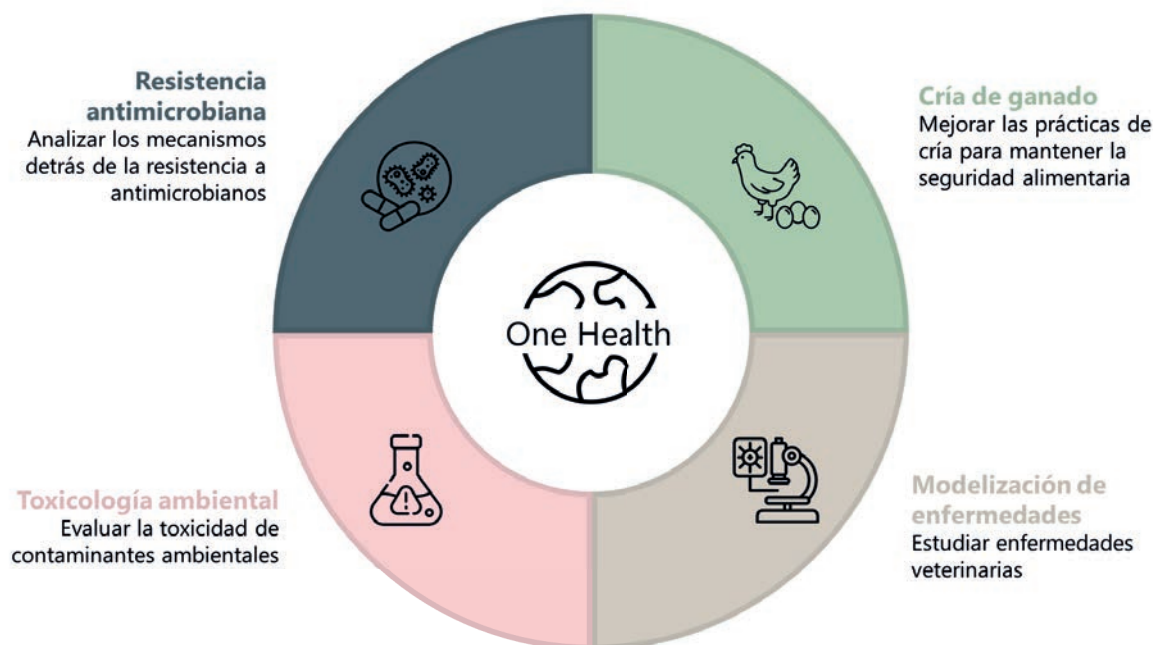


Figura 1. Aplicabilidad de los organoides animales en las diferentes áreas englobadas en el concepto *One Health*.

para investigar enfermedades inflamatorias crónicas, como la enfermedad inflamatoria intestinal, generando organoides de animales sanos y enfermos que permiten caracterizar la enfermedad y evaluar fármacos potenciales⁽⁸⁻¹⁰⁾. Asimismo, se han generado organoides tumorales de animales de compañía que permiten evaluar la respuesta a diferentes tratamientos^(11,12). Este tipo de modelos facilita estudios más controlados y reproducibles, y favorece enfoques más individualizados en medicina veterinaria.

Enfermedades infecciosas y zoonosis

El campo en el que los organoides han experimentado un desarrollo más notable es el de las enfermedades infecciosas. En especies de producción como el cerdo, se han utilizado organoides respiratorios e intestinales para estudiar infecciones virales y bacterianas, permitiendo analizar la respuesta del tejido y los mecanismos de patogenicidad⁽¹³⁻¹⁹⁾.

En otras especies, como aves⁽²⁰⁾, bovinos⁽²¹⁾ o felinos⁽²²⁾, estos modelos también han demostrado su utilidad para investigar patógenos de relevancia sanitaria. La posibilidad de trabajar con tejidos específicos de cada especie supone una ventaja importante para comprender la interacción entre el hospedador y el patógeno.

Este enfoque resulta especialmente relevante en el estudio de zoonosis. Dado que muchas enfermedades emergentes en humanos tienen origen animal⁽²³⁾, los organoides permiten analizar cómo un patógeno se comporta en diferentes especies y ayudan a comprender los mecanismos de transmisión entre ellas⁽²⁴⁾.

Resistencia a antimicrobianos y evaluación de nuevos tratamientos

La resistencia a los antimicrobianos es un problema creciente en medicina veterinaria⁽²⁵⁾. En este contexto, los organoides ofrecen

una plataforma útil para evaluar la eficacia de tratamientos en un entorno más representativo del tejido real.

