

Investiga.TEC


ISSN 1659-3383

VOLUMEN 17 • NÚMERO 50 • MAYO DEL 2024

Ambiente y humanos coexistimos:
una perspectiva inicial para el manejo
de la contaminación ambiental con
residuos de fármacos en Costa Rica



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

 portal investiga.TEC

Investiga.TEC es una publicación digital de carácter divulgativo de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Es una revista cuatrimestral, gratuita y dirigida al público en general, cuyo propósito es divulgar el aporte que el TEC hace a la sociedad costarricense en distintos campos de la ciencia, la tecnología, la investigación y la extensión.

Editora

Ileana León Boza

Comité Editorial

Andrés Robles Ramírez
Dagoberto Arias Aguilar
David Porras Alfaro
Ileana León Boza
Maribel Jiménez Montero

Contacto

Teléfono:

(506) 2550-9566

Correo electrónico:

revistainvestiga.tec@itcr.ac.cr

Apartado postal:

159-7050, Cartago, Costa Rica.

Diseño y Diagramación

Unidad de Publicaciones (TEC)



La fotografía de portada corresponde al artículo que ofrecemos en la página 29, titulado "Ambiente y humanos coexistimos: una perspectiva inicial para el manejo de la contaminación ambiental con residuos de fármacos en Costa Rica".

Créditos de la imagen: Ing. María Porras Acosta, Profesora e investigadora, Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Presentación

En esta segunda edición del año 2024, compartimos cinco artículos a través de los cuales reflexionaremos sobre la divulgación científica y conoceremos distintas iniciativas de investigación que se desarrollan en el Instituto Tecnológico de Costa Rica con el propósito de contribuir con el bienestar de la sociedad costarricense.

"Comunicar la ciencia, en especial a personas ajenas al mundo de la investigación científica no solo es un reto, sino que constituye una responsabilidad que muchas veces suele quedar desatendida"; esta frase es un extracto de nuestro primer artículo, donde se hace una rica reflexión en torno al artículo de divulgación científica y su importancia para contribuir al fomento de una cultura científica.

De seguido y como resultado de un proyecto de investigación estudiantil, se muestra cómo, mediante el uso de sensores de humedad, los agricultores pueden recibir alertas vía mensaje de texto que les indiquen cuándo activar y/o desactivar el riego de manera precisa. Esto no solo satisface las necesidades hídricas del cultivo, sino que también permite un ahorro significativo de recursos.

¿Sabía usted que el Tecnológico de Costa Rica cuenta con un Laboratorio de Reproducción Animal? En nuestro tercer artículo, exploraremos el trabajo del Laboratorio AndroTEC y su valioso aporte tanto a la sociedad costarricense como a la comunidad científica.

En el cuarto artículo se aborda un tema de interés nacional, se trata de una perspectiva inicial para el manejo de la contaminación ambiental con residuos de fármacos en Costa Rica, este artículo pretende explicar el contexto general de esta problemática, para valorar las oportunidades de prevención y mitigación, así como la necesidad de prepararse ante una eventual regulación nacional.

La investigación que se da a conocer en el último artículo documenta y valora la arquitectura vernácula, generando consciencia sobre su importancia cultural y promoviendo su conservación a través de la investigación y la colaboración comunitaria.

Esperamos que la lectura de estos artículos le sea tanto placentera como enriquecedora.

Contenidos

Escribir para divulgar: qué es, cómo se escribe y para qué sirve el artículo de divulgación científica	4
Emisión de Datos del Sensor de Humedad "EDANA" para la utilización en diferentes labores Agrícolas	10
AndroTEC: Reflexiones a una década de aportes en la investigación científica en reproducción animal	16
Ambiente y humanos coexistimos: una perspectiva inicial para el manejo de la contaminación ambiental con residuos de fármacos en Costa Rica	29
Investigación interdisciplinar sobre la arquitectura vernácula de Puntarenas	38

Escribir para divulgar: qué es, cómo se escribe y para qué sirve el artículo de divulgación científica

Erick F. Salas Acuña

Escuela de Idiomas y Ciencias Sociales
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ esalas@itcr.ac.cr

Resumen

Este escrito propone una breve reflexión en torno al artículo de divulgación científica. Con este fin, en un primer momento, se define y caracteriza el género dentro del campo de la comunicación de la ciencia. Seguidamente, se ofrecen algunas recomendaciones que guíen su escritura. Por último, se argumenta acerca de la importancia de este tipo de publicación para contribuir al fomento de una cultura científica.

Palabras claves: Comunicación de la ciencia, divulgación científica, artículo de divulgación científica, escritura.

Introducción

En el contexto académico, la publicación de artículos es una parte importante del trabajo de socialización del conocimiento que producen las universidades. Estas instituciones investigan -en algunos casos con fondos públicos- con el fin de contribuir al mejoramiento de la sociedad. Garantizar, por lo tanto, el acceso de la población general a ese conocimiento es una responsabilidad cada vez mayor para la credibilidad y el prestigio de estas instituciones.

Sin embargo, es sabido que una parte importante de la producción científica está dirigida a un grupo reducido de especialistas. Si bien quienes investigan tienen el deber de diseminar sus hallazgos con sus pares, no hay que olvidar que una cuota de esa responsabilidad también involucra realizar esfuerzos para compartir ese conocimiento con el resto de la ciudadanía. Escribir artículos de divulgación, por ejemplo, es una parte importante de la labor de quienes investigan. Desafortunadamente, la divulgación de la ciencia suele ser un tema desatendido dentro de las comunicades científicas, como se verá más adelante, lo cual tiene implicaciones importantes en la manera en que la población suele relacionarse con este conocimiento.

El propósito de este escrito es reflexionar sobre el artículo de divulgación científica. Para ello, se plantean tres preguntas: ¿qué es?, ¿cómo se escribe? y ¿para qué sirve? Se espera que la discusión logre aportar al interés en este tipo de publicación como una manera de contribuir a la construcción de una cultura científica.

¿Qué es el artículo de divulgación científica?

La comunicación de la ciencia hace referencia a aquellas actividades orientadas a comunicar resultados de investigaciones a toda la ciudadanía [2]. Estas involucran no solo aquellos esfuerzos dirigidos a compartir información con quienes participan de una comunidad especializada, como lo son las conferencias, los congresos y las publicaciones científicas, sino también con otros agentes sociales como los políticos, los medios de comunicación, los colectivos de profesionales, los empresarios, los niños, los jóvenes y el público en general.

Para comprender aún más este concepto, se suelen proponer tres subcategorías: diseminación de la ciencia, difusión de la ciencia y divulgación de la ciencia [2]. La primera hace referencia a la comunicación que tiene lugar entre la comunidad de científicos, y que suele ocurrir en la forma de revistas científicas, congresos, seminarios u otros canales de comunicación, lejos de otros agentes sociales. La difusión de la ciencia, por su parte, involucra los esfuerzos orientados a compartir el conocimiento sobre ciencia con actores como los profesionales de la industria, los políticos y los periodistas, por ejemplo. Se trata de un mensaje que, aunque no exclusivamente técnico, no está dirigido a la ciudadanía.

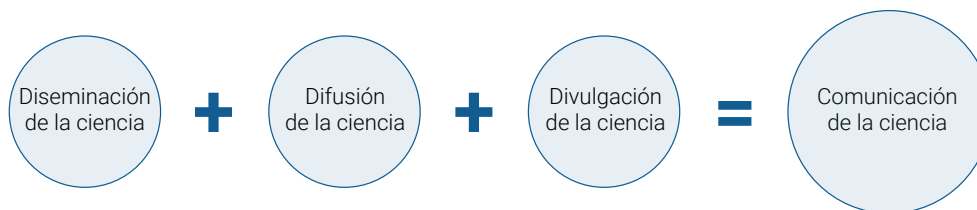


Figura 1. Actividades relacionadas con la comunicación de la ciencia

Elaboración propia

Por último, la divulgación de la ciencia o divulgación científica consiste en referir los resultados de una investigación a una audiencia sin preparación ni formación en el tema para que puedan asimilarla con un lenguaje sencillo y accesible. Quienes se encargan de este tipo de trabajo pueden ser tanto científicos, como docentes, divulgadores o periodistas, y, por lo general, suele ocurrir en espacios públicos. Los medios para esta labor pueden incluir desde programas en medios de comunicación

masiva, obras de teatro, publicaciones periódicas, soportes multimedia, museos de ciencia, entre otros [3]. Siguiendo esta clasificación, podemos ubicar al artículo de divulgación científica dentro de las actividades de la tercera subcategoría expuesta por [2].

Ahora bien, existe poca bibliografía sobre el artículo de divulgación científica. La mayor parte de la información disponible se centra en géneros más relacionados con los procesos de diseminación de la ciencia como la tesis, el ensayo académico, el artículo de revisión bibliográfica, la sistematización de experiencias, entre otros. Sin duda, esta omisión tiene que ver con la poca importancia que ha recibido la divulgación científica en comparación con otras actividades relacionadas con la comunicación de la ciencia [4].

No obstante, parte de la responsabilidad de quienes producen el conocimiento científico involucra reducir la distancia que separa la ciencia de la ciudadanía para procurar el bien común, afrontar los problemas de la sociedad y fomentar el espíritu crítico. En este sentido, el artículo de divulgación se convierte en una herramienta importante para contribuir con esta tarea, pues se trata de un género que, al tiempo que busca presentar unos contenidos de manera breve y comprensible, procura también hacerlos atractivos para una audiencia que, en principio, no cuenta con los conocimientos técnicos ni el interés. Pero, ¿cómo se escribe un artículo de divulgación científica?

¿Cómo escribir un artículo de divulgación científica?

A diferencia de otros géneros escritos académicos para los que existen pautas claras para su redacción, el artículo de divulgación científica no sigue un formato convencional de organización de la información. Como se verá más adelante, existe un orden general que responde a la estructura retórica básica de introducción, desarrollo y conclusión, pero dejando un gran margen de flexibilidad para el desarrollo de un estilo personal. Esto, lejos de ser un problema, puede convertirse en la gran ventaja que ofrece el artículo de divulgación sobre otros géneros más estructurados.

La literatura existente sobre el tema coincide en algunas recomendaciones generales que pueden considerarse para la redacción de este tipo de textos. Desde el punto de vista de la estructura, por ejemplo, el artículo de divulgación científica se ordena según los siguientes elementos: título, introducción, desarrollo, conclusión y bibliografía.

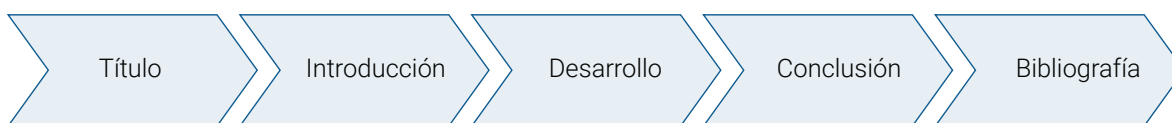


Figura 2. Estructura del artículo de divulgación científica

Elaboración propia

Lo primero, ante todo, debe ser un título atractivo. Este tiene que ser corto, claro y estar relacionado con el contenido. Su función, además, es captar la curiosidad e interés del lector. Para ello se pueden considerar juegos de palabras, preguntas retóricas como metáforas, entre otras.

La introducción debe atender por qué o para qué se ha realizado el trabajo, es decir, explicar la finalidad del artículo, además de la exposición de una tesis que presente la problemática, la metodología (cuando exista) y ubique el tema dentro de un contexto determinado.

