

Investiga.TEC

ISSN 1659-3383

VOLUMEN 16 • NÚMERO 48 • SETIEMBRE DEL 2023



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

 portal investiga.TEC

Investiga.TEC es una revista 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

Dagoberto Arias Aguilar

David Porras Alfaro

Ileana León Boza

Maribel Jiménez Montero

Miguel Rojas Chavez

Contacto

Teléfono: (506) 2550-2315

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 4, titulado "Importancia del análisis y la conservación del semen de abeja melífera (*Apis mellifera*) bajo condiciones tropicales". Se aprecia una abeja melífera. (*Apis mellifera*)

Toamdo de: <https://pixabay.com/es/photos/abeja-occidental-abeja-carnica-7631241/>

Presentación

En esta tercera y última edición del 2023, ofrecemos a nuestros lectores una compilación de artículos que reflejan el trabajo en investigación, extensión y docencia realizado en el TEC.

Iniciamos compartiendo los hallazgos obtenidos por una investigación realizada en la Escuela Agronomía, orientada a la introducción de líneas genéticas mejoradas para caracteres como productividad, docilidad o resistencia a enfermedades en las poblaciones naturales de abejas melíferas. Para conocer más sobre esta investigación les invitamos a leer nuestro primer artículo titulado "Importancia del análisis y la conservación del semen de abeja melífera (*Apis mellifera*) bajo condiciones tropicales".

La Vicerrectoría de Investigación y Extensión, a través de los proyectos estudiantiles, busca incentivar y promover en los estudiantes del TEC una experiencia académica que les permita adquirir conocimientos en investigación y extensión. Bajo la modalidad de proyecto estudiantil, un equipo multidisciplinario de estudiantes creó un avión de ala fija radiocontrolado, con los componentes necesarios para cubrir grandes extensiones de terreno. El artículo al que hace referencia esta investigación lleva como nombre "Diseño y elaboración de un modelo aeronáutico radiocontrolado para dispersión de semillas forestales", y lo pueden ubicar de segundo en esta edición.

"Sexismo ambivalente: una realidad en el entorno universitario" es el título de nuestro tercer artículo, el cual da a conocer los resultados de un proyecto de investigación cuantitativa que buscó evidenciar si los esfuerzos institucionales por promover un espacio libre de discriminación han logrado permear en la comunidad institucional y erradicar el sexismo en todas sus manifestaciones.

De seguido y como parte de las actividades de extensión realizadas por TEC, damos a conocer una iniciativa de la Escuela de Matemática; se trata del Calendario Matemático Infantil. Esta publicación anual ha sido un valioso aporte a la educación matemática en los niveles iniciales del sistema educativo costarricense, convirtiéndose en una valiosa herramienta para fortalecer el aprendizaje de las matemáticas, promover el desarrollo de habilidades analíticas y creativas en el estudiantado.

El café es uno de los principales cultivos en Costa Rica, considerado entre los mejores del mundo, la actividad cafetalera del país está en juego ante el ataque de enfermedades como la roya, es por esta razón que, el TEC en conjunto con la UCR, realizan investigaciones para encontrar nuevas alternativas de resistencia genética para el control de esta enfermedad a través de la mutagénesis química. El artículo "Fuentes alternativas para la resistencia genética contra la roya del café (*Hemileia vastatrix*) a través de inducción de mutaciones", nos permite dar un vistazo a una de estas investigaciones.

¿Sabía usted que el Tecnológico de Costa Rica cuenta con un Laboratorio de Análisis Agronómico?, permítanos darles a conocer el trabajo que este laboratorio realiza en el campo del análisis de suelos y tejidos vegetales, el que ha permitido a investigadores, extensionistas, estudiantes y productores incrementar los rendimientos de los cultivos implementando mejoras a nivel de suelo. El artículo titulado "Laboratorio de Análisis Agronómico, ayer, hoy y mañana", nos permite conocer los inicios, el presente y los planes a futuro de este importante laboratorio.

