

AndroTEC: Reflexiones a una década de aportes en la investigación científica en reproducción animal

Francisco Sevilla-Benavides

Escuela de Agronomía
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Estudiante del DOCINADE (ITCR-UNA-UNED)
✉ fsevillabenavides@gmail.com

Ignacio Araya-Zúñiga

Estudiante de Maestría en Ciencia y Tecnología para la sostenibilidad
Instituto Tecnológico de Costa Rica
✉ arayaz.ignacio@gmail.com

Anthony Valverde-Abarca

Escuela de Agronomía
Instituto Tecnológico de Costa Rica
✉ anvalverde@tec.ac.cr

Resumen

El Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), ha realizado aportes relevantes a la sociedad costarricense y a la comunidad científica. El desarrollo de proyectos de investigación con la vinculación del sector productivo, la academia y la participación de estudiantes, ha permitido contribuir con el desarrollo integral de estos nuevos profesionales que la sociedad requiere. El trabajo en equipo de AndroTEC y la integración con otros centros de investigación nacionales e internacionales ha permitido la creación de alianzas que promueven campos de trabajo innovadores en la reproducción animal. La validez en cuanto a los estudios realizados, tienen un respaldo científico importante. Esto permite proyectar nuevas oportunidades de trabajo que permitan el desarrollo y la mejora continua de los sistemas de producción, mediante la optimización de los procesos reproductivos y novedosas técnicas de reproducción asistida en el sector agropecuario. Las proyecciones de AndroTEC tienen como propósito integrar espacios para el estudio de la reproducción, mediante el análisis y la conservación seminal en especies que no hayan sido estudiadas hasta el momento, con una relevancia para los pequeños y medianos grupos de productores involucrados, la consolidación de las técnicas de análisis de semen en especies ganaderas, así como la conservación de las razas locales que actualmente se han mantenido en el país.

Palabras clave: Reproducción, Ciencia animal, Evaluación semen, Zootecnia, Espermatozoide.

Antecedentes de AndroTEC

Tradicionalmente en Costa Rica, la reproducción animal en los sistemas agropecuarios se ha manejado mediante la monta natural, con poca intervención y uso de técnicas de reproducción asistida [1]. El manejo extensivo de la ganadería se ha asociado con prácticas poco tecnificadas lo que repercute en la eficiencia de los parámetros reproductivos en los sistemas agropecuarios [2]. Dentro de la reproducción animal la andrología, se refiere a los procesos de estudio sobre la aptitud y la calidad reproductiva de los machos utilizados en los sistemas de producción animal; que podrían mejorar la eficiencia reproductiva y garantizar una mejor productividad pecuaria que es concomitante con una optimización de los procesos zootécnicos [3], [4]. En los últimos años, se han realizado algunos esfuerzos por tecnificar las metodologías utilizadas para la selección de animales con mejor aptitud reproductiva y su utilización dentro de los periodos de reproducción. Asimismo, algunos profesionales han realizado aportes importantes en la validación de metodologías, tecnologías y desarrollo de prácticas y procedimientos que mejoren el manejo reproductivo en los sistemas agropecuarios [5], [6], [7].

El Instituto Tecnológico de Costa Rica y la Escuela de Agronomía se han sumado a estos esfuerzos a través de la creación del Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), ubicado en el Campus Tecnológico Local San Carlos. Este Laboratorio surgió en el año 2013, como resultado del esfuerzo departamental del Centro de Investigación y Desarrollo en Agricultura Sostenible para el Trópico Húmedo (CIDASTH) y el Programa de Producción Agropecuaria (PPA), ambos de la Escuela de Agronomía. Inicialmente se desarrolló un proyecto de investigación financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del TEC sobre inseminación artificial en la especie porcina y para ello se dispuso de la granja experimental del PPA quienes aportaban el germoplasma para la elaboración de dosis seminales, la caracterización racial de verracos y la evaluación andrológica de estos en términos de la calidad seminal [8], [9]. Posteriormente, se continuaron diversos trabajos asociados a esta especie de interés productivo [10], [11], [12]. Desde su creación se han desarrollado más de cinco proyectos de investigación relacionados con la especie porcina y bovina. Además, durante la última década se han realizado aportes a la comunidad científica mediante la publicación de artículos científicos en revistas arbitradas (Figura 1) y artículos de divulgación al sector productivo y ganadero nacional.

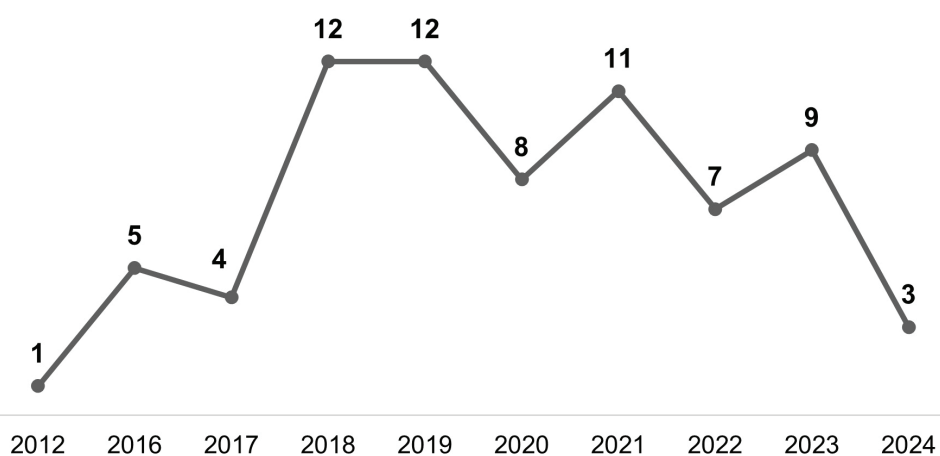


Figura 1. Publicaciones científicas; en revistas arbitradas; del Laboratorio de Reproducción Animal, AndroTEC, 2012-2024. Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), (2024).

El Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), cuenta con un espacio físico donde se realizan análisis de la calidad seminal en especies de interés productivo a través de los Sistemas Computarizados Asistidos de Análisis Seminal, o Sistemas CASA (*Computer-Assisted Seminal Analysis*, acrónimo en inglés). Además, se realizan análisis andrológicos a nivel de campo por medio de sistemas CASA portátiles (*iSperm*[®]) y cuenta con un equipo de bio congelación automática para la conservación de dosis seminales (Figura 2).

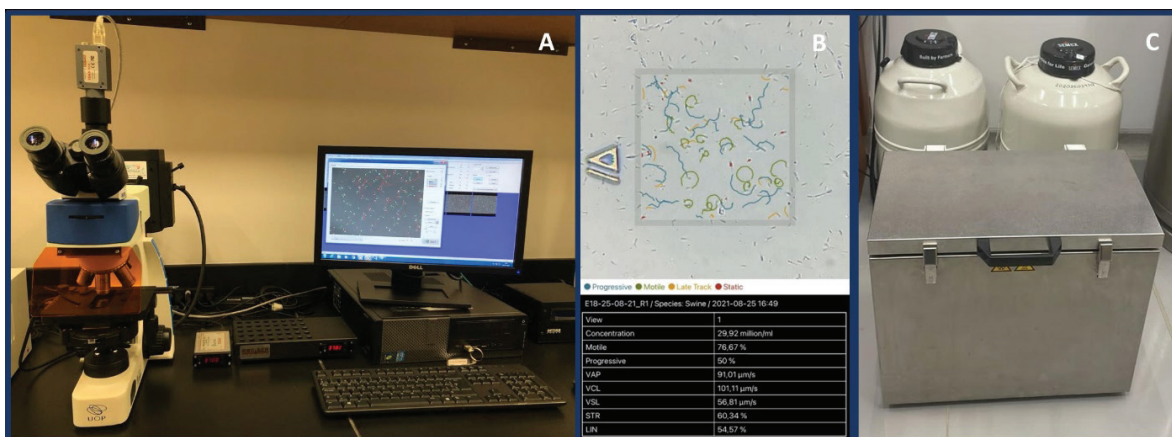


Figura 2. Sistemas de análisis y conservación seminal, A) Sistema computarizado de análisis seminal ISAS v₁®; B) Captura de campo de análisis en sistema iSperm® (sistema portátil), C) Biocongelador automático de semen (MicroDigitcool, imv TECNOLOGIES). Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), (2024).

Introducción de la tecnología CASA (Computer-Assisted Semen Analysis) en Costa Rica

La tecnología CASA emplea algoritmos (*software*) para caracterizar el movimiento, la natación y el tamaño del espermatozoide, lo que permite eliminar el factor de subjetividad y la variación de los análisis tradicionales de forma visual, lo que asegura tener una mayor certeza en los resultados de los análisis seminales [13]. El sistema está compuesto por una computadora a la cual se le conecta un microscopio equipado con una cámara de video. En la computadora se instala el *software* especializado, donde se pueden utilizar distintos módulos para el análisis de características del eyaculado, como, por ejemplo, la cinética, la morfometría, la concentración y la fragmentación del ADN [14]. El análisis de semen mediante esta tecnología ha permitido la estandarización de procesos a través de la generación de gran cantidad de volúmenes de datos con el propósito de entender y explicar con mejor detalle el comportamiento de las células espermáticas y su función, que se han relacionado con el éxito reproductivo de las especies ganaderas [15].

Aportes a la investigación en reproducción animal y vinculación con el sector agropecuario costarricense

Previo a la prestación de servicios en el laboratorio, se han validado estas tecnologías a través de trabajos finales de graduación de estudiantes de la carrera de Ingeniería en Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica, quienes han potencializado su formación como profesionales (Figura 3).



Figura 3. Estudiantes relacionados a proyectos de investigación y trabajos finales de graduación asociados a AndroTEC. Fuente: AndroTEC, (2023). De izquierda a derecha: Laura Murillo, Joselyn León, Anthony Valverde, Juan Manuel Solís, Francisco Sevilla, Kenneth Matamoros.

Además, se han realizado proyectos de investigación institucionales, trabajos en colaboración científica con centros de investigación, así como pasantías de investigación de estudiantes extranjeros (Figura 4). Estos trabajos se han enfocado en la estandarización de metodologías para la evaluación de la calidad del esperma en la especie porcina [9], [12], bovina [5], [6], la definición de protocolos óptimos de trabajo y las técnicas de evaluación seminal en el laboratorio mediante la definición de criterios y estándares en cámaras de recuento espermático [5], [10], tiempos de evaluación [16], frecuencias de adquisición de video [17], [18], análisis de campos espermáticos [19], [20], número de imágenes [21] y evaluación de dosis seminales crio preservadas [22].