En el desarrollo se explica el tema abordado, con un lenguaje reformulado a una audiencia general. También se pueden discutir los hallazgos o resultados y la importancia a los mismos para el avance del conocimiento en el área temática estudiada. Se recomienda dividir el cuerpo en secciones, mediante encabezados o subtítulos.

La conclusión debe recapitular brevemente la tesis descrita en la introducción y ofrecer las resoluciones a las que se llegó, así como algunos de los retos pendientes. Si es posible, puede cerrarse con un final que lleve a la reflexión.

Otro aspecto fundamental es proveer al lector de una bibliografía relacionada con el tema según el formato de citación propuesto por la revista donde se desee publicar. Debe recordarse que las fuentes incluidas en este apartado son únicamente las referidas en el escrito, y que deben seleccionarse siguiendo criterios que aseguren su confiabilidad. Además, es importante no abusar de las citas, sobre todo de las directas o literales.

No hay que olvidar que la ilustración es una forma de iluminar el texto. Le da más elementos de comprensión al lector y permite expresar mejor las ideas que se están desarrollando. Por esta razón, el uso de recursos visuales como cuadros, diagramas, imágenes u otros elementos visuales es un elemento que puede considerarse.

El otro elemento que es importante considerar es el estilo. Dada la naturaleza del artículo de divulgación, se recomienda que esté caracterizado por la brevedad, la claridad y la accesibilidad. Esto se logra pensando en el lector quien, como ya se sabe, no es un experto en la materia, sino alguien que solo quiere informarse sobre un tema, por lo que un texto de menor extensión puede ser más conveniente. Lo anterior no significa que el lector tenga subestimarse, sino simplemente que se debe evitar la tentación de escribir textos largos y complejos. En cuanto a la claridad, se recomienda, por ejemplo, reducir la terminología técnica y, en su lugar, optar por un vocabulario más familiar. De igual manera, el uso de oraciones cortas y párrafos breves también puede facilitar la comprensión. La accesibilidad, por su parte, involucra asegurarse de incluir definiciones cuando se requieran, utilizar ejemplos e incluir información gráfica que facilite la asimilación de ciertos contenidos que pueden resultar de difícil comprensión. Por esta misma razón, se aconseja evitar o minimizar el uso de fórmulas y demostraciones matemáticas.

En algunos casos, el uso de humor, figuras retóricas o anécdotas puede resultar útil para que el texto pueda resultar más atractivo. Este tipo de recursos no son propios de otras publicaciones, como el artículo científico. Sin embargo, en el caso del artículo de divulgación científica pueden ser efectivos para lograr una mayor accesibilidad de los contenidos, siempre y cuando no se ponga en riesgo el principio de objetividad. Debe recordarse que el fin de esta forma de comunicación no es exponer posturas personales y emitir juicios de valor, sino informar de manera neutral sobre un tema para que quien lo lea puede formarse una opinión propia.

Lograr escribir de manera breve, clara y sencilla no es una tarea fácil. Sin embargo, se suele pensar que simplificar los contenidos científicos es una forma de devaluar ese conocimiento. Contrario a esta creencia, el artículo de divulgación científica, al ganar en calidad comunicativa, logra algo que otras publicaciones a veces olvidan: el derecho de todas las personas a informarse.

¿Para qué sirve el artículo de divulgación científica?

En la actualidad, sin importar la encuesta sobre la percepción social de la ciencia y la tecnología que se consulte, los datos muestran que la mayoría de las personas no solo desconocen cuestiones científicas básicas, sino que además tienen poco interés en la ciencia [2]. Por ejemplo, entre los hallazgos del último informe sobre "Percepción social de la ciencia y la tecnología en Costa Rica", destaca el poco conocimiento que tienen los costarricenses sobre el desarrollo de la ciencia en el país [5]. Cuando se les preguntó acerca de su grado de información sobre el tema, la mayoría de los encuestados no solo manifestó estar poco informados, sino que también reconoció tener poco conocimiento sobre las instituciones encargadas de promover la ciencia en el país.

Con todo, que la gente común no esté interesada en la ciencia no es tan preocupante como el desinterés de los científicos porque la gente común conozca sobre ciencia [1]. Reflexionar, por ende, en torno a la responsabilidad de divulgar el conocimiento científico es importante para asegurar la relevancia social

de la investigación, más allá de los méritos académicos, y así evitar un saber despolitizado que poco tiene que ver con el mejoramiento de las condiciones de vida de la mayoría de la población.

Los resultados de la encuesta antes mencionados indican que los costarricenses sienten que la ciencia tiene poco que ver con sus vidas. Por esta razón, una de las recomendaciones de este informe consiste en fortalecer la confianza pública mediante el mejoramiento de los procesos de comunicación relacionados con el quehacer científico nacional.

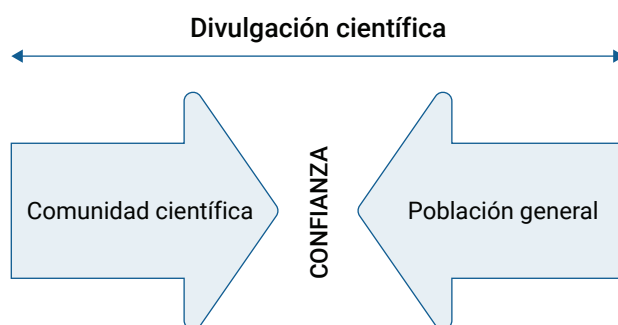


Figura 3. Función de la divulgación científica

Elaboración propia

Comunicar la ciencia, en especial a personas ajenas al mundo de la investigación científica no solo es un reto, sino que constituye una responsabilidad que muchas veces suele quedar desatendida, como se ha visto. Esto representa un problema dado el riesgo que implica el desconocimiento de cuestiones científicas básicas necesarias para procurar el bien común. En este respecto, el artículo de divulgación científica, al ser una forma de comunicación de la ciencia con la ciudadanía, alejada de posicionamientos academicistas, con un lenguaje sencillo y accesible, constituye una herramienta poderosa para promover una ciudadanía más informada y crítica.

A modo de cierre

Todas las investigaciones, sobre todo aquellas financiadas con los impuestos de la ciudadanía, deberían contemplar un plan de comunicación de la ciencia. Esto implica no solo promover la publicación de artículos científicos y la participación en congresos, por ejemplo, sino también el empleo de otros canales menos académicos y más accesibles a la población, sobre todo de aquella que puede resultar más beneficiada con este conocimiento.

Nuevas formas de evaluación del trabajo académico también son necesarias para favorecer otros medios de comunicación del conocimiento que se produce en las universidades. Dada la responsabilidad social que acompaña la investigación científica, parece justo revalorizar aún más el papel de la divulgación, de manera que quienes investigan también se sientan motivados a buscar otros espacios para dar a conocer sus hallazgos.

La formación en comunicación de la ciencia también es un aspecto clave para contribuir a reducir la distancia entre el conocimiento científico y la ciudadanía. Que quienes se desempeñan en estas áreas sean capaces de comunicar sus resultados a todos los públicos, y por distintos medios, resulta conveniente para tener sociedades científicamente más alfabetizadas. El objetivo de este aporte ha sido proponer al artículo de divulgación como una de las formas en las que se puede contribuir a esa tarea.

Bibliografía

- [1] P. Gentili, América Latina, entre la desigualdad y la esperanza. Crónicas sobre educación, infancia y discriminación, Buenos Aires, Argentina: Siglo Veintiuno Editores, 2015.
- [2] J. Ramos Vivas, Manual de comunicación y divulgación científica, Córdoba, España: Berenice, 2021.
- [3] Y. Sánchez Fundora y Y. Roque García, "La divulgación científica: una herramienta eficaz en centros de investigación," *Bibliotecas. Anales de investigación*, vol. 7, no. 7, pp. 91-94, 2011. <http://revistas.bnjm.sld.cu/index.php/BAI/article/view/315/323>
- [4] E. Montolío Durán, Tomar la palabra. Política, género y nuevas tecnologías en la comunicación, Barcelona, España: Universitat de Barcelona, 2019.
- [5] Ministerio de Ciencia, Tecnología y Comunicaciones (MICITT), Percepción social de la ciencia y la tecnología en Costa Rica, San José, Costa Rica: MICITT, 2020. https://www.micitt.go.cr/wp-content/uploads/2022/04/informe_percepcion_cyt_2020-2.pdf

Sobre el autor

Erick F. Salas Acuña

Filólogo. Profesor de cursos de comunicación en la Escuela de Idiomas y Ciencias Sociales del Campus Tecnológico Local San Carlos. Sus áreas de interés son la alfabetización académica, la investigación educativa y la literatura. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1447-4824>

Emisión de Datos del Sensor de Humedad “EDANA” para la utilización en diferentes labores Agrícolas

Ericka Picado Mora

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ epicadom@estudiantec.cr

David Araya Quesada

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ david9aq@estudiantec.cr

Nayeli Ruiz Granados

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ naye@estudiantec.cr

James Sibaja Granados

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica
✉ james.sibaja.consultor@iica.int

Resumen

El uso de sensores de humedad del suelo es esencial para conocer la capacidad hídrica de los suelos y con esto establecer tiempos de riego de forma óptima. La Agricultura 4.0. apunta a crear soluciones tecnológicas que establezcan mecanismos de comunicación y transmisión de información al productor, permitiéndole conocer en tiempo real como se encuentra su cultivo y cuáles son sus necesidades hídricas gracias a la implementación del IoT (por sus siglas en inglés Internet de las Cosas). Este proyecto se enfoca en la transmisión de datos del sensor de humedad “EDANA” a partir de lo cual el productor podrá recibir una alerta vía mensaje de texto que le indique cuando activar y/o desactivar el riego de una forma precisa, logrando no solamente satisfacer las necesidades hídricas del cultivo sino también el ahorro del recurso hídrico, a partir de la conexión tecnológica de la información suministrada en campo y la respectiva calibración en función de la zona de trabajo.

Palabras clave: Sensor de Humedad; emisión; IoT; agricultura, tecnología; precisión.

Introducción

La medición del porcentaje de humedad gravimétrica de los suelos desempeña un papel fundamental en el contexto del buen mantenimiento y productividad de los cultivos, dado que permite determinar con un criterio adecuado los tiempos de riego, beneficiando no solamente a los cultivos, sino también, el ahorro del recurso hídrico.

La evaluación de la humedad en los suelos se puede llevar a cabo mediante la implementación de diferentes métodos, directos e indirectos, que comparten un mismo objetivo, la obtención de mediciones precisas de la humedad del suelo. Sin embargo, estos procedimientos se caracterizan por lo extensivo, laborioso y la necesidad de recursos específicos para garantizar su eficacia, ante esto, se torna imperativo explorar alternativas que ofrezcan soluciones eficaces en el contexto agrícola, especialmente en consideración de las posibles condiciones adversas que pueden incidir negativamente en la implementación del riego. [1]

El uso de sensores de humedad se ha convertido en un recurso fundamental para el establecimiento de mejores prácticas de riego dado que permiten conocer en tiempo real las necesidades hídricas del cultivo, y a partir de esto tomar decisiones. Uno de los aspectos de mayor relevancia en la utilización de este tipo de sensores es su capacidad de emisión de datos, facilitando la adquisición de información crucial para la gestión de fincas. Estos sistemas pueden contribuir con el desarrollo e implementación de sistemas de riego automatizados.