Finalizamos dando a conocer un importante proyecto de extensión cuyo objetivo fue mejorar la eficiencia operativa de productores agrícolas de la Sociedad de Usuarios de Agua (SUA) Sanatorio, en la provincia de Cartago. Conoceremos la estrategia de abordaje de la población, las mediciones y los resultados obtenidos, además nos ofrecen un resumen de consideraciones en las capacitaciones a los productores.

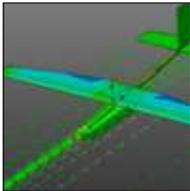
Esperamos que disfruten de este número

Contenidos



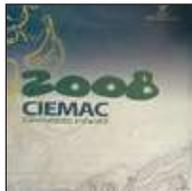
Presentación..... 2

Importancia del análisis y la conservación del semen de abeja melífera (*Apis mellifera*) bajo condiciones tropicales..... 4



Diseño y elaboración de un modelo aeronáutico radiocontrolado para dispersión de semillas forestales..... 11

Sexismo ambivalente: una realidad en el entorno universitario 20



Explorando el Calendario Matemático Infantil: Un Enfoque Lúdico para el Aprendizaje de las Matemáticas en primaria..... 24

Fuentes alternativas para la resistencia genética contra la roya del café (*Hemileia vastatrix*) a través de inducción de mutaciones..... 31



Laboratorio de Análisis Agronómico, ayer, hoy y mañana..... 38



Mejora de la eficiencia operativa de productores agrícolas de la Sociedad de Usuarios de Agua (SUA) Sanatorio, Cartago, Costa Rica. Etapas I y II..... 43

Importancia del análisis y la conservación del semen de abeja melífera (*Apis mellifera*) bajo condiciones tropicales

Francisco Sevilla-Benavides

Estudiante del DOCINADE
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ fsevillabenavides@gmail.com

Olivier Castro-Morales

Escuela de Agronomía
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ ocastro@itcr.ac.cr

Víctor Hugo Quesada-Obando

Apiario Abejas del Arenal, El Castillo de Peñas Blancas
San Ramón, Alajuela, Costa Rica
✉ quesadaporra@hotmail.com

Laura Murillo-Sabillón

Estudiante Licenciatura en Agronomía
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ lauraluciams8@estudiantec.cr

Anthony Valverde-Abarca

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

Resumen

Las abejas cumplen un rol fundamental en la polinización natural de las plantas y cultivos agrícolas, sin embargo, las malas prácticas agrícolas están reduciendo las poblaciones apícolas en los ecosistemas. El conocimiento de la biología de la reproducción en esta especie permitiría la introducción de líneas genéticas mejoradas para caracteres como productividad, docilidad o resistencia a enfermedades en las poblaciones naturales. Además, la utilización de técnicas de reproducción asistida como la inseminación artificial favorecería la multiplicación de colmenas en los apiarios y el aumento de las poblaciones amenazadas. La caracterización espermática del semen de zángano es importante para disponer de germoplasma de buena calidad para la inseminación de las abejas reinas. El objetivo del presente trabajo fue describir las estructuras reproductivas de los zánganos de la especie *Apis mellifera*, y las características del semen de zánganos en términos de su movilidad, dilución y morfología para mejorar nuestro entendimiento actual sobre la reproducción de estos insectos con fines agro-productivos.

Palabras claves:

Apicultura, Zootecnia, Reproducción, Espermatozoide.