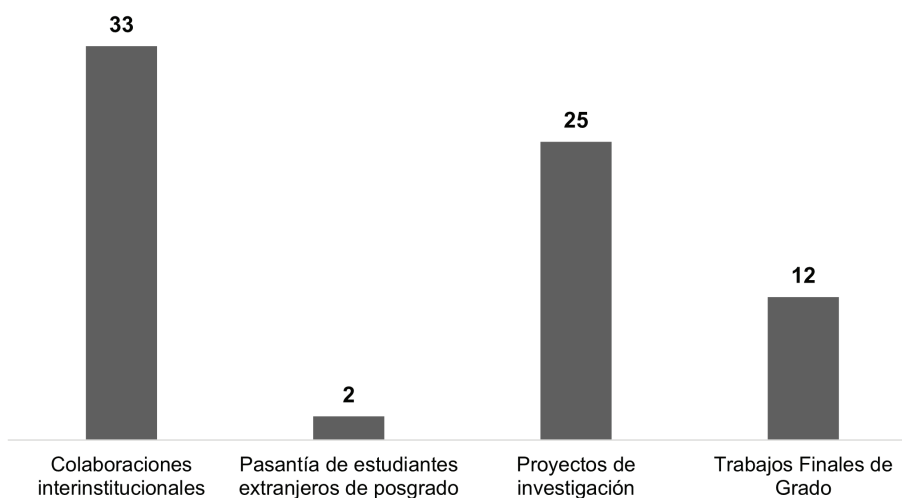


Figura 4. Cantidad de publicaciones científicas de acuerdo con las actividades académicas del Laboratorio de Reproducción Animal, AndroTEC, 2012-2024. Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), (2024).

Estos trabajos iniciales han servido de base para la consolidación de protocolos estandarizados que permitan replicarse en la evaluación de muestras en el sector productivo de forma que los productores tengan acceso al uso de diferentes tecnologías que podrían favorecer la toma de decisiones para el sector agropecuario en relación con la utilización de animales como reproductores con las características adecuadas [7]. Además, los trabajos han permitido consolidar nuestro entendimiento

actual sobre la reproducción animal de los machos reproductores en campo [6] y validar los efectos que podría tener la utilización de germoplasma a través de la preparación de dosis seminales utilizadas en los procesos de inseminación artificial [8], [15]. También, se han realizado aportes para comprobar los posibles efectos que podría tener la calidad del esperma sobre los parámetros productivos de los sistemas agropecuarios [7], [15], la fertilidad [8], [23], [24] y la interacción nutrición-reproducción [25], [26] sobre la calidad reproductiva de los machos.

La labor investigativa y la generación de productos y resultados de investigación han promovido el desarrollo y la consolidación de redes de colaboración científica, tanto nacional como internacional, con otros centros de investigación donde se pueden realizar trabajos con las tecnologías más novedosas disponibles a nivel global [20], [27], [28]. El trabajo multidisciplinar del grupo AndroTEC, se refleja en investigaciones desarrolladas con especies de interés biológico (Figura 5), tanto en temas de la evaluación seminal, así como de conservación de estas. Producto de este esfuerzo colaborativo se han desarrollado investigaciones en especies como caimanes (*Caiman crocodilus fuscus*) [29] y cocodrilos (*Crocodylus acutus*) [30], abejas (*Apis mellifera*) [31], erizo de mar (*Sea urchin*) (Gacem, Valverde e investigadores, en redacción de resultados), anguila (*Anguilla anguilla*) [32], esturión (*Acipenser baerii*) [33], salmón (*Salmo salar*) [33], [34], alpaca (*Vicugna pacos* L) [35], [36], vicuña (*Vicugna vicugna*) [37], llama (*Lama glama*) [38], venado cola blanca (*Odocoileus virginianus peruvianus*) [39] y otros.