Este proyecto se centró en la transmisión de los datos proporcionados por el sensor de humedad capacitivo "EDANA", en respuesta al crecimiento continuo en la integración de tecnología en la agricultura. Es evidente la necesidad de llevar a cabo proyectos que contribuyan al desarrollo de la agricultura 4.0, con el objetivo de lograr resultados eficientes en cuanto al manejo óptimo de los recursos, mejora de la calidad del suelo y optimización de los cultivos.

El presente proyecto fue desarrollado con apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica y del FabLab del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Metodología

Con el fin de definir la red de transmisión se realizó el análisis de datos presentados por la SUTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones), los cuáles permitieron definir la red recomendada para la correcta emisión de los datos del sensor y, además, conocer el tipo de mecanismo por el cual se emitirán los datos.

Se analizaron dos posibilidades, la primera a partir de conexión a internet de un teléfono con el uso de la aplicación Blink, este proceso se llevó a cabo a partir de la programación y ensamblado del sensor, de modo tal que se realizara un envío de alerta en forma de mensaje de texto, con el fin de conocer el momento en que el suelo presenta contenidos de humedad en Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP), y con esto proceder a la activación del riego. Dada la variabilidad de valores según textura de suelo el sensor debe ser ajustado en cada caso.

Se desarrollaron diferentes procedimientos como, selección de sensores, configuración de plataforma, instalación, calibración del sensor, ejecución de pruebas y la configuración de alertas.

Con el objetivo de proceder con la calibración del sensor se llevó a cabo una relación de datos obtenidos por medio del sensor y los obtenidos de forma práctica en campo y laboratorio, a partir de la aplicación y ejecución del método gravimétrico para la determinación del contenido de humedad, esto permitió obtener una ecuación de mejor ajuste acorde a los datos obtenidos y con un alto nivel de precisión. Todo el proceso de calibración se realizó en la Escuela de Ingeniería Agrícola del Tecnológico de Costa Rica.

Con los valores de humedad se graficaron los resultados del laboratorio y los obtenidos mediante el sensor, mediante la herramienta Excel se encontró la recta de mejor ajuste y su respectiva ecuación, misma que sirvió como ecuación de calibración del sensor.

Para la ejecución de pruebas del sensor se realizaron mediciones en macetas de un invernadero, cuyo suelo cuenta con una textura franca, de esta forma fue posible comprobar el comportamiento de la humedad del suelo a lo largo del tiempo y verificación de la emisión de los datos suministrados por el sensor en el campo de trabajo, así como el factor carga del sensor.

Resultados

Se obtuvieron una serie de resultados que permiten comprobar con certeza que el desarrollo metodológico fue el adecuado para el cumplimiento de los objetivos correspondientes.

A partir del análisis de la accesibilidad tecnológica se logró definir que la línea Claro cuenta con la mejor conectividad, no solo a nivel de la zona en estudio, sino a nivel país, pudiendo generar una comunicación y emisión de datos de calidad. Así mismo, se tomaron en cuenta aspectos económicos y de accesibilidad, pudiendo generar una relación más satisfactoria entre los usuarios.

Esto se comprueba a partir del análisis de la tecnología 4G en el país, donde "Claro" se posiciona como la mejor red de comunicación en la Zona Norte de Cartago, la velocidad de internet ronda entre los 20.5 y 30.0 Mbps. Siendo la opción seleccionada para la emisión de datos vía tarjeta sim en el prototipo 2, que se desarrollará más adelante. Dicha emisión de datos se realizó mediante mensaje de texto dada la facilidad con la que cuenta.

Los resultados de la calibración del sensor se visualizan en la figura 1 donde se muestra el gráfico con la ecuación de mejor ajuste, cuyo coeficiente de determinación es 0.95, representando buena variabilidad de los datos suministrados, dicha ecuación fue la utilizada para la emisión de datos y respectiva programación del sensor.

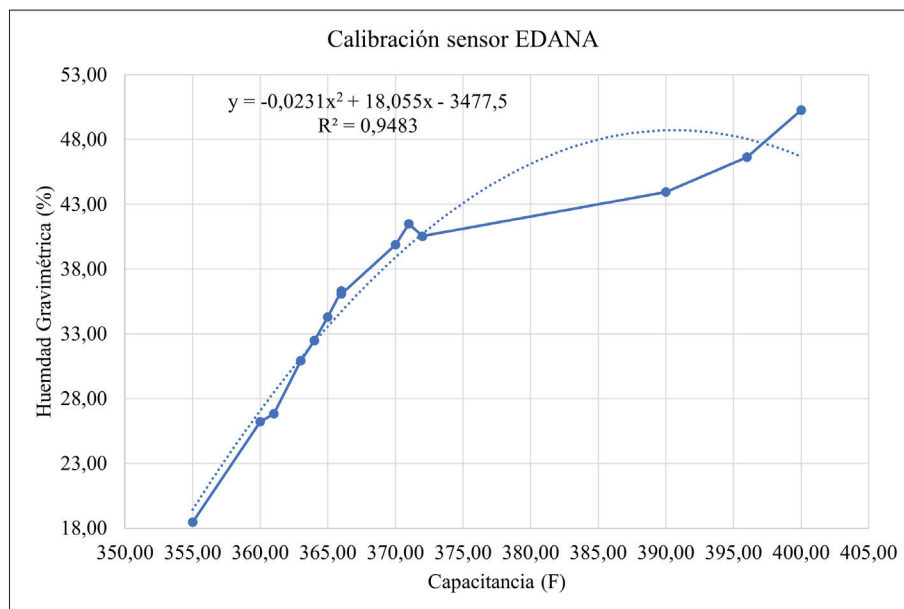


Fig. 1. Calibración del sensor de humedad.

La calibración del sensor de humedad se realizó con base a los resultados obtenidos a partir del muestreo en las macetas del invernadero de la Escuela de Ingeniería Agrícola, por lo que para poder brindar una funcionalidad adecuada del sensor en otros sectores se debe realizar una nueva calibración, dado que la relación de capacitancia y humedad gravimétrica del suelo varía con respecto a la textura.

Tras el análisis de datos y las pruebas de campo, se desarrollaron dos prototipos de comunicación de datos para establecer diferencias y analizar la conectividad correspondiente. El primer prototipo

consistió en la transmisión de datos a través de una placa Arduino ESP32 diseñada para el almacenamiento de variables provenientes de diversos tipos de sensores. Durante este proceso, se estableció el comportamiento del algoritmo correspondiente. Sin embargo, a pesar de las numerosas ventajas que ofrecen las plataformas IoT, estas no están completamente integradas en el entorno laboral, lo que genera un ambiente desfavorable para una herramienta que requiere conexión a internet.

En este sentido, se consideró utilizar la plataforma Blink para visualizar los datos en un visor web. Sin embargo, debido a que es una plataforma de pago y requiere un mayor conocimiento en habilidades de programación, se determinó que no era recomendable para esta actividad. En la figura 2 se muestra la visualización en la plataforma Blink.



Fig. 2. Visor de plataforma Blink.

Ante esto se tomó en consideración emitir los datos vía mensajería de texto, de modo tal que con solamente una tarjeta sim prepago marca Claro y la señal respectiva a la misma el sensor pudiera enviar las alertas correspondientes al usuario.

El segundo prototipo se realizó a partir de la instalación de una tarjeta con módulo GSM, la cual permite la comunicación con una tarjeta sim, a partir de esto se logró crear una herramienta de transmisión de datos que satisficiera la necesidad de los agricultores y cuya señal fuera constante en la mayor parte de las zonas productivas, a partir de esto se procedió a realizar la edición de los mensajes generados por la aplicación, que indican, según los valores de PMP y CC los momentos de riego, con 2 mensajes: "Activar el riego" o "Desactivar el Riego". Dichos valores de PMP y CC, fueron definidos con valores de 346 y 351, en unidades de capacitancia.

En la figura 3 se muestra el ejemplo de alerta emitida por el sensor, en un campo real de trabajo, este mecanismo de aviso es esencial, dado que el productor puede recibir de forma sencilla en su teléfono móvil una alerta para proceder con el riego y cuando se llega a la Capacidad de Campo se le alertará el productor que cierre las válvulas evitando un uso excesivo del recurso.

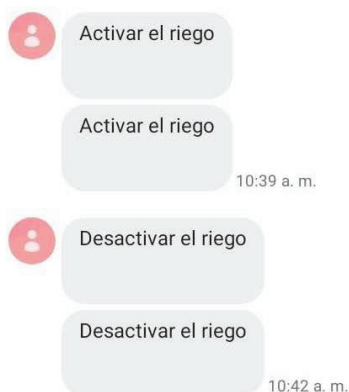


Fig. 3. Emisión de alerta de riego.

En la figura 4 se muestra el prototipo dos en el campo de trabajo.



Fig. 4. Sensor de Humedad "EDANA" operando en campo real de trabajo.

Así mismo, es importante considerar que el sensor cuenta con una carga sostenible mediante panel solar, lo que le permite un funcionamiento las 24 horas del día, por lo que el sensor debe encontrarse instalado en lugares con buena radiación solar, para asegurar el funcionamiento continuo.

Conclusiones

La emisión de datos de los sensores de humedad del suelo es esencial para cumplir con las necesidades hídricas del cultivo, además de permitir un ahorro del recurso hídrico. Esta emisión no solo requiere de análisis de programación, sino también de la consideración de las diferentes opciones en cuanto a la red a trabajar que para este caso se definió la red móvil Claro, que, además, presenta un menor costo de operación y servicio logrando una gran factibilidad en la operación del sensor y emisión de los datos suministrados.

Por otra parte, el proceso de calibración es esencial para una correcta ejecución de los resultados, por lo que, al realizar este tipo de procedimiento se debe velar por obtener una representatividad lo más cercana a 1, que garantice al cliente una operación acorde a sus necesidades. Así mismo, la emisión de los datos obtenidos es uno de los procesos de mayor relevancia, ya que es fundamental para el cumplimiento de las necesidades, siempre velando por el uso y aplicación de la agricultura 4.0. Finalmente, la operatividad del sensor por medio de una carga solar logra generar un producto sostenible con el ambiente.

Referencias

- [1] E. Sanchez, , Paola Ruiloba, Paola Ruiloba, , Luis Morales, Luis Morales, and E. Erick, "Calibración de sensor de humedad aplicado a sustrato de fibra de coco comercial comandado por programación en ARDUINO," *Revista de Iniciación Científica*, vol. 5, pp. 92–99, Nov. 2019, doi: 10.33412/rev-ric.v5.0.2392.
- [2] O. S. Velásquez Muñoz, "Desarrollo de un sensor de humedad de suelo para sistemas de riego automatizados," Trabajo de Graduación, Universidad Nacional Agraria, Managua, 2021. Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.una.edu.ni/4341/1/tnp33v434.pdf>
- [3] Superintendencia de Telecomunicaciones, "Mapas de Calidad SUTEL," Mapas de Calidad SUTEL. Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://mapas.sutel.go.cr/>
- [4] A. Ojeda Beltran, "Plataformas Tecnológicas en la Agricultura 4.0: una Mirada al Desarrollo en Colombia," *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, vol. 3, no. 1, pp. 9–18, Mar. 2022, doi: 10.17981/cesta.03.01.2022.02.
- [5] D. Aranda, A. Tapia, and P. Millan, "Calibración y caracterización de sensores capacitivos de bajo coste para la monitorización de humedad de suelo," in *XLIII Jornadas de Automática: libro de actas: 7, 8 y 9 de septiembre de 2022*, Logroño (La Rioja), Servicio de Publicaciones da UDC, 2022, pp. 479–485. doi: 10.17979/spudc.9788497498418.0479.