Introducción

En apicultura, el conocimiento del entorno biológico mediante el cual los polinizadores naturales llevan a cabo su función es fundamental para la reproducción de las especies vegetales y la conservación de los agentes polinizadores como las abejas del género *Apis mellifera* (Lobo & Bravo Méndez, 2021). En la actualidad existe preocupación por la pérdida de colonias debido a múltiples factores relacionados con el cambio climático, malas prácticas agrícolas y la disminución de los hábitats en los ecosistemas utilizados por las abejas (Clermont et al., 2015; Pettis et al., 2016). Las abejas estimulan la polinización cruzada de los vegetales, permitiendo una mayor variabilidad genética en estos y por ende una mayor resistencia a plagas y enfermedades, como también una mayor productividad agrícola y silvestre (Chautá-Mellizo et al., 2012). Por otro lado, la inseminación artificial en abejas es una aplicación de la reproducción asistida que permite mejorar las poblaciones de acuerdo con los objetivos de selección genética como, por ejemplo, caracteres productivos, caracteres de comportamiento como la disminución del instinto de defensa (agresividad), o caracteres de resistencia a enfermedades (Flores et al., 1998). Para mejorar las técnicas de reproducción asistida como la inseminación artificial es necesario conocer la biología del espermatozoide de zángano (Collins, 2015) y el estudio de la calidad del esperma con el que se está inseminando las abejas reinas (Yániz et al., 2020).

Relevancia de la línea de estudio

Los ecosistemas terrestres han sido utilizados para satisfacer las necesidades de las sociedades humanas, de tal modo, que se ha generado cambios considerables a los bosques y hábitats de las especies de animales silvestres y demás. De acuerdo con Naciones Unidas, un 8% de las razas de animales conocidas han desaparecido y alrededor del 22% del total de animales se encuentran en peligro de extinción. Por su parte, las abejas son parte del grupo de animales polinizadores de gran importancia para el desarrollo del sector agrícola, y también han presentado ciertas afectaciones por el cambio de sus hábitats y la pérdida de la biodiversidad en los mismos. En Costa Rica se han desarrollado algunos estudios que han comprobado estas afectaciones (Brosi et al., 2007; Escobedo-Kenefic et al., 2020).

Al menos el 70% de las especies de cultivos son polinizados por las abejas (Potts et al., 2010). Por esto, la relevancia de analizar y reducir las afectaciones sobre estos grupos, debe ser un compromiso para los investigadores. Se han determinado diferentes factores que han contribuido con la afectación de las poblaciones de abejas (Dainat et al., 2012), también la reproducción de estos insectos y la calidad del semen de los zánganos, podrían tener un impacto sobre una actividad reproductiva exitosa en las abejas, pero este campo no ha sido evaluado con profundidad y las evaluaciones sobre la calidad seminal se han basado en la determinación del volumen, la concentración y la integridad espermática, sin un análisis respectivo sobre la funcionalidad del esperma (Yániz et al., 2020). El manejo del semen

de zánganos ha permitido utilizar técnicas como la inseminación artificial o instrumental (Collins, 2000). Además, el estudio del semen en la abeja *Apis mellifera* podría mejorar el manejo de las colmenas seleccionando los mejores caracteres productivos, genéticos y con mayor adaptación a los hábitats, mediante programas de selección en los sistemas apícolas (Borsuk et al., 2013). A pesar de esto, en nuestro país se requiere más información sobre el comportamiento de los zánganos, de los posibles factores que afectan su calidad reproductiva, y en cuánto a las técnicas de reproducción y evaluación en estas especies se debe generar más información que permita estandarizar las mismas y que sean más eficientes (Silvestre et al., 2023). Por otro lado, la información generada en nuestras investigaciones debe llegar a los productores apícolas, para estandarizar los sistemas productivos. El objetivo del presente trabajo es describir las estructuras reproductivas de los zánganos de la especie *Apis mellifera*, y las características seminales actuales analizadas en el Laboratorio de Reproducción Animal del Instituto Tecnológico de Costa Rica (AndroTEC) y discutir sobre las proyecciones de investigaciones que se requieren sobre esta especie en el ámbito reproductivo.

Descripción del proceso de extracción del semen de zánganos de la especie *Apis mellifera*.