Estos modelos permiten analizar no solo la respuesta del patógeno, sino también el efecto del tratamiento sobre el tejido del hospedador y las interacciones huésped-microbio. Su uso en especies animales aún es limitado en comparación con los modelos humanos; sin embargo, diversos estudios han demostrado su utilidad para modular infecciones bacterianas^(26, 27).

Toxicología ambiental y salud animal

Los contaminantes ambientales, como metales pesados, pesticidas o compuestos industriales, tienen un impacto directo sobre la salud animal⁽²⁸⁾. Los organoides son especialmente útiles en estudios toxicológicos, ya que permiten analizar los efectos de compuestos en distintos órga-

“Una de las principales aplicaciones de los organoides en veterinaria es la modelización de enfermedades. Estos sistemas permiten estudiar procesos patológicos en tejidos específicos sin necesidad de utilizar animales vivos, lo que supone una ventaja tanto ética como experimental.”

nos, evaluar toxicidad durante el desarrollo y modelar procesos carcinogénicos. Por ejemplo, los organoides intestinales y hepáticos expresan enzimas clave implicadas en el metabolismo de xenobióticos, como el citocromo P450⁽²⁹⁾.

Sin embargo, su aplicación en toxicología ambiental en animales aún es limitada. Un ejemplo es el uso de organoides testiculares porcinos para estudiar la toxicidad del di(2-etilhexil) ftalato (DEHP), un contaminante ambiental que altera el sistema endocrino, observándose un aumento de la actividad autofágica tras la exposición de estos organoides al mismo⁽³⁰⁾. Su aplicación en otras especies animales podría mejorar la evaluación de riesgos en producción ganadera y en fauna silvestre, contribuyendo también a la seguridad alimentaria.

Cría de ganado y mejora genética

Los organoides animales ofrecen también aplicaciones relevantes

en el ámbito de la producción y la mejora ganadera. Por un lado, permiten estudiar la fisiología de tejidos reproductivos y analizar factores que afectan a la fertilidad⁽³¹⁾. Por otro lado, ofrecen la posibilidad de relacionar características genéticas con respuestas funcionales, lo que podría ser útil en programas de selección⁽³²⁾.

En el campo de la reproducción, se han generado organoides de endometrio equino, para analizar su respuesta a hormonas externas^(33,34), así como organoides de oviducto en diversas especies, bovinos, porcinos, equinos, felinos y caninos⁽³⁵⁾. Respecto a la biología testicular, los modelos desarrollados en primates y cerdos han permitido evaluar la toxicidad de fármacos y estudiar el desarrollo gonadal^(30,36), mientras que en bovino se han obtenido organoides con capacidad de producir testosterona, consolidándose como modelos *in vitro* de endocrinología reproductiva masculina⁽³⁷⁾.

Más allá de la biología reproductiva, los organoides animales

muestran un potencial creciente en la selección genética. Su combinación con datos genómicos permitiría identificar animales con características deseables, como resistencia a enfermedades o eficiencia en el aprovechamiento de nutrientes⁽³⁸⁾. Asimismo, estos modelos permiten estudiar el impacto de factores ambientales sobre el rendimiento productivo, facilitando la adaptación de la industria ganadera a entornos cambiantes⁽³⁹⁾.

Limitaciones actuales y perspectivas futuras

A pesar del enorme potencial de los organoides animales como modelos experimentales dentro del enfoque *One Health*, todavía existen limitaciones importantes que condicionan su aplicación y desarrollo. Entre los principales desafíos se encuentran la limitada escalabilidad y la fuerte dependencia de manipulación manual, lo que dificulta su integración en plataformas automatizadas⁽⁴⁰⁾. Además, la variabilidad entre lotes y los problemas de reproducibilidad entre laboratorios siguen siendo obstáculos relevantes, lo que puede comprometer la comparación de resultados entre laboratorios^(6,41). Para abordar estas limitaciones, se están impulsando iniciativas orientadas a la estandarización de protocolos, una mayor transparencia en la comunica-