Sobre los autores

Ericka Picado Mora

Estudiante de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica, desempeñó el rol de coordinadora del proyecto estudiantil. <https://orcid.org/0009-0008-3160-863X>

David Araya Quesada

Estudiante de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Nayeli Ruiz Granados

Estudiante de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

James Sibaja Granados

Ingeniero Eléctrico del FabLab del Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), desempeño el rol de asesor del proyecto.

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.

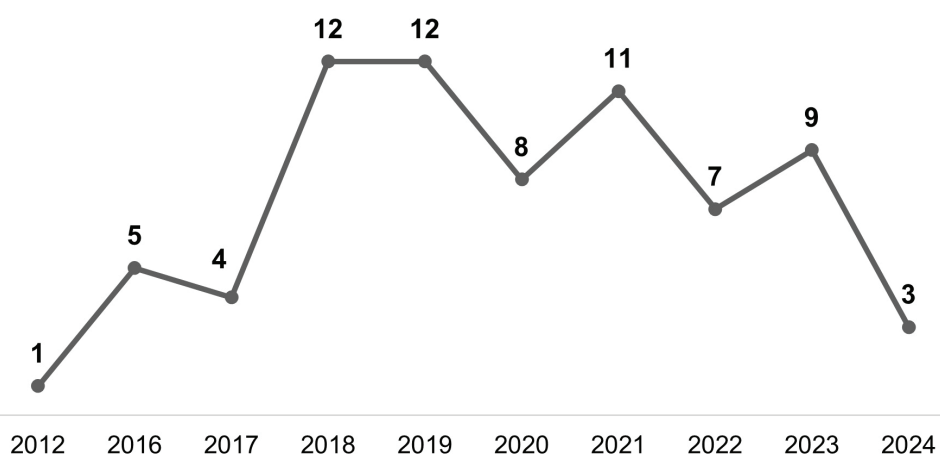


Figura 1. Publicaciones científicas; en revistas arbitradas; del Laboratorio de Reproducción Animal, AndroTEC, 2012-2024. Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), (2024).

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).

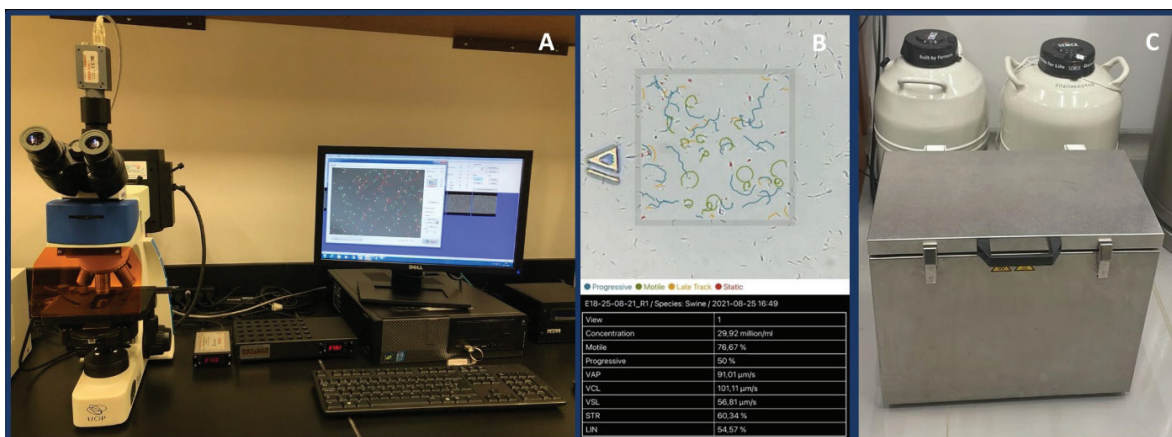


Figura 2. Sistemas de análisis y conservación seminal, A) Sistema computarizado de análisis seminal ISAS v₁[®]; B) Captura de campo de análisis en sistema *iSperm*[®] (sistema portátil), C) Biocongelador automático de semen (*MicroDigitcool*, *imv TECNOLOGIES*). Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal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

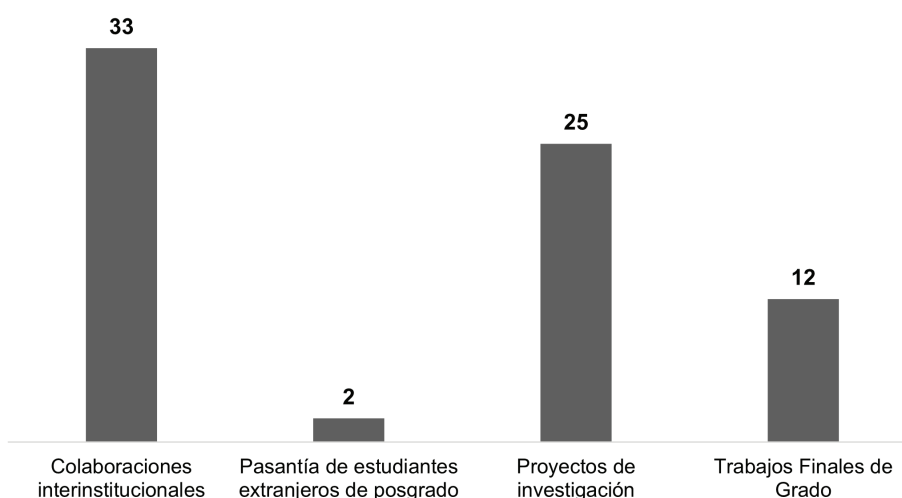


Figura 4. Cantidad de publicaciones científicas de acuerdo con las actividades académicas del Laboratorio de Reproducción Animal, AndroTEC, 2012-2024. Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), (2024).

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.

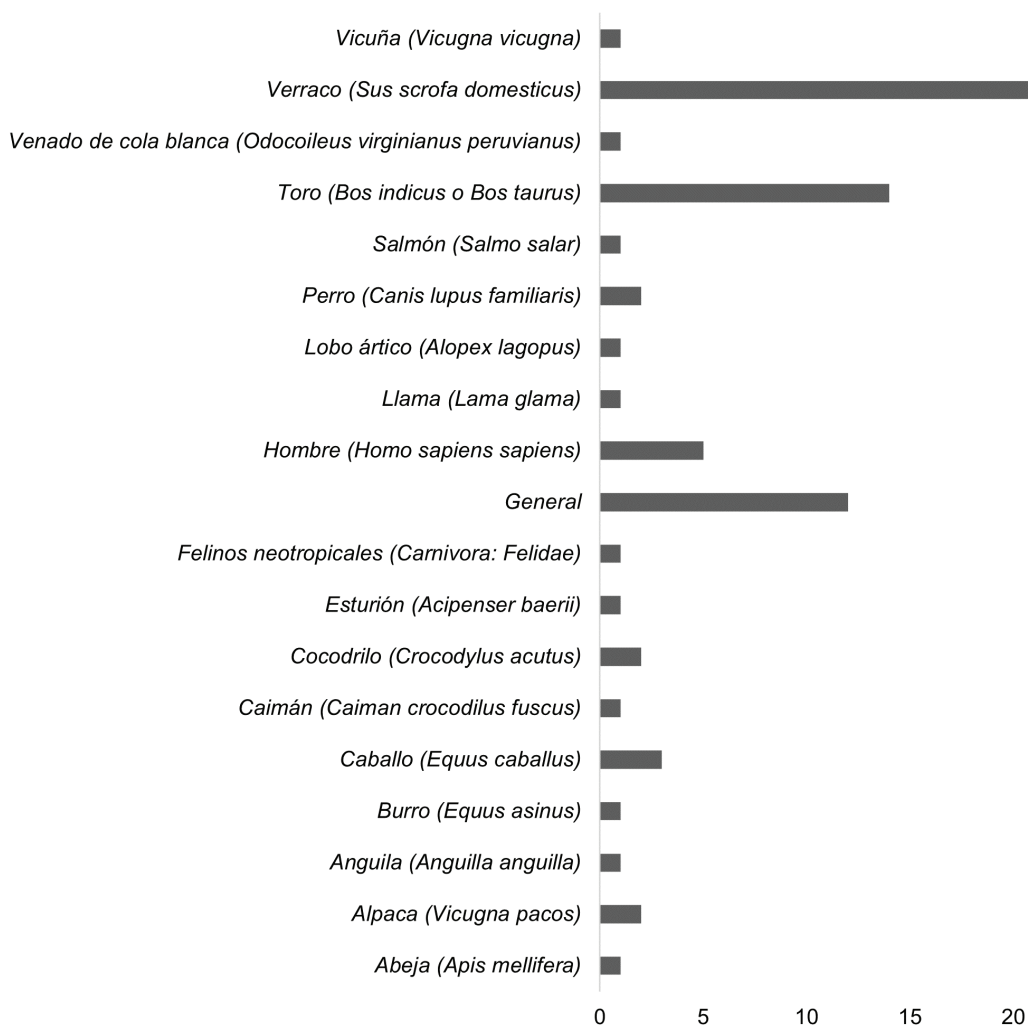


Figura 5. Cantidad de publicaciones científicas de acuerdo con las especies de estudio, AndroTEC, 2012-2024. Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), (2024).

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-raza 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).

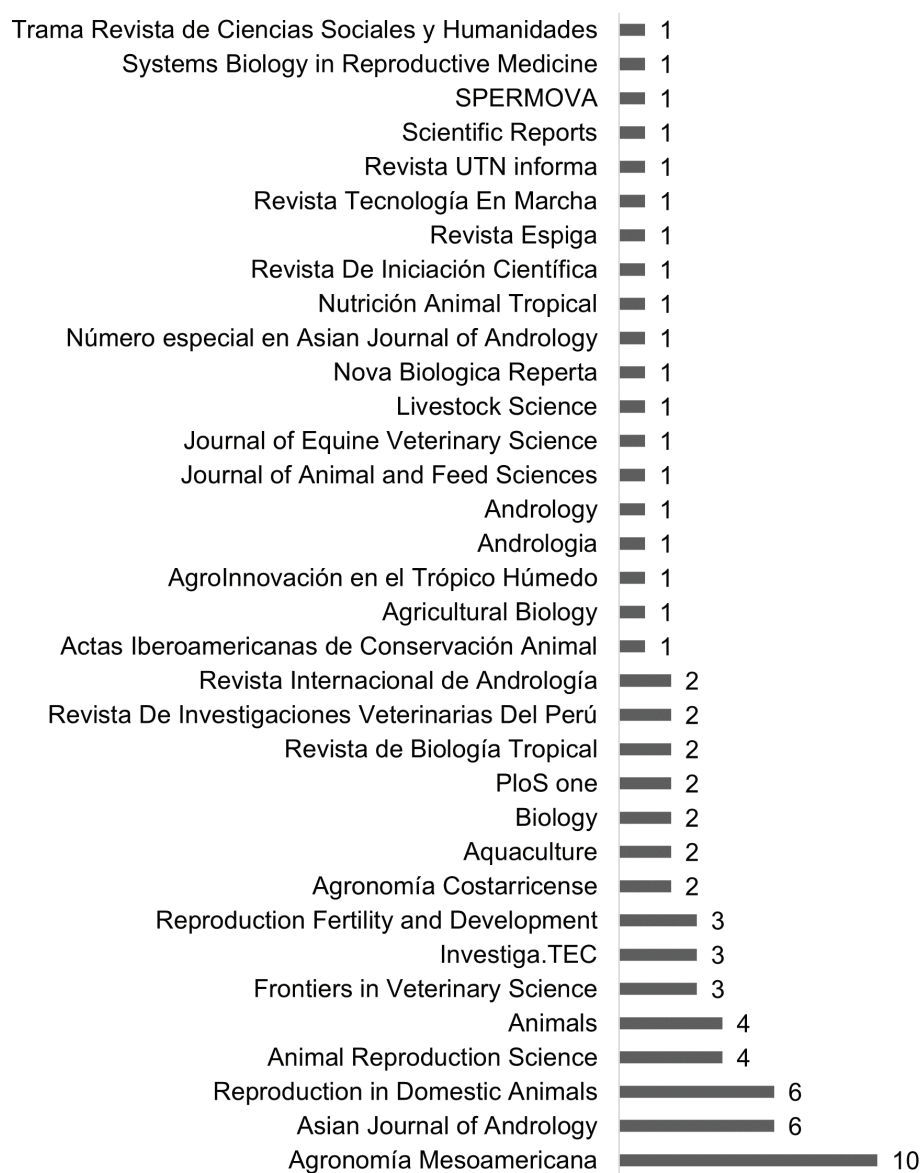


Figura 8. Revistas arbitradas utilizadas para las publicaciones científicas del Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), 2012-2024. Fuente: AndroTEC (2024)

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).