Después de 14 días de eclosionados, los zánganos alcanzan la madurez y están listos para la colección de semen o reproducción (Cobey et al., 2013). Para la recolección del semen, se puede realizar mediante dos procesos, por disección de las vesículas seminales o por inducción manual (Yániz et al., 2020). Durante la inducción manual se seleccionan los zánganos reproductores y se les realiza una leve presión entre el tórax y abdomen, y siguiendo hasta la parte posterior del abdomen (en dirección apical o "hacia atrás"). El proceso de extracción del semen se realiza en dos pasos después de la presión ejercida sobre el abdomen, donde se produce una eversión parcial o exposición de algunas estructuras reproductivas (Figura 1) y luego una eversión total del endofalo (estructura reproductiva copuladora del zángano) donde se realiza la colecta del semen.



Figura 1. Exposición parcial de las estructuras reproductivas del zángano, obsérvese los cónulos expuestos, La Fortuna, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2023.

Durante la eversión total se debe considerar que algunos zánganos pueden llegar a defecar y contaminar la muestra del semen, también pueden presentarse casos donde estos no eyaculen o se logre colectar una proporción menor a un microlitro de semen; normalmente se utiliza entre 8-12 microlitros de semen durante la inseminación artificial de una abeja reina (Cobey et al., 2013).

Caracterización de los espermatozoides del zángano de la especie *Apis mellifera*

Los espermatozoides de la especie *Apis mellifera*, son filamentosos y alargados, con longitudes de hasta 250-270 μm (micrómetros) (Yániz et al., 2020). Esto indica que son mucho más largos que los espermatozoides de otras especies de animales. Además, por su forma filamentososa es difícil identificar la base de la cabeza del espermatozoide (acrosoma) y el núcleo de este. En la Figura 2, se presenta un espermatozoide teñido mediante una tinción que fija las células espermáticas (tinción eosina + nigrosina) y visto en microscopio a mil aumentos.

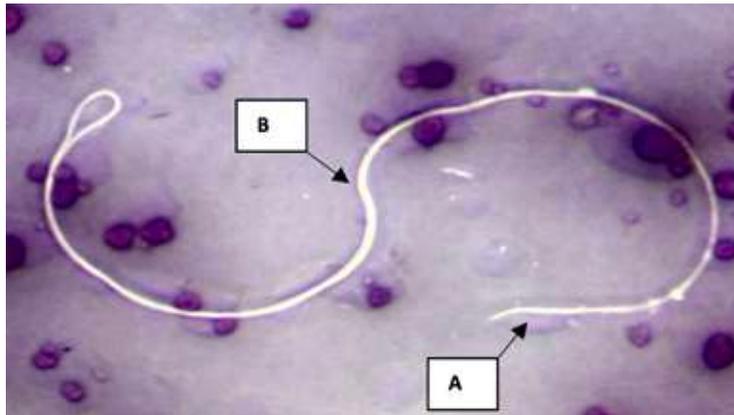


Figura 2. Espermatozoide de zángano de la especie *Apis mellifera*. A) Cabeza del espermatozoide (núcleo y acrosoma), B) Flagelo o cola del espermatozoide, magnificación:1000X, tinción Eosina-nigrosina, Laboratorio de Reproducción animal (AndroTEC), 2023.



Figura 3. Movimiento ondulatorio y circular de espermatozoide de zángano de la especie *Apis mellifera*., magnificación:400X, tinción Eosina-nigrosina, Laboratorio de Reproducción animal (AndroTEC), 2023.