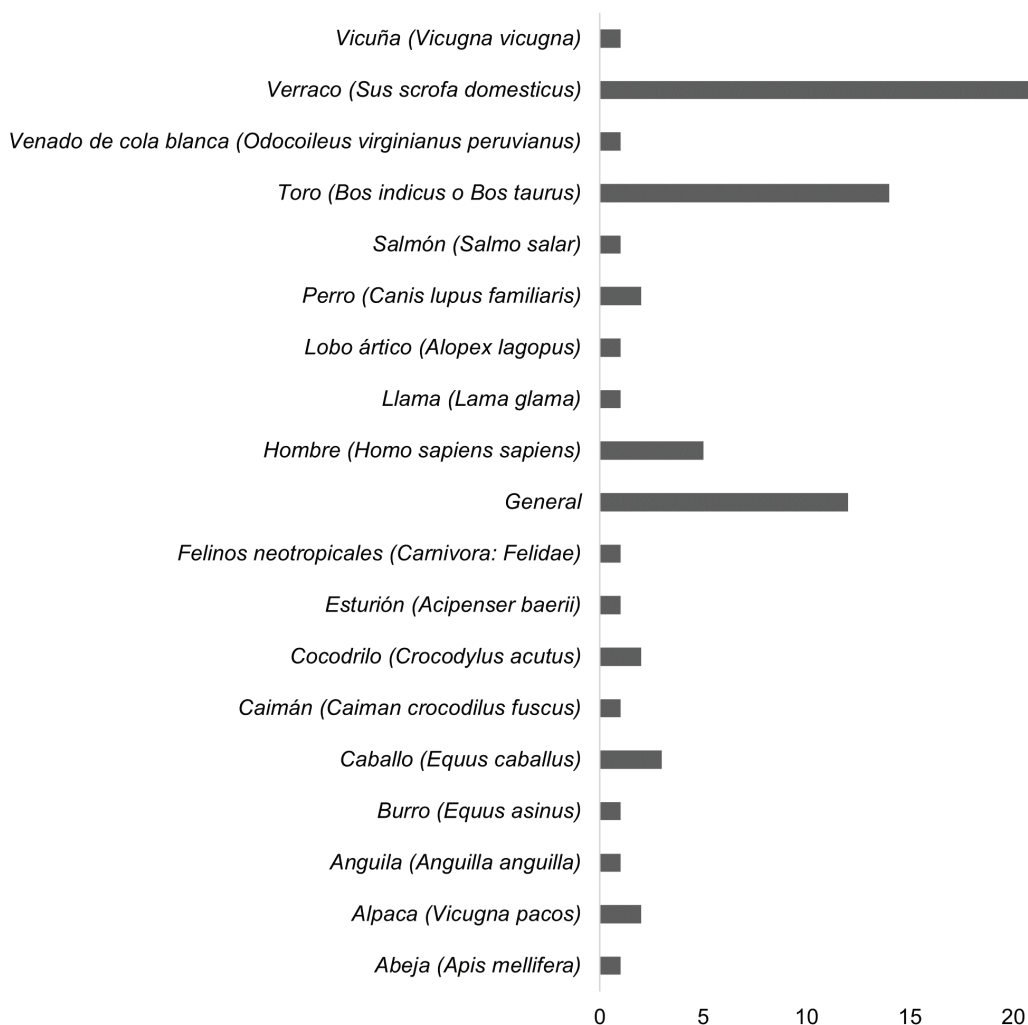


Figura 5. Cantidad de publicaciones científicas de acuerdo con las especies de estudio, AndroTEC, 2012-2024. Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), (2024).

La proyección de AndroTEC se fundamenta en crear y desarrollar alternativas para el sector agropecuario costarricense, para que puedan tener acceso a tecnologías de reproducción asistida y materiales genéticos nacionales. Asimismo, contribuye con la valoración de germoplasma importado y comercializado en el sector agropecuario nacional. Los nuevos proyectos de investigación se centralizan en la optimización de los protocolos de conservación seminal, herramienta que puede ser de mucha utilidad para el sector pecuario, con el objetivo de seleccionar aquellos animales que tienen las características más deseables para los sistemas de producción, considerando objetivos y criterios de selección genética que puedan utilizarse con mayor accesibilidad en diferentes regiones del país (Figura 6).



Figura 6. Vinculación con el sector productivo de estudiantes de grado (Ingeniería en Agronomía) y posgrado (DOCINADE), relacionados con proyectos de investigación asociados a AndroTEC. Fuente: AndroTEC (2023).

Oportunidades de la reproducción asistida animal para el sector agropecuario en Costa Rica

Las nuevas líneas de trabajo de AndroTEC se centran en la conservación de especies de interés productivo local. Estos animales, son razas domésticas dedicadas a la producción, trabajo u otros fines socioculturales, que se han mantenido durante generaciones en nuestro país y se han adaptado a las condiciones actuales. Estas razas generalmente presentan características propias que las podrían potencializar en las nuevas condiciones ambientales que enfrenta nuestro medio, donde su utilización y resguardo son parte de las alternativas de adaptación y mitigación al cambio climático [40]. Además, el trabajo con especies menores como la caprina (cabras) y ovina (ovejas), son nuevas líneas de investigación donde el Laboratorio de Reproducción Animal, pretende realizar colaboraciones que contribuyan al desarrollo de estos sistemas de producción que normalmente representan a grupos de producción familiares o asociaciones. Estas oportunidades forman parte de las proyecciones de trabajo de AndroTEC (Figura 7).



Figura 7. Vinculación con el sector productivo de parte del equipo AndroTEC, ganado Criollo Costarricense (Ganado Doran-razza Local). Fuente: AndroTEC, *visita a productores en la zona de Zarceró*, (2023).

La participación de estudiantes de grado y posgrado forma parte de las características que este Laboratorio promueve, comprometido con la academia a través de la docencia, y que además se promueven espacios para el intercambio de estudiantes extranjeros de grado o posgrado que requieran realizar pasantías de formación en el TEC por medio del Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC). Se participa activamente en el apoyo de estudiantes nacionales mediante trabajos finales de graduación que complementen la formación de nuevos profesionales capacitados con las tecnologías, alternativas y nuevos avances para que contribuyan eventualmente con la sociedad costarricense. Además, se ha favorecido para que estudiantes de la carrera de Ingeniería en Agronomía y profesionales del ITCR, participen en la vinculación con el sector agropecuario, mediante proyectos nacionales. Esto valida el compromiso y demuestra con resultados académicos, el aporte a la sociedad mediante la formación de profesionales capacitados, la colaboración científica y la capacitación al sector agropecuario, desde el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Figura 8).