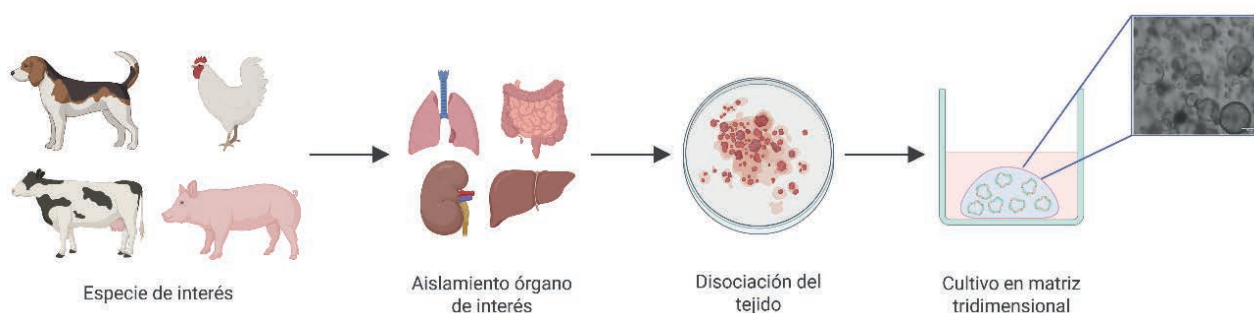


Figura 2. Esquema representativo del proceso de generación de organoides

ción de métodos y el seguimiento sistemático de la estabilidad fenotípica en cultivos a largo plazo.

Otra limitación clave es la aún insuficiente complejidad fisiológica de muchos organoides actuales. La ausencia de componentes vasculares e inmunitarios reduce su capacidad para reproducir fielmente las condiciones *in vivo*, especialmente en estudios relacionados con inflamación o enfermedades sistémicas^(42, 43). En este sentido, la incorporación de vascularización funcional y de células del sistema inmune representa una prioridad para mejorar la relevancia biológica de estos modelos. Tecnologías emergentes como los sistemas microfluídicos y los *organ-on-a-chip* ofrecen soluciones prometedoras al permitir la introducción de flujo que favorece la maduración y organización tisular⁽⁴⁴⁾.

Asimismo, aunque los organoides han demostrado valor predictivo en medicina humana, su validación clínica en el ámbito veterinario sigue siendo muy limitada^(45, 46). La falta de estudios que correlacionen las respuestas de organoides con resultados clínicos en animales reduce su aplicabilidad translacional.

“A medida que esta tecnología avance, es previsible que contribuya de forma significativa a mejorar la comprensión de las enfermedades, el desarrollo de tratamientos y la gestión de los riesgos sanitarios en un mundo cada vez más interconectado.”

De cara al futuro, será fundamental ampliar la diversidad taxonómica de los organoides, ya que la mayoría de los modelos actuales se han desarrollado en mamíferos. La extensión a otras especies, incluidas aves, peces o reptiles, permitirá una comprensión más completa de los procesos biológicos y patológicos en distintos contextos ecológicos. Este avance requerirá un mayor conocimiento de la biología del desarrollo y de las células madre en dichas especies⁽⁴⁷⁾.

Finalmente, los organoides ofrecen un marco especialmente prometedor para estudiar el impacto de factores ambientales, como el cambio climático, sobre la salud animal y la susceptibilidad a enfermedades. Su capacidad para modelar condiciones controladas permitirá avanzar desde estudios

observacionales hacia enfoques más mecanísticos.

Conclusión

En la actualidad, los organoides animales representan una herramienta en expansión con un gran potencial para la investigación veterinaria. Su capacidad para reproducir características clave de los tejidos, junto con su aplicación en múltiples especies, los convierte en un recurso valioso dentro del enfoque *One Health*.

A medida que esta tecnología avance, es previsible que contribuya de forma significativa a mejorar la comprensión de las enfermedades, el desarrollo de tratamientos y la gestión de los riesgos sanitarios en un mundo cada vez más interconectado.