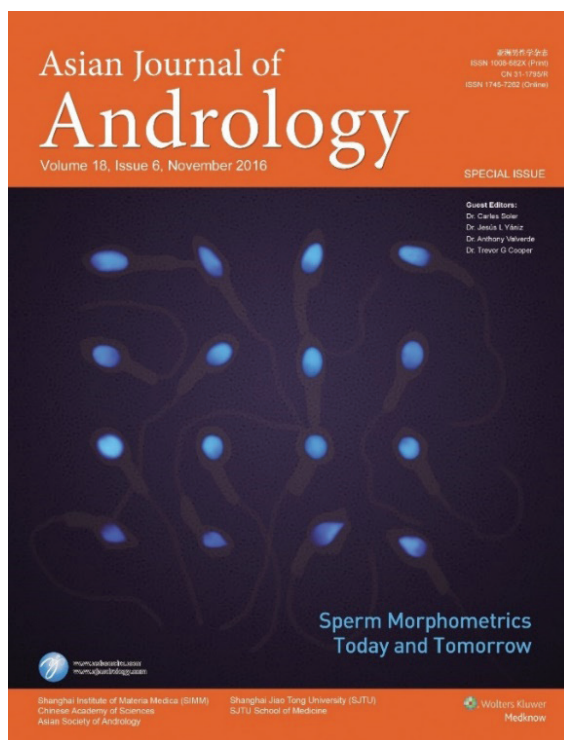


Figura 9. Aportes a la comunidad científica del equipo AndroTEC como resultado del trabajo colaborativo con grupos internacionales, *Asian Journal of Andrology*, Nov-Dec 2016 Vol. 18(6). Fuente: *Asian Journal of Andrology*, (2016).

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).

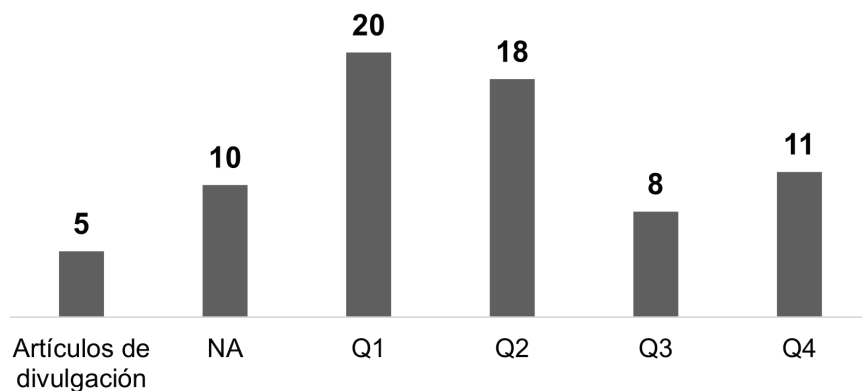


Figura 10. Publicaciones científicas de acuerdo con los cuartiles según SJR (*Scientific Journal Rankings*) de las revistas que se han utilizado para su socialización con la comunidad científica, AndroTEC, 2012-2024. Fuente: Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), (2024). Nota: NA, son aquellas 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.agry.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>

Ambiente y humanos coexistimos: una perspectiva inicial para el manejo de la contaminación ambiental con residuos de fármacos en Costa Rica

Aura Ledezma-Espinoza¹

Escuela de Química
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y
Microbiológicos (CEQIATEC),
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
✉ aledezma@itcr.ac.cr

Carlos Enrique Calleja Amador

Escuela de Química
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ ccalleja@itcr.ac.cr

¹Autor para correspondencia

Resumen

La contaminación con residuos de fármacos es un problema global que puede afectar la salud ambiental y pública. Sin embargo, todavía existen muchos vacíos en monitoreo, priorización de compuestos, determinación de efectos, legislación y control, especialmente en países con un menor desarrollo. En Costa Rica, los avances se han dirigido al monitoreo, resultando escasas las acciones integradas y sostenibles para estimar realmente el riesgo. La incidencia de enfermedades, consumo de medicamentos, calidad de las aguas de consumo y el tratamiento de las aguas residuales, son parámetros que pueden utilizarse para hacer una mejor estimación de este riesgo. Altos consumos de medicamentos se han registrado en la atención de enfermedades no transmisibles causantes del 81% de la mortalidad, y múltiples residuos de fármacos como sulfametoxazol, atenolol y carbamazepina se han reportado en aguas superficiales y residuales, incluso en niveles capaces de generar efectos adversos sobre especies acuáticas. El manejo de las aguas residuales mediante tanques sépticos o plantas de tratamiento primario se ha asociado como una razón de esta contaminación. Este artículo pretende explicar el contexto general de la problemática en Costa Rica, para valorar las oportunidades de prevención y mitigación, así como la necesidad de prepararse ante una eventual regulación nacional.

Palabras clave: Salud pública, fármacos, contaminantes emergentes, agua residual.

Desarrollo

¿Sabía usted que las enfermedades más comunes que padecen los costarricenses son las denominadas ENT? Estas siglas representan las enfermedades no transmisibles, enfermedades no contagiosas que suelen ser crónicas. Según datos del Ministerio de Salud en 2019 las ENT constituyeron el 81% de la mortalidad nacional, con una incidencia de 32% por enfermedades cardiovasculares, un 27% por cáncer, 7% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y un 5% por diabetes, con una mayor afectación sobre la comunidad masculina [1], [2]. Ante la preocupación, diversas iniciativas se han desarrollado para reducir su impacto. Como ejemplo, el Ministerio de Salud ha preparado la “Estrategia de Salud de Abordaje Integral de las Enfermedades No Transmisibles y Obesidad 2022-2030”, donde se proponen compromisos nacionales de múltiples actores para la atención de factores de riesgo de aparición, protección, condicionantes sociales y acciones para el manejo efectivo de las ENT, con el fin de mitigar sus efectos y reducir la mortalidad prematura en la población nacional [2], [3].

Las condiciones de salud y manejo de la contaminación con fármacos se relacionan con una serie de factores del individuo y del país en el que habita (Figura 1). En general se destacan, una adecuada salud física y mental, acceso al agua potable de calidad, servicios de saneamiento adecuados, condiciones climáticas y desarrollo económico [4], mientras que el envejecimiento de la población y el aumento en el acceso a sistemas para el cuidado de la salud se han relacionado con aumentos del consumo de medicamentos a nivel global [5].



Figura 1. Factores asociados a la salud pública y gestión de la contaminación con residuos de fármacos [5].

En Costa Rica, debido al acceso ampliado de medicamentos mediante la venta libre en establecimientos privados y su distribución en centros de salud públicos, se ha observado un aumento en el consumo de fármacos a través de los años. Según la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER), el mercado de medicamentos de venta libre alcanzó los 171 millones de dólares (USD) en 2021, incluyendo como principales categorías a los medicamentos distribuidos para la tos, el resfriado y las alergias (31%), analgésicos (30%) y para afecciones digestivas (22%) [6]. Por su parte en el sistema de salud pública, según datos de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), algunos de los medicamentos más consumidos en el año 2023 incluyeron la metformina para el tratamiento de la diabetes; el analgésico paracetamol; los anti-inflamatorios no esteroideos ibuprofeno y sulindaco; el fibrato gemfibrozilo utilizado en la regulación de lípidos; los anticonvulsivos gabapentina y carbamazepina; los antibióticos cefalexina y trimetoprima con sulfametoxazol; así como los fármacos irbesartán y atenolol; estos últimos utilizados en tratamientos relacionados con la presión arterial [7]. Llama la atención que, algunos de estos medicamentos han mostrado un incremento en su consumo. Para el año 2023, la

metformina de 500 mg en presentación de tableta, alcanzó una cantidad de 120 toneladas del fármaco activo [7], aumentando un 137% respecto de su consumo en el año 2015 [8]. En la Figura 2, se presentan algunos de los fármacos más consumidos en el 2023 a nivel nacional según la CCSS.

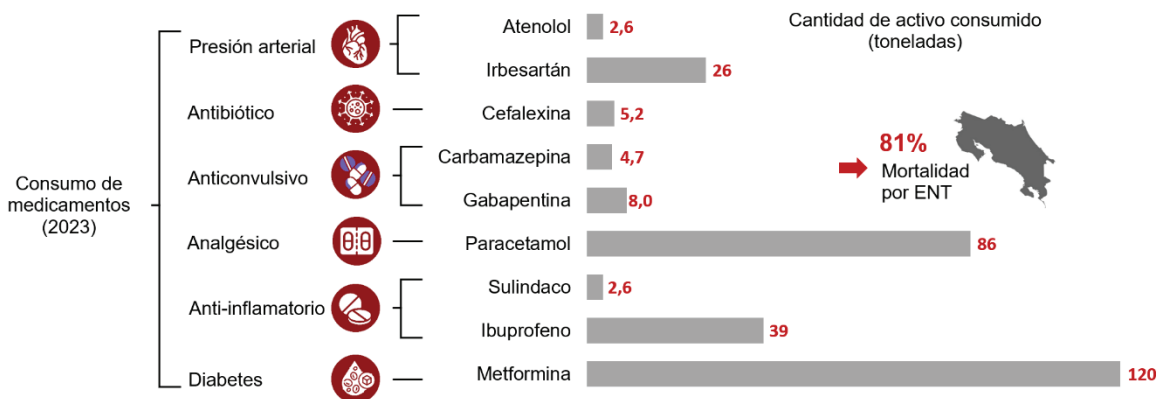


Figura 2. Medicamentos de mayor consumo reportados por CCSS en 2023 [7].

Tanto los datos de la CCSS como los de PROCOMER muestran una alta prescripción para las ENT. Esta situación implica un costo para los pacientes que podrían estar expuestos a los efectos secundarios de esos medicamentos; un costo financiero para el sistema de salud pública, pues obliga a la CCSS a adquirir cantidades crecientes de medicamentos para atender padecimientos que podrían ser prevenibles, y a su vez, un costo ambiental, cuya dimensión apenas empieza a ser comprendida en nuestro país sobre los ecosistemas expuestos.