Por la forma del acrosoma y que no posee un centroeide que pueda identificarse fácilmente por los sistemas de análisis seminales asistidos por computadora (*Computer-Assisted Semen Analysis, CASA systems*) (Bompart et al., 2018; Soler et al., 2017; Valverde et al., 2020; Valverde & Madrigal Valverde, 2018), hasta el momento no se ha creado una metodología estandarizada para el análisis del movimiento de las células espermáticas de los zánganos. Sin embargo, se han realizado algunos estudios donde se ha logrado determinar algunas características sobre el movimiento celular en esta especie (Figura 3); en estos se han utilizado algunas escalas de acuerdo con el movimiento de las células que se observan en microscopio y han relacionado este movimiento circular con la calidad del

movimiento en esta especie; también, se ha comprobado que esto podría estar influenciado por otros factores (Yániz et al., 2020), por lo que el estudio y la estandarización del movimiento espermático en la especie *Apis Mellifera* es un área de estudio que requiere atención e investigación.

Para la estandarización de la evaluación del semen, se podrían utilizar algunas tecnologías como el *iSperm*[®] (sistema CASA portátil) o el Open CASA v2 (sistema CASA de acceso libre), ya que esto facilitaría el acceso a los apicultores después de que se validen las metodologías empleadas. Inicialmente se han realizado unas primeras evaluaciones con el *iSperm*[®] (Figura 4), donde se ha logrado observar el movimiento circular de las células espermáticas, sin determinar actualmente un porcentaje de movilidad total o la progresividad de estas en la trayectoria celular.



Figura 4. Análisis en campo de semen de zángano (*Apis mellifera*) con el *iSperm*[®], realizado por parte del equipo del Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), 2023.

Proyecciones de trabajos en esta especie y consideración final.

Actualmente, se están desarrollando alianzas y colaboraciones con algunos productores desde el Laboratorio de Reproducción Animal (AndroTEC), para desarrollar y validar metodologías de análisis seminal para la especie *Apis mellifera*. También, se pretende estudiar las metodologías empleadas para la inseminación instrumental que actualmente se realiza por parte de algunos apicultores y determinar posibles mejoras para la efectividad de estas, así como posibles formas de conservación para el material genético de esta especie y el estudio de aquellos factores que puedan afectar su reproducción. Es necesario generar más información sobre nuestro entendimiento actual de la reproducción de las abejas del grupo apini (Apinae) del género *Apis*, como también de los meliponinos (abejas sin aguijón), con el propósito de mejorar la producción y conservaciones de especies que podríamos considerar amenazadas en los ecosistemas. La Universidad está llamada a apoyar los esfuerzos de investigación, generación de conocimiento, extensión y acción social en comunidades rurales donde se desarrollan estas actividades agro-productivas desde un enfoque sostenible y en concomitancia con un estilo de vida que dignifique el trabajo en el campo, con una filosofía conservacionista de las especies nativas de plantas y animales integradas en los entornos rurales, para llevar a cabo un verdadero manejo sostenible de los recursos naturales.