Bibliografía

1. Adisasmito WB, Almuhairei S, Behravesh CB, Bilivogui P, Bukachi SA, Casas N, Becerra NC, Charron DF, Chaudhary A, Ciacci Zanella JR, Cunningham AA, Dar O, Debnath N, Dungu B, Farag E, Gao GF, Hayman DTS, Khaita M, Koopmans MPG, Machalaba C, Mackenzie JS, Markotter W, Mettenleiter TC, Morand S, Smolenskiy V, Zhou L. 2022. One Health: A new definition for a sustainable and healthy future. *PLoS Pathogens* 18.
2. Corró C, Novellademunt L, Li VW. 2020. A brief history of organoids. *Am J Physiol Cell Physiol* 319:151–165.
3. Huang Y, Huang Z, Tang Z, Chen Y, Huang M, Liu H, Huang W, Ye Q, Jia B. 2021. Research Progress, Challenges, and Breakthroughs of Organoids as Disease Models. *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 9.
4. Lehmann R, Lee CM, Shugart EC, Benedetti M, Charo RA, Gartner Z, Hogan B, Knoblich J, Nelson CM, Wilson KM. 2019. Human organoids: A new dimension in cell biology. *Molecular Biology of the Cell* 30:1129–1137.
5. Sato T, Vries RG, Snippert HJ, Van De Wetering M, Barker N, Stange DE, Van Es JH, Abo A, Kujala P, Peters PJ, Clevers H. 2009. Single Lgr5 stem cells build crypt-villus structures in vitro without a mesenchymal niche. *Nature* 459:262–265.
6. Jensen KB, Little MH. 2023. Organoids are not organs: Sources of variation and misinformation in organoid biology. *Stem Cell Reports* 18:1255–1270.

7. Eiraku M, Watanabe K, Matsuo-Takasaki M, Kawada M, Yonemura S, Matsumura M, Wataya T, Nishiyama A, Muguruma K, Sasai Y. 2008. Self-Organized Formation of Polarized Cortical Tissues from ESCs and Its Active Manipulation by Extrinsic Signals. *Cell Stem Cell* 3:519–532.
8. Chandra L, Borcharding DC, Kingsbury D, Atherly T, Ambrosini YM, Bourgois-Mochel A, Yuan W, Kimber M, Qi Y, Wang Q, Wannemuehler M, Ellinwood NM, Snella E, Martin M, Skala M, Meyerholz D, Estes M, Fernandez-Zapico ME, Jergens AE, Mochel JP, Allenspach K. 2019. Derivation of adult canine intestinal organoids for translational research in gastroenterology. *BMC Biology* 17.
9. Ambrosini YM, Park Y, Jergens AE, Shin W, Min S, Atherly T, Borcharding DC, Jang J, Allenspach K, Mochel JP, Kim HJ. 2020. Recapitulation of the accessible interface of biopsy-derived canine intestinal organoids to study epithelial-luminal interactions. *PLoS ONE* 15.
10. Kramer N, Pratscher B, Meneses AMC, Tschulen W, Walter I, Swoboda A, Kruitwagen HS, Schneeberger K, Penning LC, Spee B, Kieslinger M, Brandt S, Burgener IA. 2020. Generation of Differentiating and Long-Living Intestinal Organoids Reflecting the Cellular Diversity of Canine Intestine. *Cells* 9.
11. Abugomaa A, Elbadawy M, Yamamoto H, Ayame H, Ishihara Y, Sato Y, Yamawaki H, Kaneda M, Usui T, Sasaki K. 2022. Establishment of a direct 2.5D organoid culture model using companion animal cancer tissues. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 154.
12. Elbadawy M, Usui T, Mori T, Tsunedomi R, Hazama S, Nabeta R, Uchide T, Fukushima R, Yoshida T, Shibutani M, Tanaka T, Masuda S, Okada R, Ichikawa R, Omatsu T, Mizutani T, Katayama Y, Noguchi S, Iwai S, Nakagawa T, Shinohara Y, Kaneda M, Yamawaki H, Sasaki K. 2019. Establishment of a novel experimental model for muscle-invasive bladder cancer using a dog bladder cancer organoid culture. *Cancer Science* 110:2806–2821.