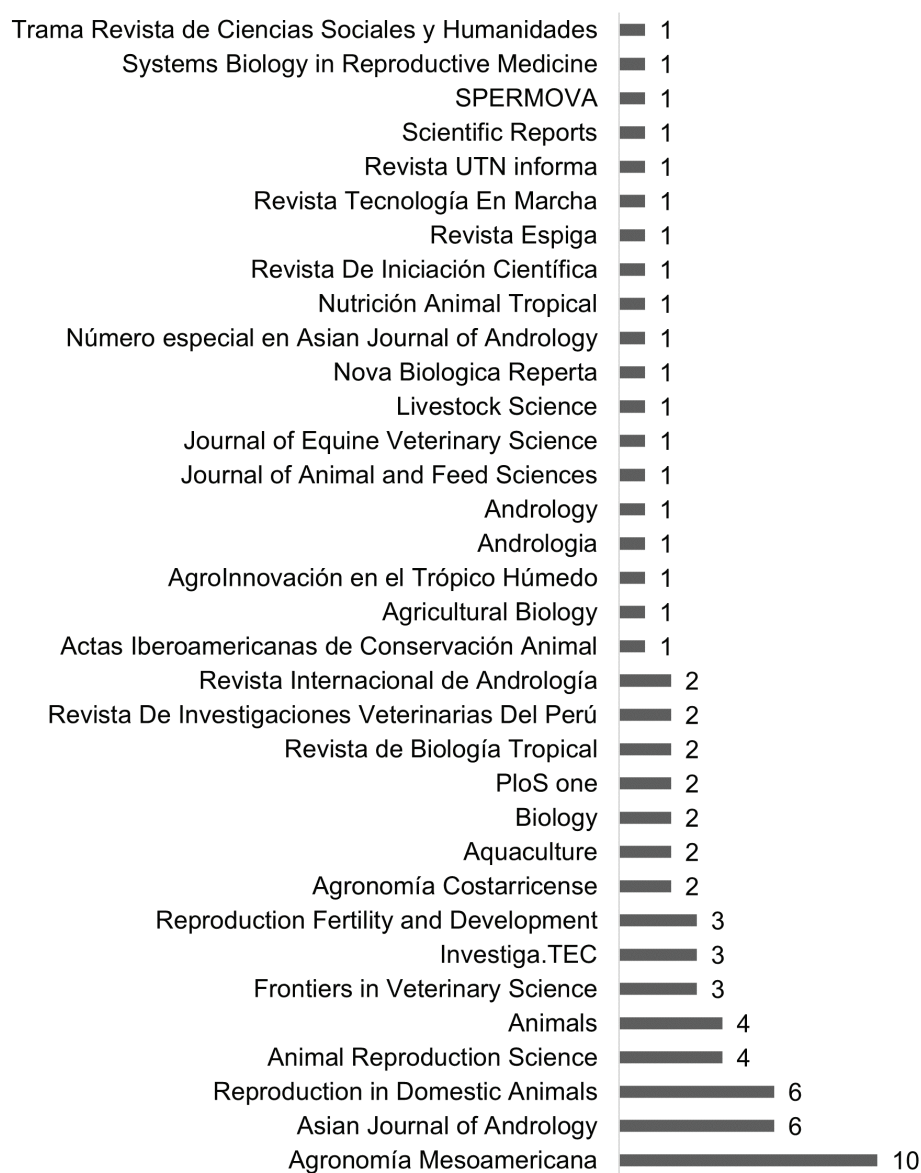


Figura 8. Revistas arbitradas utilizadas para las publicaciones científicas del Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), 2012-2024. Fuente: AndroTEC (2024)

Esto reafirma el compromiso del laboratorio con las colaboraciones científicas que han permitido, además, que el equipo de trabajo del Laboratorio de Reproducción Animal esté relacionado con centros de reproducción asistida en diferentes especies animales e incluso en la especie humana, lo que enriquece la formación integral, el conocimiento y permite la adquisición de habilidades y destrezas para su posterior desarrollo profesional en el país (Figura 9).

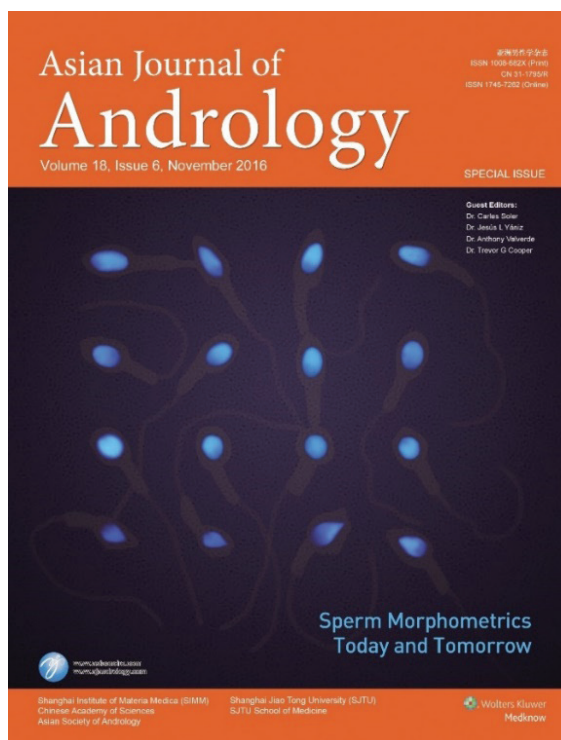


Figura 9. Aportes a la comunidad científica del equipo AndroTEC como resultado del trabajo colaborativo con grupos internacionales, *Asian Journal of Andrology*, Nov-Dec 2016 Vol. 18(6). Fuente: *Asian Journal of Andrology*, (2016).

El impacto en la comunidad científica ha sido importante, debido a que se han publicado un gran número de los artículos científicos en revistas encontradas en los cuartiles 1-4 según SJR (*Scientific Journal Rankings*) (Figura 10).