Referencias

- Bompart, D., García-Molina, A., Valverde, A., Caldeira, C., Yániz, J., Núñez de Murga, M., & Soler, C. (2018). CASA-Mot technology: how results are affected by the frame rate and counting chamber. *Reproduction, Fertility and Development*, 30(6), 810–819. <https://doi.org/10.1071/RD17551>
- Borsuk, G., Strachecka, A., Olszewski, K., Paleolog, J., Chobotow, J., & Anusiewicz, M. (2013). Proteolytic system of the sperm of *Apis mellifera* drones. *Biologia*, 68(3), 533–538. <https://doi.org/10.2478/s11756-013-0174-6>
- Brosi, B. J., Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (2007). Bee community shifts with landscape context in a tropical countryside. *Ecological Applications*, 17(2), 418–430. <https://doi.org/10.1890/06-0029>
- Clermont, A., Eickermann, M., Kraus, F., Georges, C., Hoffmann, L., & Beyer, M. (2015). A survey on some factors potentially affecting losses of managed honey bee colonies in Luxembourg over the winters 2010/2011 and 2011/2012. *Http://Dx.Doi.Org/10.3896/IBRA.1.53.1.04*, 53(1), 43–56. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.53.1.04>
- Chautá-Mellizo, A.; Campbel, S.A.; Bonilla, M.A.; Thaler, J.S.; Poveda, K. 2012. Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. *Basic and Applied Ecology*, 13: 524-532. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.08.013>
- Cobey, S. W., Tarpy, D. R., & Woyke, J. (2013). Standard methods for instrumental insemination of *Apis mellifera* queens. *Journal of Apicultural Research*, 52(4), 1–18. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.09>
- Collins, A. M. (2000). Relationship between semen quality and performance of instrumentally inseminated honey bee queens. *Apidologie*, 31(3), 421–429. <https://doi.org/10.1051/apido:2000132>
- Collins, A. M. (2015). Functional longevity of honey bee, *Apis mellifera*, queens inseminated with low viability semen. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/00218839.2004.11101131*, 43(4), 167–171. <https://doi.org/10.1080/00218839.2004.11101131>
- Dainat, B., Evans, J. D., Chen, Y. P., Gauthier, L., & Neumann, P. (2012). Predictive Markers of Honey Bee Colony Collapse. *PLoS ONE*, 7(2), e32151. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032151>
- Escobedo-Kenefic, N., Landaverde-González, P., Theodorou, P., Cardona, E., Dardón, M. J., Martínez, O., & Domínguez, C. A. (2020). Disentangling the effects of local resources, landscape heterogeneity and climatic seasonality on bee diversity and plant-pollinator networks in tropical highlands. *Oecologia*, 194(3), 333–344. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04715-8>
- Flores, J. M., Ruíz, J. A., Ruz, J. M., Puerta, F., Campano, F., Padilla, F., & Bustos, M. (1998). Inseminación artificial de abejas reinas. *Archivos de Zootecnia*, 47, 343–345.
- Lobo, J. A., & Bravo Méndez, Y. (2021). Diversity and foraging patterns of bees on flowers of *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae) in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 494–506. <https://doi.org/10.15517/RBT.V69I2.44076>
- Pettis, J. S., Rice, N., Joselow, K., Van Engelsdorp, D., & Chaimanee, V. (2016). Colony Failure Linked to Low Sperm Viability in Honey Bee (*Apis mellifera*) Queens and an Exploration of Potential Causative Factors. *PLOS ONE*, 11(2), e0147220. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0147220>
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Silvestre, M. A., Soler, C., Mocé, E., Roldan, E. R. S., & Yániz, J. L. (2023). The Importance of Studying Factors That Affect the In Vitro Evaluation of Semen Quality to Predict Potential Fertility in Males. *Biology*, 12(2), 235. <https://doi.org/10.3390/biology12020235>

- Soler, C., Valverde, A., Bompart, D., Fereidounfar, S., Sancho, M., Yániz, J., Garcia-Molina, A., & Korneenko-Zhilyaev, Yu. A. (2017). New methods of semen analysis by casa. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya (Agricultural Biology)*, 52(2). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.2.232eng>
- Valverde, A., Barquero, V., & Soler, C. (2020). The application of computer-assisted semen analysis (CASA) technology to optimise semen evaluation. A review. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 29(3), 189–198. <https://doi.org/10.22358/jafs/127691/2020>
- Valverde, A., & Madrigal Valverde, M. (2018). Sistemas de análisis computadorizado de semen en la reproducción animal. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 469. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.30613>
- Yániz, J. L., Silvestre, M. A., & Santolaria, P. (2020). Sperm Quality Assessment in Honey Bee Drones. *Biology*, 9(7), 174. <https://doi.org/10.3390/biology9070174>

Sobre los autores:

Francisco Sevilla-Benavides

Francisco Sevilla es 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*" y actualmente es 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 "(PROTASPERM)", todos adscritos a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión. <https://orcid.org/0000-0003-1480-4141>

Olivier Castro-Morales

Olivier Castro es profesor, investigador y extensionista. Biólogo, posee una maestría académica en Manejo de Recursos Naturales de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, con énfasis en vida silvestre. <https://orcid.org/0000-0003-3817-9459>