13. Jiang C, Li L, Xue M, Zhao L, Liu X, Wang W, Feng L, Liu P. 2022. Long-Term Expanding Porcine Airway Organoids Provide Insights into the Pathogenesis and Innate Immunity of Porcine Respiratory Coronavirus Infection. *Journal of Virology* 96.
14. Gerhards NM, Vrieling M, Dresken R, Nguyen-van Oort S, Bordes L, Wells JM, de Swart RL. 2024. Porcine Airway Organoid-Derived Well-Differentiated Epithelial Cultures as a Tool for the Characterization of Swine Influenza A Virus Strains. *Viruses* 16.
15. Bakre AA, Jones LP, Murray J, Reneer ZB, Meliopoulos VA, Cherry S, Schultz-Cherry S, Tripp RA. 2021. Innate Antiviral Cytokine Response to Swine Influenza Virus by Swine Respiratory Epithelial Cells. *Journal of Virology* 95.
16. Li L, Xue M, Fu F, Yin L, Feng L, Liu P. 2019. IFN-Lambda 3 Mediates Antiviral Protection Against Porcine Epidemic Diarrhea Virus by Inducing a Distinct Antiviral Transcript Profile in Porcine Intestinal Epithelia. *Frontiers in Immunology* 10.
17. Li Y, Yang N, Chen J, Huang X, Zhang N, Yang S, Liu G, Liu G. 2020. Next-Generation Porcine Intestinal Organoids: an Apical-Out Organoid Model for Swine Enteric Virus Infection and Immune Response Investigations. *Journal of Virology* 94.
18. Yin L, Chen J, Li L, Guo S, Xue M, Zhang J, Liu X, Feng L, Liu P. 2020. Aminopeptidase N Expression, Not Interferon Responses, Determines the Intestinal Segmental Tropism of Porcine Deltacoronavirus. *Journal of Virology* 94.
19. Luo H, Zheng J, Chen Y, Wang T, Zhang Z, Shan Y, Xu J, Yue M, Fang W, Li X. 2020. Utility Evaluation of Porcine Enteroids as PDCoV Infection Model in vitro. *Frontiers in Microbiology* 11.
20. Nash TJ, Morris KM, Mabbott NA, Vervelde L. 2021. Inside-out chicken enteroids with leukocyte component as a model to study host–pathogen interactions. *Communications Biology* 4.
21. Alfajaro MM, Kim J-Y, Barbé L, Cho E-H, Park J-G, Soliman M, Baek Y-B, Kang M-I, Kim SH, Kim G-J, Park S-I, Pendu JL, Cho K-O. 2019. Dual Recognition of Sialic Acid and αGal Epitopes by the VP8* Domains of the Bovine Rotavirus G6P[5] WC3 and of Its Mono-reassortant G4P[5] RotaTeg Vaccine Strains. *Journal of Virology* 93.
22. Tekes G, Ehmann R, Boulant S, Stanifer ML. 2020. Development of feline ileum-and colon-derived organoids and their potential use to support feline coronavirus infection. *Cells* 9:1–15.
23. Rahman MT, Sobur MA, Islam MS, Levy S, Hossain MJ, Zowalaty MEE, Rahman AMMT, Ashour HM. 2020. Zoonotic diseases: Etiology, impact, and control. *Microorganisms* 8:1–34.
24. García-Rodríguez I, García-Dorival I, Alonso C, Cuesta-Geijo MÁ. 2026. Animal organoids as transformative platforms for viral infections and zoonotic cross-species viral research. *J Virol* e02197-25.
25. Graham DW, Bergeron G, Bourassa MW, Dickson J, Gomes F, Howe A, Kahn LH, Morley PS, Scott HM, Simjee S, Singer RS, Smith TC, Storrs C, Wittum TE. 2019. Complexities in understanding antimicrobial resistance across domesticated animal, human, and environmental systems. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1441:17–30.