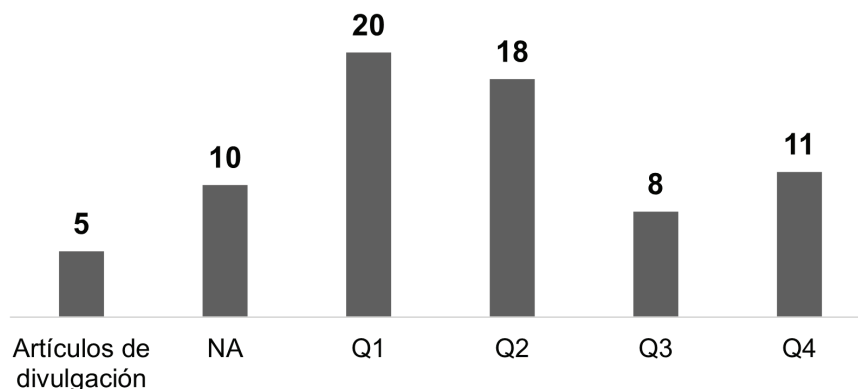


Figura 10. Publicaciones científicas de acuerdo con los cuartiles según SJR (*Scientific Journal Rankings*) de las revistas que se han utilizado para su socialización con la comunidad científica, AndroTEC, 2012-2024. Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), (2024). Nota: NA, son aquellas revistas arbitradas que actualmente no se encuentran dentro de un cuartil según SJR.

Conclusiones generales

El vínculo con el sector productivo y el compromiso por la actualización en temas relacionados con la reproducción animal, el uso nuevas tecnologías y alternativas de mejora para el sector agropecuario, se han fortalecido durante la última década con el aporte que ha realizado AndroTEC, con resultados concluyentes. El aporte a la academia, a la investigación y al sector productivo se puede valorar mediante más de 80 trabajos científicos publicados en revistas indexadas y de acceso libre, trabajos finales de grado de estudiantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica, comunicaciones a congreso, trabajos de posgrado en ejecución, y proyectos de investigación, lo que ha permitido contribuir con la sociedad y el sector agropecuaria nacional, generando información válida y accesible, como un imperativo ético de la labor científica rigurosa, transparente, oportuna y necesaria en los tiempos actuales.

Referencias

- [1] M. Vásquez Loaiza and R. Molina Coto, "Métodos de reproducción y parámetros reproductivos de cebuínos con registro genealógico en Costa Rica," *Agronomía Mesoamericana*, pp. 19–33, Jan. 2021, doi: 10.15517/am.v32i1.40130.
- [2] J. R. Knapp, G. L. Laur, P. A. Vadas, W. P. Weiss, and J. M. Tricarico, "Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions," *J Dairy Sci*, vol. 97, no. 6, pp. 3231–3261, Jun. 2014, doi: 10.3168/jds.2013-7234.
- [3] A. Belanche, A. I. Martín-García, J. Fernández-Álvarez, J. Pleguezuelos, Á. R. Mantecón, and D. R. Yáñez-Ruiz, "Optimizing management of dairy goat farms through individual animal data interpretation: A case study of smart farming in Spain," *Agric Syst*, vol. 173, pp. 27–38, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.agsy.2019.02.002.
- [4] R. R. Posadas Domínguez *et al.*, "Análisis de costos y estrategias productivas en la lechería de pequeña escala en el periodo 2000–2012," *Contaduría y Administración*, vol. 59, no. 2, pp. 253–275, Apr. 2014, doi: 10.1016/S0186-1042(14)71262-8.
- [5] L. G. Viquez, V. Barquero, and A. Valverde, "Condiciones óptimas de análisis cinético en semen fresco de toros Brahman con un sistema CASA-Mot," *Agronomía Mesoamericana*, pp. 920–938, Sep. 2021, doi: 10.15517/am.v32i3.42768.
- [6] I. Araya-Zúñiga, F. Sevilla, V. Barquero, and A. Valverde, "Efecto del diluyente, la edad y el estado sexual bovino sobre la cinemática del semen," *Agronomía Mesoamericana*, p. 52597, Jul. 2023, doi: 10.15517/am.2023.52597.
- [7] F. Sevilla, C. Soler, I. Araya-Zúñiga, V. Barquero, E. R. S. Roldan, and A. Valverde, "Are There Differences between Methods Used for the Objective Estimation of Boar Sperm Concentration and Motility?," *Animals*, vol. 13, no. 10, p. 1622, May 2023, doi: 10.3390/ani13101622.
- [8] V. Barquero, "Evaluación de la fertilidad a partir de la calidad seminal de verracos (*Sus scrofa* L .) en granja Los Sagitarios, Río Cuarto, Alajuela," 2020.
- [9] A. Valverde, M. Madrigal-Valverde, M. Camacho-Calvo, A. Zambrana-Jiménez, and L. López, "Efecto de la composición racial sobre la calidad espermática de verracos," *Agronomía Mesoamericana*, vol. 29, no. 3, p. 485, Sep. 2018, doi: 10.15517/ma.v29i3.32445.
- [10] A. Valverde, M. Madrigal Valverde, and M. Madrigal-Valverde, "Assessment of counting chambers on boar sperm parameters analyzed by a CASA-Mot system," *Agronomy Mesoamerican*, vol. 30, no. 2, pp. 447–458, May 2019, doi: 10.15517/am.v30i1.34145.
- [11] M. Madrigal-Valverde, B. Aguilera, and A. Valverde, "Efecto del método de cubrición sobre parámetros productivos y reproductivos en porcino," *Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo*, vol. 01, no. 01, pp. 53–61, 2018, doi: 10.18860/rath.v1i1.3929.