Víctor Hugo Quesada-Obando

Víctor Hugo Quesada es Técnico Medio en Agropecuaria. Naturalista, investigador y apicultor de la Zona Norte de Costa Rica. Presidente de la Asociación de Apicultores Productores de la Zona Norte (AAPIDEN)

Laura Murillo-Sabillón

Laura Murillo es estudiante de licenciatura de Ingeniería en Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Participó como asistente del proyecto "Evaluación de la fertilidad asociada a la calidad seminal de verracos en granjas porcinas de la Región Huetar Norte" y actualmente es asistente del proyecto de investigación PROTASPERM, ambos adscritos a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión. <https://orcid.org/0000-0002-8628-4651>

Anthony Valverde-Abarca

Anthony Valverde es 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 investigador consolidado 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 1k citaciones. Tiene más de 10 años de experiencia en investigación y sus líneas se centran en el estudio de la biología de la reproducción animal. <https://orcid.org/0000-0002-3191-6965>

Diseño y elaboración de un modelo aeronáutico radiocontrolado para dispersión de semillas forestales.

Leonardo David Capponi-Pinto

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ lcapponi@estudiantec.cr

Jean Carlo Molina-Navarro

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ jean.pwx@estudiantec.cr

Jose Ángel Granados-Villalobos

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ josegranados@estudiantec.cr

María Francini Mora-Chacón

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ franmorach@estudiantec.cr

Harold Campos-Jiménez

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ hcampos177@estudiantec.cr

Javier López-Solís

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ javierlopezsolisa@estudiantec.cr

Luis Arturo Valverde-Brenes

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ luivalverde@estudiantec.cr

Mauro Josué Fallas-Ureña

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ mauro08@estudiantec.cr

Byron Josué Bolaños-Zamora

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ bbolanos@estudiantec.cr

Francisco Esteban Jiménez-Rodríguez

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ franjim@estudiantec.cr

José Andrés Guzmán-Arce

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ j.guzman@estudiantec.cr

Wendy María Campos-Hernández

Estudiante de Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ wcampos@estudiantec.cr

Denilson D'Jorkaeff Jackson-Ceciliano

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ ddjc121@estudiantec.cr

Esteban Solís-Díaz

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ esolisd@estudiantec.cr

Elían Arce-Rivera

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ gelian@estudiantec.cr

Matías José Vega-Blanco

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ matiasvegab@estudiantec.cr

José Andrés Arrieta-Monge

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ 2019167131@estudiantec.cr

Gabriela Monge-Vargas

Estudiante de Ingeniería Forestal
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ gmonge1704@estudiantec.cr

Carlo Quesada-Calderón

Estudiante de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ carlo2019@estudiantec.cr

Daniela Sauma-Chica

Estudiante de Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ da.sauma@estudiantec.cr
✉ danisch1228@gmail.com

Víctor Julio Hernández-González

Escuela Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ vhernandezg@itcr.ac.cr

Resumen

Este documento presenta la evidencia del trabajo de un equipo de estudiantes en la creación de un avión de ala fija radio controlado, que tenga los componentes necesarios para cubrir grandes extensiones de terreno para uso exclusivo de reforestación. Esta iniciativa nace con el fin de usar el conocimiento aeronáutico adquirido por estudiantes de diferentes carreras, aplicarlo en la creación de un prototipo aéreo, adaptarlo para fines de reforestación y eventualmente en una posterior fase del proyecto ponerlo a prueba el parque Nacional Palo Verde que se encuentra en las orillas del río Tempisque, en la Península de Nicoya.