26. Beaumont M, Blanc F, Cherbuy C, Egidy G, Giuffra E, Lacroix-Lamandé S, Wiedemann A. 2021. Intestinal organoids in farm animals. *Vet Res* 52:33.
27. Madsen O, Rikkers RSC, Wells JM, Bergsma R, Kar SK, Taverne N, Taverne-Thiele AJ, Ellen ED, Woelders H. 2024. Transcriptomic analysis of intestinal organoids, derived from pigs divergent in feed efficiency, and their response to *Escherichia coli*. *BMC Genomics* 25:173.
28. Imai T, Ishigamori R, Naruse M, Ochiai M, Maru Y, Hippo Y, Totsuka Y. 2024. Bridging toxicological properties of environmental chemicals between animals and humans using healthy organoid systems. *The Journal of Toxicological Sciences* 49:425–434.
29. Caipa Garcia AL, Arlt VM, Phillips DH. 2022. Organoids for toxicology and genetic toxicology: applications with drugs and prospects for environmental carcinogenesis. *Mutagenesis* 37:143–154.
30. Sakib S, Uchida A, Valenzuela-Leon P, Yu Y, Valli-Pulaski H, Orwig K, Ungrin M, Dobrinski I. 2019. Formation of organotypic testicular organoids in microwell culture. *Biology of Reproduction* 100:1648–1660.
31. Kawasaki M, Goyama T, Tachibana Y, Nagao I, Ambrosini YM. 2022. Farm and Companion Animal Organoid Models in Translational Research: A Powerful Tool to Bridge the Gap Between Mice and Humans. *Frontiers in Medical Technology* 4.
32. Kar SK, Wells JM, Ellen ED, te Pas MFW, Madsen O, Groenen MAM, Woelders H. 2021. Organoids: a promising new in vitro platform in livestock and veterinary research. *Veterinary Research* 52.
33. Thompson RE, Meyers MA, Gad A, Bouma GJ, Magee C, Pukazhenthil BS, Hollinshead FK. 2023. Equine endometrial organoids treated with embryo-derived mesenchymal stem cell-secreted extracellular vesicles as a treatment for endometritis. *Journal of Equine Veterinary Science* 125:104751.
34. Thompson RE, Meyers MA, Pukazhenthil BS, Hollinshead FK. 2022. Evaluation of growth, viability, and structural integrity of equine endometrial organoids following cryopreservation. *Cryobiology* 104:56–62.
35. Lawson EF, Ghosh A, Blanch V, Gruben CG, Aitken RJ, Lim R, Drury HR, Baker MA, Gibb Z, Tanwar PS. 2023. Establishment and characterization of oviductal organoids from farm and companion animals. *Biology of Reproduction* 108:854–865.
36. Sakib S, Yu Y, Voigt A, Ungrin M, Dobrinski I. 2019. Generation of Porcine Testicular Organoids with Testis Specific Architecture using Microwell Culture. *JoVE* e60387.
37. Cortez J, Leiva B, Torres CG, Parraguez VH, De los Reyes M, Carrasco A, Peralta OA. 2022. Generation and Characterization of Bovine Testicular Organoids Derived from Primary Somatic Cell Populations. *Animals* 12.
38. Harlizius B, Mathur P, Knol EF. 2020. Breeding for resilience: New opportunities in a modern pig breeding program, p. S150–S154. In *Journal of Animal Science*. Oxford University Press.
39. Clark EL, Archibald AL, Daetwyler HD, Groenen MAM, Harrison PW, Houston RD, Kühn C, Lien S, Macqueen DJ, Reecy JM, Robledo D, Watson M, Tuggle CK, Giuffra E. 2020. From FAANG to fork: application of highly annotated genomes to improve farmed animal production. *Genome Biology* 21.
40. Kim D, Lim H, Youn J, Park T-E, Kim DS. 2024. Scalable production of uniform and mature organoids in a 3D geometrically-engineered permeable membrane. *Nature Communications* 15:9420.
41. Zhao Z, Chen X, Dowbaj AM, Sljukic A, Bratlie K, Lin L, Fong ELS, Balachander GM, Chen Z, Soragni A, Huch M, Zeng YA, Wang Q, Yu H. 2022. Organoids. *Nature Reviews Methods Primers* 2:94.
42. Lee HN, Choi YY, Kim JW, Lee YS, Choi JW, Kang T, Kim YK, Chung BG. 2021. Effect of biochemical and biomechanical factors on vascularization of kidney organoid-on-a-chip. *Nano Convergence* 8:35.
43. Recaladin T, Steinacher L, Gjeta B, Harter MF, Adam L, Kromer K, Mendes MP, Bellavista M, Nikolaev M, Lazzaroni G, Krese R, Kilik U, Popovic D, Stoll B, Gerard R, Bscheider M, Bickle M, Cabon L, Camp JG, Gjorevski N. 2024. Human organoids with an autologous tissue-resident immune compartment. *Nature* 633:165–173.
44. Ashammakhi N, Nasiri R, Barros NR de, Tebon P, Thakor J, Goudie M, Shamloo A, Martin MG, Khademhosseini A. 2020. Gut-on-a-chip: Current progress and future opportunities. *Biomaterials* 255:120196.
45. Kopper JJ, Iennarella-Servantez C, Jergens AE, Sahoo DK, Guillot E, Bourgois-Mochel A, Martinez MN, Allenspach K, Mochel JP. 2021. Harnessing the Biology of Canine Intestinal Organoids to Heighten Understanding of Inflammatory Bowel Disease Pathogenesis and Accelerate Drug Discovery: A One Health Approach. *Frontiers in Toxicology* 3.
46. Csukovich G, Kramer N, Pratscher B, Gotic I, Freund P, Hahn R, Himmler G, Brandt S, Burgener IA. 2023. Neutralising Effects of Different Antibodies on *Clostridioides difficile* Toxins TcdA and TcdB in a Translational Approach. *IJMS* 24:3867.
47. Swevers L, Denecke S, Vogelsang K, Geibel S, Vontas J. 2021. Can the mammalian organoid technology be applied to the insect gut? *Pest Management Science* 77:55–63.