- [12] A. Valverde, M. Madrigal Valverde, J. Solís Arias, and W. Paniagua Madrigal, "Variabilidad en los métodos de estimación de la concentración espermática en verracos," *Agronomía Costarricense*, vol. 43, no. 2, pp. 25–43, 2019, doi: 10.15517/rac.v43i2.37793.
- [13] C. Soler and A. Valverde, "El análisis seminal en la agricultura de precisión en el siglo XXI," *Agronomía Mesoamericana*, p. 51957, Jan. 2023, doi: 10.15517/am.v34i2.51957.
- [14] A. Valverde and M. Madrigal Valverde, "Sistemas de análisis computadorizado de semen en la reproducción animal," *Agronomía Mesoamericana*, vol. 29, no. 2, p. 469, May 2018, doi: 10.15517/ma.v29i2.30613.
- [15] A. Valverde, V. Barquero, and C. Soler, "The application of computer-assisted semen analysis (CASA) technology to optimise semen evaluation. A review," *J Anim Feed Sci*, vol. 29, no. 3, pp. 189–198, Sep. 2020, doi: 10.22358/jafs/127691/2020.
- [16] A. Valverde, M. Madrigal-Valverde, J. Lotz, D. Bompert, and C. Soler, "Effect of video capture time on sperm kinematic parameters in breeding boars," *Livest Sci*, vol. 220, pp. 52–56, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.livsci.2018.12.008.
- [17] S. Gacem, D. Bompert, A. Valverde, J. Catalán, J. Miró, and C. Soler, "Optimal frame rate when there were stallion sperm motility evaluations and determinations for kinematic variables using CASA-Mot analysis in different counting chambers," *Anim Reprod Sci*, vol. 223, p. 106643, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.anireprosci.2020.106643.
- [18] V. Barquero, L. Víquez, J. Calderón-Calderón, and A. Valverde, "Optimal frame rate to evaluate boar sperm kinematic with a CASA-Mot system," *Agronomy Mesoamerican*, vol. 32, no. 1, pp. 1–18, Jan. 2021, doi: 10.15517/am.v32i1.41928.
- [19] A. Valverde *et al.*, "Combined effect of type and capture area of counting chamber and diluent on Holstein bull sperm kinematics," *Andrologia*, vol. 51, no. 4, p. e13223, May 2019, doi: 10.1111/and.13223.
- [20] D. Bompert *et al.*, "Combined effects of type and depth of counting chamber, and rate of image frame capture, on bull sperm motility and kinematics," *Anim Reprod Sci*, vol. 209, p. 106169, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.anireprosci.2019.106169.
- [21] A. Valverde *et al.*, "Effect of frame rate capture frequency on sperm kinematic parameters and subpopulation structure definition in boars, analysed with a <scp>CASA</scp> -Mot system," *Reproduction in Domestic Animals*, vol. 54, no. 2, pp. 167–175, Feb. 2019, doi: 10.1111/rda.13320.
- [22] L. Víquez *et al.*, "Morphometric assessment of cryopreserved livestock bull spermatozoa in the tropics," *Reproduction in Domestic Animals*, vol. 58, no. 10, pp. 1439–1447, Oct. 2023, doi: 10.1111/rda.14459.
- [23] V. Barquero *et al.*, "Relationship between Fertility Traits and Kinematics in Clusters of Boar Ejaculates," *Biology (Basel)*, vol. 10, no. 7, p. 595, Jun. 2021, doi: 10.3390/biology10070595.
- [24] V. Barquero, E. R. S. Roldan, C. Soler, J. L. Yániz, M. Camacho, and A. Valverde, "Predictive Capacity of Boar Sperm Morphometry and Morphometric Sub-Populations on Reproductive Success after Artificial Insemination," *Animals*, vol. 11, no. 4, p. 920, Mar. 2021, doi: 10.3390/ani11040920.
- [25] J. Calderón-Calderón, F. Sevilla, E. R. S. Roldan, V. Barquero, and A. Valverde, "Influence of Fat-Soluble Vitamin Intramuscular Supplementation on Kinematic and Morphometric Sperm Parameters of Boar Ejaculates," *Front Vet Sci*, vol. 9, Jul. 2022, doi: 10.3389/fvets.2022.908763.
- [26] F. Sevilla-Benavides, J. Calderón-Calderón, V. Barquero, and A. Valverde, "Efecto de la suplementación con vitaminas liposolubles sobre los patrones de movilidad y cinética en semen de verraco," *Revista de Iniciación Científica*, vol. 9, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.33412/rev-ric.v9.1.3762.
- [27] C. Soler, T. Cooper, A. Valverde, and J. Yániz, "Afterword to Sperm morphometrics today and tomorrow special issue in Asian Journal of Andrology," *Asian J Androl*, vol. 18, no. 6, p. 895, 2016, doi: 10.4103/1008-682X.188451.