¿Se ha detenido usted a pensar qué sucede con los fármacos una vez que fueron consumidos por el paciente? Una vez que una persona consume un medicamento, su cuerpo lo metaboliza y finalmente lo excreta, con su posterior disposición a los sistemas de tratamiento de aguas residuales; en este proceso, los fármacos pueden ser expulsados en su forma de activo original, o como metabolitos, y ambos a su vez, pueden experimentar transformaciones debido a procesos biológicos y químicos cuando se exponen al ambiente [9]. Los residuos de fármacos en el ambiente se han catalogado como contaminantes emergentes, esto es, compuestos sintéticos o de origen natural capaces de pasar inadvertidos por su falta de monitoreo y regulación, que cuentan con una amplia distribución alrededor del mundo en concentraciones de microgramos a nanogramos por litro ($\mu\text{g/L}$ a ng/L), y que tienen el potencial de causar efectos adversos al ambiente y a la salud humana [10], [11]. Dentro de los efectos más reconocidos están la resistencia a los antimicrobianos y la disrupción endocrina [12], [13]. En la Figura 3 se muestran las potenciales rutas de exposición y posibles impactos que estos residuos tienen sobre los ecosistemas acuáticos.

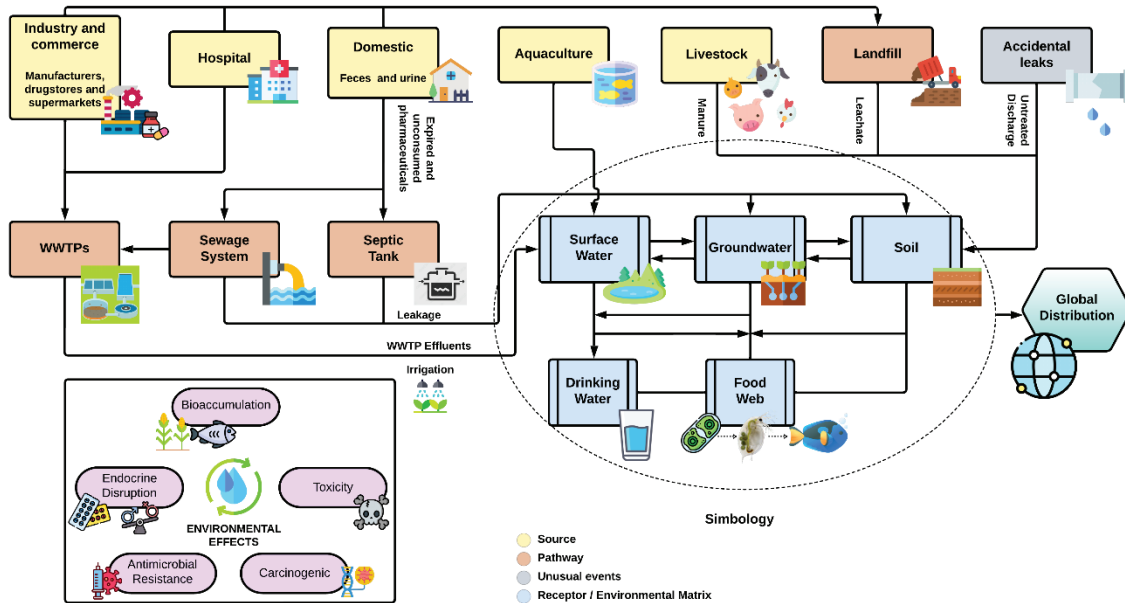


Figura 3. Potenciales rutas de exposición e impactos de los residuos de medicamentos en los ecosistemas acuáticos (elaboración propia).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales no están usualmente diseñadas para eliminar completamente los residuos de fármacos [14], normalmente, estas incluyen procesos físicos, químicos y biológicos que trabajan en la remoción de sólidos gruesos y compuestos biodegradables [15], por lo que para eliminar sustancias complejas como los fármacos se han desarrollado metodologías híbridas con procesos biológicos y procesos avanzados como la adsorción con carbón activado, utilizando ozono (ozonólisis), y otras reacciones químicas más complejas como la fotocatalisis y reacciones Fenton [16]. Aun cuando estos sistemas pueden mejorar significativamente la remoción, implican una importante inversión inicial, de operación y mantenimiento, por lo que pueden darse limitaciones en su implementación, especialmente en países con recursos limitados [17].

Según lo expuesto, las medidas de prevención, y la adecuada disposición y tratamiento de aguas residuales son fundamentales para reducir el impacto de los residuos de fármacos en el ambiente; sin embargo, en la mayoría de los casos, este no es el escenario real. En Costa Rica, la mayoría de la población carece de servicios básicos de saneamiento, y muchas de las aguas residuales se vierten en ríos o en el mar sin tratamientos que cumplan con la reglamentación técnica [18]. Según reportes del Estado de la Nación [1], a nivel nacional la cobertura de alcantarillado sanitario conectado a plantas de tratamiento de agua residual apenas pasó del 15,5% en 2021 al 17,6% en 2022, mientras que un 75% del agua residual generada sigue siendo tratada con tanques sépticos, un 1,4% de los hogares utiliza letrinas, y un mínimo del 0,3% opta por la evacuación de desechos a cielo abierto.

Ante lo anterior, en Costa Rica, se han hecho esfuerzos para evidenciar la presencia de residuos de fármacos en diferentes matrices acuáticas. Por ejemplo, en el 2011 se reportó por primera vez la presencia de doxiciclina, carbamazepina, triclosán y cafeína en áreas costeras y urbanas del país [19]. En aguas residuales de Puntarenas y Guanacaste se comprobó la presencia de cocaína, cannabis, atenolol, naproxeno y sulfametoxazol [20]. Asimismo, se han reportado fármacos como atenolol (3610 ng/L), levofloxacina (1020 ng/L) y carbamazepina (2290 ng/L) en aguas residuales del Gran Área Metropolitana, así como sulfametoxazol (hasta 400 ng/L) en muestras de agua del río Virilla; algunos incluso en concentraciones que suponen un riesgo para organismos acuáticos, tal como se ha indicado con los antibióticos sulfametoxazol y levofloxacina [5].

A nivel internacional, la regulación asociada a la presencia de residuos de fármacos en el ambiente es escasa, especialmente porque los estándares deben ser adaptados al contexto de crecimiento urbano exponencial, a la disponibilidad de recursos económicos, capacidad técnica (equipos y recurso humano) y a la voluntad pública y política [17]. En Costa Rica la situación reglamentaria no difiere mucho, pues por ejemplo, la Reglamentación para Aguas Residuales N33601 [L1], así como para Aguas Potables N38924-S [L2], actualmente no involucran parámetros asociados con residuos de fármacos, además de que hay un rezago en la revisión de los niveles permitidos de muchas sustancias que sí están reguladas.

La gestión de la contaminación por residuos de fármacos necesita una estrategia holística que priorice medidas preventivas. Se sugiere adoptar diferentes enfoques para mejorar la gestión, entre ellos, el enfoque técnico centrado en utilizar tecnologías para el tratamiento y monitoreo rutinario; el enfoque colaborativo para la cooperación entre entes como la academia, sector privado, autoridades de salud y comunidad; y el enfoque regulatorio que involucra políticas públicas y medidas generadas por las autoridades como límites de emisión mandatorios, condiciones técnicas mínimas de tratamiento, campañas de información, apoyo a la investigación y responsabilidad dentro de la cadena de valor [5], [21]. En la Figura 4, se muestran algunas acciones a nivel técnico para la atención de la problemática.

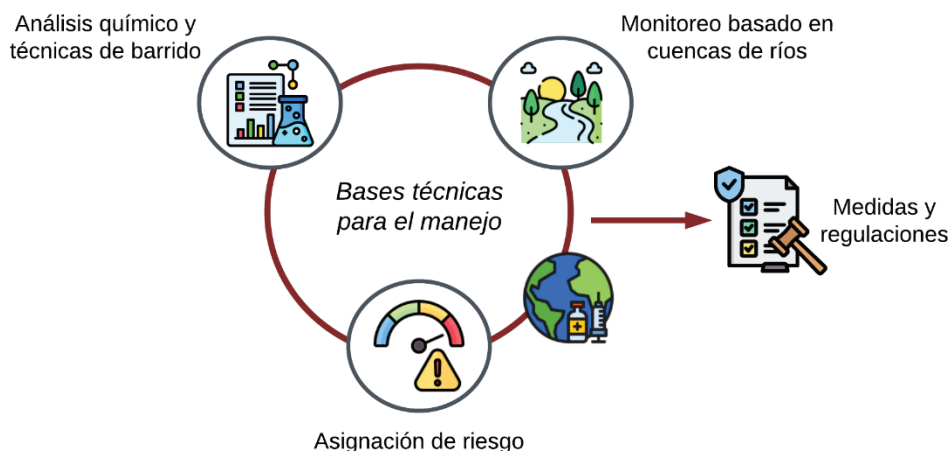


Figura 4. Estrategia técnica para el manejo de la contaminación de residuos con fármacos. Basado en Geissen *et al.* [22].

Medidas dirigidas a la prevención y reducción en el uso de fármacos pueden ser promovidas por especialistas en salud y programas educativos, entre ellas, mejorar las condiciones higiénicas en instalaciones de salud y granjas, priorizar dosis terapéuticas reducidas evitando prescripciones cuestionables, promover programas de salud preventiva y capacitación de profesionales, fomentar sistemas de devolución, incentivar el rediseño de medicamentos respetuosos con el ambiente y promover la instalación de procesos avanzados para eliminar los residuos de fármacos de las aguas residuales [23]. Por su parte, la comunidad puede contribuir apegándose a la prescripción de los medicamentos, devolviendo los medicamentos no utilizados o caducados en los puntos de recogida adecuados, no consumiendo posibles medicamentos falsificados, evitando la disposición de los residuos de medicamentos en el inodoro o el fregadero y participando de campañas educativas, y prácticas saludables como una buena nutrición y ejercicio físico [17].

En este contexto, es importante reconocer el papel de algunas instituciones en el país para generar iniciativas en el manejo de la contaminación con residuos de fármacos. Por ejemplo, la CCSS ha realizado campañas de recolección masiva para que los ciudadanos lleven sus medicamentos vencidos, no utilizados o en mal estado, y así brindarles una correcta disposición final, lo mismo han hecho varias universidades públicas y privadas. Algunos hospitales forman parte de esfuerzos colaborativos a nivel internacional como la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables, que promueve programas integrales de residuos de fármacos, y el uso optimizado de antibióticos [24], [25]. Específicamente,

el Instituto Tecnológico de Costa Rica mediante la Escuela de Química y el Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) con el apoyo de la Fundación Tecnológica de Costa Rica (FUNDATEC), han colaborado con el Ministerio de Salud, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la CCSS, en diferentes capacitaciones técnicas a su personal para informar sobre la problemática y medidas de manejo; mientras que en conjunto con la CCSS, se han desarrollado proyectos de evaluación de sistemas de tratamiento avanzados en escala piloto y escala real para la remoción de residuos de fármacos en plantas de tratamiento de aguas residuales de los Hospitales San Vicente de Paúl en Heredia y San Rafael de Alajuela.

Estas acciones encuentran arraigo en la Ley para la Gestión Integral de Residuos (LGIR 8839) [L3], con el Decreto N36039-S del Reglamento para la disposición final de medicamentos, materias primas y sus residuos [L4] y en la creación de la Secretaría Técnica de Coordinación para la Gestión de Sustancias Químicas [L5]. Adicionalmente, con el apoyo técnico de Colegios Profesionales como el de Químicos y el de Farmacéuticos para temas de información y consulta legal y técnica. Finalmente, es importante recordar que el artículo 50 de la Constitución Política establece nuestro derecho a gozar de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, y que, dentro de la institucionalidad, la Ley General de la Administración Pública N6227 [L6], establece en el artículo 16 que “En ningún caso podrán dictarse actos contrarios a reglas unívocas de la ciencia o de la técnica, o a principios elementales de justicia, lógica o conveniencia.” Esta descripción demuestra que los argumentos científicos justifican la preocupación por el impacto de los residuos de fármacos, así como los mecanismos legales suficientes para respaldar acciones preventivas y correctivas que protejan la salud y ambiente costarricense.

Conclusión

Es fundamental la concienciación en el país sobre la contaminación ambiental con residuos de fármacos para tomar medidas preventivas y de mitigación que reduzcan su impacto. La gestión adecuada de residuos de fármacos debe basarse en un proceso iterativo respaldado por datos técnicos y económicos reales, en donde autoridades de salud, saneamiento, educación, sector privado, colegios profesionales, y múltiples grupos académicos deben consultarse para generar medidas alcanzables y sostenibles, así como instrumentos legales razonables que garanticen un mayor nivel de protección de los ecosistemas acuáticos y de la salud pública de nuestro país.

Agradecimientos

Gracias al Proyecto de Investigación “Evaluación de la presencia, distribución, degradación y significancia ecotoxicológica de productos farmacéuticos considerados como contaminantes emergentes de alta incidencia en aguas superficiales de la zona urbana de Costa Rica (Fase 2). COES”, inscrito en la Vicerrectoría de Investigación y Extensión. A los asistentes estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Química: Verónica Paniagua Caligaris, Andrea Fernández Arias y Enzo Villalobos Barrantes, por su gran apoyo en la elaboración de esta publicación.

Bibliografía

- [1] CONARE, “Informe de Estado de la Nación. Equidad e integración social.” 2022. [Online]. Available: <https://estadonacion.or.cr/?informes=informe-estado-de-la-nacion-2022>
- [2] Ministerio de Salud, “Estrategia Nacional de Abordaje Integral de las Enfermedades No Transmisibles y Obesidad 2022-2030,” 2022. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/material-informativo/material-publicado/estrategias-en-salud/6091-resumen-estrategia-nacional-de-a>

- [3] AyA, "Política de Organización y Fortalecimiento de la Gestión Comunitaria de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento," 2015. [Online]. Available: <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/AyA Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica 2017-2030.pdf>
- [4] P. Pérez-Martínez, R. Gómez-Huelgas, and F. Pérez-Jiménez, "Is the Planetary Health Diet the solution for mitigating noncommunicable diseases?," *Rev. Clínica Española (English Ed.)*, vol. 220, no. 9, pp. 573–575, 2020, doi: 10.1016/j.rceng.2019.12.001.
- [5] A. Ledezma-Espinoza, "Evaluation of the occurrence, degradation, and ecotoxicological significance of pharmaceuticals as emerging contaminants of concern in wastewaters and surface waters of the urban area in Costa Rica," 2023. [Online]. Available: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14610>
- [6] M. Alpízar, "Caracterización de la Industria de Medicamentos de Libre Venta en Costa Rica," 2022. [Online]. Available: <https://sistemas.procomer.go.cr/DocsSEM/1BF575CF-83EA-4B68-A1F6-94D4C0FDCAC7.pdf>
- [7] CCSS, "Informe de Consumos de Fármacos 2024. Memorando ARSDT-CNSF-0140-2024," 2024.
- [8] CCSS, "Informe de Consumo de Fármacos 2015. Memorando CNSF-190-06-15," 2016.
- [9] K. Fent, A. A. Weston, and D. Caminada, "Ecotoxicology of human pharmaceuticals," *Aquat. Toxicol.*, vol. 76, no. 2, pp. 122–159, 2006, doi: 10.1016/j.aquatox.2005.09.009.
- [10] M. Patel, R. Kumar, K. Kishor, T. Mlsna, C. U. Pittman, and D. Mohan, "Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: Chemistry, occurrence, effects, and removal methods," *Chem. Rev.*, vol. 119, no. 6, pp. 3510–3673, 2019, doi: 10.1021/acs.chemrev.8b00299.
- [11] X. Tong *et al.*, "Source, fate, transport and modelling of selected emerging contaminants in the aquatic environment: Current status and future perspectives," *Water Res.*, vol. 217, no. April, p. 118418, 2022, doi: 10.1016/j.watres.2022.118418.
- [12] A. Gogoi, P. Mazumder, V. K. Tyagi, G. G. Tushara Chaminda, A. K. An, and M. Kumar, "Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review," *Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 6, no. December 2017, pp. 169–180, 2018, doi: 10.1016/j.gsd.2017.12.009.
- [13] D. Montes-Grajales, M. Fennix-Agudelo, and W. Miranda-Castro, "Occurrence of personal care products as emerging chemicals of concern in water resources: A review," *Sci. Total Environ.*, vol. 595, pp. 601–614, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.286.
- [14] M. Janet Gil, A. María Soto, J. Iván Usma, and O. Darío Gutiérrez, "Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments Contaminantes emergentes em águas, efeitos e possíveis tratamentos," vol. 7, no. 2, pp. 52–73, 2012, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- [15] O. M. Rodriguez-Narvaez, J. M. Peralta-Hernandez, A. Goonetilleke, and E. R. Bandala, "Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review," *Chem. Eng. J.*, vol. 323, pp. 361–380, 2017, doi: 10.1016/j.cej.2017.04.106.
- [16] K. Nava-Andrade, G. G. Carbajal-Arízaga, S. Obregón, and V. Rodríguez-González, "Layered double hydroxides and related hybrid materials for removal of pharmaceutical pollutants from water," *J. Environ. Manage.*, vol. 288, no. January, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112399.
- [17] D. da S. Barcellos, M. Procopiuck, and H. A. Bollmann, "Management of pharmaceutical micropollutants discharged in urban waters: 30 years of systematic review looking at opportunities for developing countries," *Sci. Total Environ.*, vol. 809, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151128.
- [18] INEC, "Población y Ambiente," 2022. [Online]. Available: <https://admin.inec.cr/sites/default/files/2022-12/anAmbientINEC2022-01.pdf>
- [19] A. L. Spongberg *et al.*, "Reconnaissance of selected PPCP compounds in Costa Rican surface waters," *Water Res.*, vol. 45, no. 20, pp. 6709–6717, 2011, doi: 10.1016/j.watres.2011.10.004.

- [20] A. Causanilles, C. Ruepert, M. Ibáñez, E. Emke, F. Hernández, and P. de Voogt, "Occurrence and fate of illicit drugs and pharmaceuticals in wastewater from two wastewater treatment plants in Costa Rica," *Sci. Total Environ.*, vol. 599–600, pp. 98–107, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.202.
- [21] S. M. Foen and M. Beer, "Implementation of the Protocol on Water and Health in Switzerland," 2010, [Online]. Available: <https://unece.org/environment-policy/water/areas-work-protocol/documents-summary-reports-1streporting>
- [22] V. Geissen *et al.*, "Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management," *Int. Soil Water Conserv. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 57–65, 2015, doi: 10.1016/j.iswcr.2015.03.002.
- [23] S. Klatté, H. Schaefer, and M. Hempel, "Pharmaceuticals in the environment – A short review on options to minimize the exposure of humans, animals and ecosystems," *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 5, pp. 61–66, 2017, doi: 10.1016/j.scp.2016.07.001.
- [24] SHPA, "Pharmacy Forecast Australia 2022," 2022. [Online]. Available: <https://shpa.org.au/publicassets/e2fda00d-6e01-ed11-9106-00505696223b/Pharmacy-Forecast-Australia-2022-Executive-Summary.pdf>
- [25] S. Carino, R. Sapsford, and F. Armstrong, "Pharmacy forecast Australia 2022: partner perspective – Climate and Health Alliance," *J. Pharm. Pract. Res.*, pp. 10–11, 2022, doi: 10.1002/jppr.1848.

Anexo de Normativa Nacional

- [L1] Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N33601
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=59524
- [L2] Reglamento para la calidad del Agua Potable N38924-S
https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=80047
- [L3] Ley para la Gestión Integral de Residuos N8839
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=68300
- [L4] Reglamento para la disposición final de medicamentos, materias primas, y sus residuos N36039-S
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68197&nValor3=81183&strTipM=TC
- [L5] Decreto 33104-RE-MAG-MINAE-S
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=83457&nValor3=107181&nValor5=3
- [L6] Ley General de la Administración Pública N6227
https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=13231

Sobre los autores

Aura Ledezma-Espinoza

Doctora en Ciencias Naturales para el Desarrollo, con una especialidad en contaminantes emergentes tipo fármaco. Labora para la Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. ORCID: 0000-0003-0137-4306.

Carlos Enrique Calleja-Amador

Licenciado en Química, cuenta con una maestría en Química Analítica y una maestría en Administración Educativa. Labora para la Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. ORCID: 0009-0002-2238-0561.

Investigación interdisciplinaria sobre la arquitectura vernácula de Puntarenas

Kenia García-Baltodano

Escuela de Arquitectura y Urbanismo
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ kgarcia@itcr.ac.cr

Dawa Méndez-Álvarez

Escuela de Ingeniería Forestal
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ damendez@itcr.ac.cr

Resumen

La arquitectura vernácula está arraigada en la cultura, surgida sin la intervención profesional y basada en técnicas tradicionales transmitidas informalmente. En Costa Rica, este patrimonio ha sido poco explorado, lo que amenaza su conservación. El proyecto "Caracterización de la arquitectura vernácula en madera de la ciudad de Puntarenas a partir de una perspectiva interdisciplinaria" liderado por el Tecnológico de Costa Rica busca comprender y preservar este legado. Involucra a investigadores y estudiantes de Arquitectura y Urbanismo, Ingeniería Forestal y Biología, permitiendo un análisis integral. Se centra en el distrito central de Puntarenas, ciudad histórica marcada por su relación con el mar y el turismo. A través de revisión bibliográfica, análisis de fotografías y talleres participativos, se han identificado 172 edificaciones de madera. Estas fueron clasificadas y se seleccionaron 75 inmuebles para un inventario detallado. Se elaboraron planos arquitectónicos, identificando especies de madera predominantes (cedro y pochote) y se realizaron estudios patológicos para detectar daños biológicos. El proyecto busca documentar y valorar la arquitectura vernácula, generando conciencia sobre su importancia cultural y promoviendo su conservación a través de la investigación y la colaboración comunitaria.

Palabras Clave: Costa Rica, patrimonio arquitectónico, madera, xilología, patología de la construcción

Introducción

La arquitectura vernácula es aquella que surge como una respuesta a las necesidades espaciales de una población, en la cual no media la participación de un profesional; su desarrollo se debe al conocimiento de técnicas tradicionales por parte de miembros de la comunidad, que son transmitidas de manera informal. Se trata de un tipo de arquitectura nacida como una construcción instintiva, pragmática y sustentable [1], que busca dar soluciones a requerimientos funcionales, sociales y ambientales [2], utilizando en la mayoría de los casos materiales locales.