- [28] A. Valverde *et al.*, "Morphometry and subpopulation structure of Holstein bull spermatozoa: variations in ejaculates and cryopreservation straws," *Asian J Androl*, vol. 18, no. 6, p. 851, 2016, doi: 10.4103/1008-682X.187579.
- [29] A. Valverde, M. Madrigal-Valverde, O. Castro-Morales, A. Gadea-Rivas, S. Johnston, and C. Soler, "Kinematic and head morphometric characterisation of spermatozoa from the Brown Caiman (*Caiman crocodilus fuscus*)," *Anim Reprod Sci*, vol. 207, pp. 9–20, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.anireprosci.2019.06.011.
- [30] A. Valverde *et al.*, "Sperm kinematic subpopulations of the American crocodile (*Crocodylus acutus*)," *PLoS One*, vol. 16, no. 3, p. e0248270, Mar. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0248270.
- [31] F. Sevilla, O. Castro-Morales, V. Quesada-Obando, and A. Valverde, "Importancia del análisis y la conservación del semen de abeja melífera (*Apis mellifera*) bajo condiciones tropicales," *Investiga.TEC*, vol. 16, no. 48, pp. 4–10, Sep. 2023.
- [32] C. Caldeira *et al.*, "Characterisation of European eel (*Anguilla anguilla*) spermatozoa morphometry using Trumorph tool in fixed and non-fixed samples," *Aquaculture*, vol. 553, p. 738047, May 2022, doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738047.
- [33] C. Caldeira *et al.*, "Standardization of sperm motility analysis by using CASA-Mot for Atlantic salmon (*Salmo salar*), European eel (*Anguilla anguilla*) and Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*)," *Aquaculture*, vol. 502, pp. 223–231, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.12.001.
- [34] C. Caldeira *et al.*, "Comparison of sperm motility subpopulation structure among wild anadromous and farmed male Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr using a CASA system," *Reprod Fertil Dev*, vol. 30, no. 6, p. 897, 2018, doi: 10.1071/RD17466.
- [35] H. Cucho, Y. López, C. Caldeira, A. Valverde, C. Ordóñez, and C. Soler, "Comparison of three different staining methods for the morphometric characterization of Alpaca (*Vicugna pacos*) sperm, using ISAS® CASA-Morph system," *Nova Biologica Reperta*, vol. 6, no. 3, pp. 284–291, Oct. 2019, doi: 10.29252/nbr.6.3.284.
- [36] A. Meza *et al.*, "Sperm kinematic characterization of alpaca (*Vicugna pacos* L.) during the reproductive season," *Reproduction in Domestic Animals*, vol. 53, no. 6, pp. 1415–1423, Dec. 2018, doi: 10.1111/rda.13284.
- [37] H. Cucho, O. Puelles, A. Meza, D. Urquiza, L. Coila, and A. Valverde, "Morphometric characterization and classification of vicuña sperm (*Vicugna vicugna*) using ISAS® CASA-Morph system," *SPERMOVA*, vol. 11, no. 2, pp. 115–123, Dec. 2021, doi: 10.18548/aspect/0009.16.
- [38] H. Cucho *et al.*, "Morfometría y subpoblaciones de espermatozoides de llama (*Lama glama*) usando el sistema ISAS® CASA-Morph," *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 32, no. 1, p. e19506, Feb. 2021, doi: 10.15381/rivep.v32i1.19506.
- [39] H. Cucho, G. Nina, A. Meza, R. Ccalta, C. Ordóñez, and A. Valverde Abarca, "Subpoblaciones morfométricas de espermatozoides epididimarios del venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus peruvianus*)," *Agronomía Mesoamericana*, p. 46938, Jan. 2022, doi: 10.15517/am.v33i2.46938.
- [40] P. J. Boettcher *et al.*, "Genetic resources and genomics for adaptation of livestock to climate change," *Front Genet*, vol. 5, Jan. 2015, doi: 10.3389/fgene.2014.00461.

Sobre los autores

Francisco Sevilla-Benavides

Ingeniero Agrónomo graduado del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Ha participado como asistente especial de los proyectos; "Evaluación de la fertilidad asociada a la calidad seminal de verracos en granjas porcinas de la Región Huetar Norte"; "Desarrollo de la metodología de análisis integrado de semen en ganado *Bos indicus*". Profesor investigador de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) desde el 2024, y actualmente estudiante del Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE) del ITCR-UNA-UNED, donde además es asistente especial de investigación de posgrado, relacionado con el proyecto "FERTSPERM", todos adscritos a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión. <https://orcid.org/0000-0003-1480-4141>

Ignacio Araya-Zúñiga

Ingeniero Agrónomo graduado del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Ha participado como asistente de investigación del proyecto; "Desarrollo de la metodología de análisis integrado de semen en ganado *Bos indicus*" y actualmente es estudiante de la Maestría en Ciencia y Tecnología para la Sostenibilidad del ITCR-UNA, donde además es asistente especial de investigación de posgrado, relacionado con el proyecto "Optimización de la conservación y búsqueda de parámetros de la fertilidad en espermatozoides de animales de interés productivo", todos adscritos a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión. <https://orcid.org/0000-0002-4292-2287>

Anthony Valverde-Abarca

Ingeniero Agrónomo Zootecnista (UCR), Máster en Mejora Genética Animal y Biotecnología de la Reproducción por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y Doctor en Biodiversidad y Biología Evolutiva por la Universitat de València. Profesor de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) desde 2008. En 2014, creó el Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC) enfocado en el análisis seminal, con el objetivo de promover el desarrollo tecnológico y la investigación en evaluación espermática. Es profesor Catedrático e investigador Consolidado-IC-2 por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del TEC. Ha publicado más de 75 artículos científicos en revistas indexadas y posee un índice H de 21 con más de 1,2k citas. Tiene más de 10 años de experiencia en investigación y sus líneas se centran en el estudio de la biología de la reproducción animal. Actualmente es pasante de la Maestría en Bioética de la UNA-UCR. <https://orcid.org/0000-0002-3191-6965>