La Carta del Patrimonio Vernáculo de 1999 plantea la existencia de una estrecha relación entre la arquitectura vernácula y el territorio, debido a la oportuna adaptación de las edificaciones a su entorno; esto hace que exista un reconocible carácter local o regional ligado a los inmuebles y conjuntos arquitectónicos. Normalmente este tipo de arquitectura se encuentra inserta en los pueblos y ciudades y convive con diversas capas históricas, con lo cual forman parte del paisaje urbano histórico [3].

En Costa Rica, si bien se pueden identificar diversas manifestaciones de arquitectura vernácula como, por ejemplo, las edificaciones de arquitectura caribeña en Limón o los inmuebles de adobe en Santo Domingo de Heredia o Liberia, este ha sido un tema poco abordado, siendo reciente la investigación en profundidad al respecto. El poco conocimiento de este tipo de arquitectura y por ende los escasos procesos de difusión, protección y puesta en valor, ponen en riesgo a las edificaciones que aún se conservan en las distintas localidades.

Este artículo pretende mostrar los esfuerzos de investigación interdisciplinar que se realizan desde el Tecnológico de Costa Rica para caracterizar la arquitectura vernácula de madera de la ciudad de Puntarenas. Este objeto de estudio obedece al interés de identificar y dar conocer un recurso amplio y valioso para esta comunidad el cual, a pesar de mantener un número considerable de edificaciones en uso, empieza a presentar indicios de riesgo en su conservación.

El proyecto “Caracterización de la arquitectura vernácula en madera de la ciudad de Puntarenas a partir de una perspectiva interdisciplinar”

Este proyecto involucra a investigadores y estudiantes asistentes de tres escuelas del TEC: Arquitectura y Urbanismo, Ingeniería Forestal y Biología. Esto ha permitido el abordaje del objeto de estudio desde una perspectiva arquitectónica, xilológica y patológica, lo cual da oportunidad de conocer la composición espacial, funcional y formal de los inmuebles, los tipos de madera que se utilizaron en su construcción, así como las lesiones más recurrentes que presentan las edificaciones y los agentes de biodeterioro que los producen.

El proyecto se desarrolla en el distrito central de Puntarenas, abarcando un total de 93 manzanas ubicadas en la flecha litoral. La ciudad de Puntarenas es un sitio cargado de cultura e historia, cuya consolidación durante el siglo XX se debió a su importancia como puerto y posteriormente a la actividad turística, que la caracteriza hasta la fecha.

El paisaje urbano histórico de la ciudad de Puntarenas está claramente marcado por su relación con el mar y las actividades que esta genera. Asimismo, destaca la presencia de patrimonio arquitectónico y un tejido urbano con capas históricas heterogéneas, donde sobresalen edificaciones de madera que presentan características formales similares y que se han identificado como arquitectura vernácula por el proyecto.

El proceso de identificación de la arquitectura vernácula de Puntarenas que se reseña en García-Baltodano y Porras-Alfaro [4], inició con el análisis sobre el conocimiento previo mediante revisión bibliográfica. No obstante, se encontraron muy pocas fuentes secundarias que trataran el tema, evidenciando un vacío de conocimiento que es importante solventar.

Mediante la consulta de fotografías antiguas y actuales, además, de la revisión de los archivos históricos se elaboró un perfil básico con características arquitectónicas preliminares. Con este perfil se elaboraron dibujos que se presentaron en un taller con la comunidad, con esta actividad el equipo de

investigación se dio a conocer entre algunos propietarios de inmuebles, se logró realizar un recorrido urbano y se ingresó a ciertas edificaciones, generando un ambiente de confianza entre el TEC y los propietarios.

Con el perfil de características y la información facilitada por miembros de la comunidad, se logró identificar 172 edificaciones con madera como material principal y se elaboró una base de datos, la cual se revisó y se realizó una comparativa de las imágenes tomadas en campo, para generar un perfil de características arquitectónicas actualizado. Según este perfil los inmuebles se clasificaron con base en el grado de intervención en tres categorías: sin transformar, poco transformado y muy transformado. Asimismo, se logró identificar algunos inmuebles que no corresponden con el nuevo perfil, debido a que presentaban muy poca legibilidad de sus características (37%). Las edificaciones clasificadas como sin transformar y poco transformadas se seleccionaron para realizar un inventario (75 inmuebles), elaborado a partir de fichas de registro para cada inmueble y la geolocalización de estos [4].

Con los inmuebles clasificados como sin transformar se realizó una categorización de tipologías arquitectónicas tomando en cuenta la coincidencia de características identificadas. Se determinaron 10 tipologías: vivienda pareada baja, vivienda aislada con tapichel frontal, vivienda aislada baja, vivienda esquinera con ochava, comercio esquinero con ochava, vivienda aislada con corredor, institucional, vivienda aislada alta, vivienda adosada alta y vivienda adosada baja [4].

A partir de estas tipologías se seleccionaron 10 inmuebles tratando de tener la mayor representatividad para continuar con el análisis arquitectónico, patológico y xilológico (figura 1).



Figura 1. Inmuebles seleccionados para el análisis arquitectónico, patológico y xilológico: MM-2 (vivienda aislada baja), AAA-2 (vivienda esquinera con ochava), VVV-2 (vivienda aislada alta), GGGG-1 (vivienda adosada alta), O-1 (Institucional), MM-3 (vivienda aislada baja), II-1 (vivienda aislada con corredor), V-3 (vivienda aislada con tapichel), SS-1 (vivienda aislada con corredor) y MMM-1 (vivienda adosada alta). Fuente: propia

Posteriormente se procedió a realizar el levantamiento arquitectónico tomando las medidas y características necesarias para elaborar planos arquitectónicos a nivel de planta y sus fachadas. Asimismo, se realizó la identificación taxonómica de la madera presente en cada inmueble seleccionado por medio de observaciones macroscópicas de las estructuras de la madera, así como el tamaño de la pieza e información del propietario. Se encontró que todos los inmuebles tienen dos especies de madera en común *Cedrela odorata* (cedro) y *Pochota fendleri* (pochote).

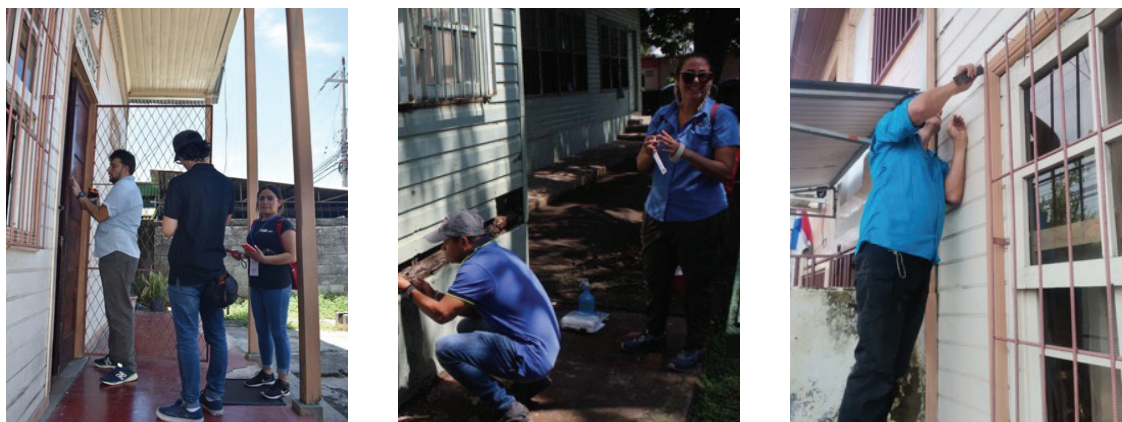


Figura 2. Trabajo de campo para levantamientos arquitectónicos, toma de muestras sobre lesiones biológicas e identificación taxonómica de la madera. Fuente: propia

Asimismo, se realizó un recorrido por los inmuebles con la finalidad de detectar daños de tipo físico, mecánico o químico según Broto [5]. Donde se localizó un daño causado por algún agente biológico se tomó una pequeña muestra de 0,1 a 1 g raspando con un bisturí estéril. Cada muestra se almacenó en el Laboratorio de Patología Forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal y en el Laboratorio de Biocontrol de la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica a -20°C hasta su posterior uso. Para el aislamiento se realizó una desinfección superficial de las muestras con hipoclorito de sodio al 1% i.a. y alcohol de 95° , cada muestra se subdividió en tres secciones y se colocó cada una en un medio de cultivo diferente (agar papa dextrosa, agar agua y agar carboximetilcelulosa), las muestras se incubaron a 28°C en oscuridad durante 8 días. Posteriormente se realizaron observaciones macroscópicas y microscópicas de los hongos aislados para su correcta identificación. Se está en espera de los principales resultados de los análisis biológicos, que permitan posteriormente analizar la relación con respecto a los estudios arquitectónicos y xilógicos realizados.

Reflexiones

Si bien este proyecto aún continúa en proceso, el ejercicio de trabajo interdisciplinar ha permitido una comprensión más completa de las edificaciones y de la vinculación de la arquitectura vernácula con el paisaje urbano de Puntarenas. Adicionalmente, ha permitido comprender la relación entre la materialidad, los componentes arquitectónicos y las lesiones presentes, dando mayor integralidad en la comprensión del estado de conservación tanto a nivel puntual de los inmuebles como con respecto al conjunto.

La falta de investigación previa sobre la arquitectura vernácula en Costa Rica resalta los desafíos en su conservación. La escasez de conocimiento puede llevar a la pérdida irreparable de estos inmuebles, destacando la necesidad de acciones para su protección y valoración.

La colaboración con la comunidad local es esencial para el éxito del proyecto. Los talleres participativos no solo permitieron recopilar información invaluable, sino que también fomentan un sentido de pertenencia y responsabilidad hacia el patrimonio arquitectónico. Esto puede dar lugar a nuevos proyectos donde se busque unir esfuerzos con la comunidad para la conservación y puesta en valor de este tipo de arquitectura.

Referencias

- [1] V. Landa and R. Segura, "Algunas reflexiones sobre la "Arquitectura Vernácula"", *Cuadernos de Arquitectura*, vol. 7, no. 07, pp. 67-71, 2017.
- [2] ICOMOS, "Carta del patrimonio vernáculo construido", [Online]. 1999. Disponible en: https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/vernacular_sp.pdf . [Acceso: 1 de abril 2024].
- [3] J. Pérez Gil, "El paisaje urbano histórico y la conservación de la arquitectura vernácula" en Los conjuntos históricos y etnológicos en paisajes activos: imágenes del medio rural de la Europa meridional. Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid, España. 2022. pp 93.
- [4] García-Baltodano, K & D, Porras. "Identification of the vernacular architecture of the city of Puntarenas" en Actas de Congreso del 10th Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management REHABEND, 2024, pp.243-252.
- [5] C. Broto and A. Mostaedi, "Enciclopedia Broto de patologías de la construcción", España: Links. 2005.

Sobre los autores

Kenia Garcia-Baltodano

Arquitecta, cuenta con una maestría en Planificación y Desarrollo Territorial Sostenible y un doctorado en geografía, es investigadora y profesora de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo. <https://orcid.org/0000-0002-2507-8627>

Dawa Méndez-Alvarez

Ingeniera forestal, cuenta con una maestría en Ciencias Forestales, es investigadora de la Escuela de Ingeniería Forestal. <https://orcid.org/0000-0002-7586-5485>