Fig. 1. Río Tempisque en Parque Nacional Palo Verde. Fuente: Gianfranco Vivi, Shutterstock

Palabras clave

Reforestación aérea, aviones no tripulados, radiocontrol

Introducción

La reforestación es esencial para preservar y restaurar nuestros ecosistemas, es necesaria para mantener en buen estado el ambiente natural y los recursos que son esenciales e importantes para la vida. (Pereira, 2019) Los árboles no solo ayudan a mitigar el cambio climático al absorber el dióxido de carbono, sino que también contribuyen a la conservación de la biodiversidad, brindan hábitats para la vida silvestre y protegen los suelos y los recursos hídricos.

Costa Rica es mundialmente reconocida por sus esfuerzos en materia ambiental y por la consolidación de un sistema nacional de áreas protegidas que resguardan gran parte de su biodiversidad (Porras, 2018). La reforestación promueve la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades locales. Es una herramienta poderosa para contra restar la deforestación y construir un futuro más verde y saludable.

La reforestación aérea con aviones no tripulados es una técnica innovadora que permite sembrar semillas en áreas inaccesibles. Estos aviones pueden dispersar rápidamente miles de semillas, acelerando la regeneración de bosques y contribuyendo a la restauración de ecosistemas de manera eficiente y efectiva.

Los drones, como coloquialmente los conocemos, pueden hallarse contruidos como vehículos aéreos no tripulados, o como aeronaves controladas de forma remota. Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTS) han demostrado tener gran versatilidad para realizar múltiples funciones, además con el uso de sensores de fácil adaptación y cámaras de mediana resolución se puede derivar información de la calidad y estado de desarrollo tanto de cultivos como plantaciones forestales. Ortiz et al. (2022)

El equipo multidisciplinario de Aeronautec desarrolló una aeronave radio controlada, no tripulada, con la intención de poder dispersar semillas, por medio de un sistema de bombeo preciso y controlado, haciendo pruebas en sitios de práctica para analizar el desempeño de la aeronave y posteriormente ir probando en localizaciones con un clima y condiciones similares a las del Parque Nacional Palo Verde, pues es este lugar nuestro objetivo de reforestación. Este avión no solo aceleraría el proceso de siembra, sino que también maximiza la tasa de germinación y la diversidad genética de los árboles, contribuyendo así a la restauración de los ecosistemas de manera rápida y efectiva. Esto con el fin de desarrollar una alternativa a la reforestación de zonas afectadas por sequías, incendios, clima hostil, tala indiscriminada, etc.



Fig. 2. Equipo de AeronauTec con avión Suleyabi. Fuente propia.

Metodología

La construcción de un avión no tripulado para bombear semillas de árboles implicó una metodología detallada y precisa. A continuación, se presenta una metodología general para su construcción.

El proyecto inició con el diseño técnico del avión, teniendo en cuenta aspectos como la capacidad de carga, la autonomía, la estabilidad y la resistencia a condiciones climáticas adversas. Esto se logró por medio de simulaciones en softwares especializados y por medio de investigación en temas de aeronáutica; con esta información se logró la optimización de un diseño más conveniente para tal uso.

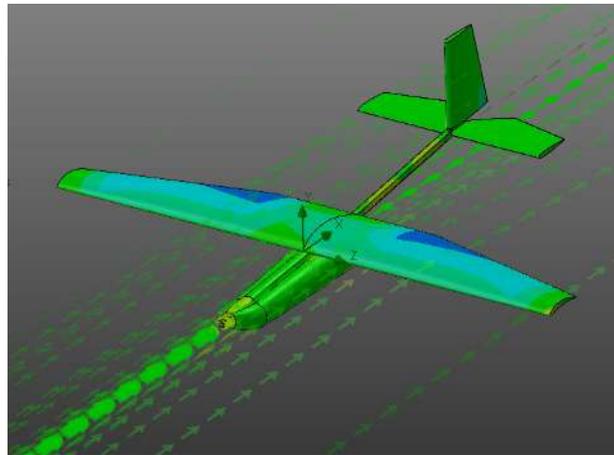


Fig. 3. Solidworks Flow Analysis para determinar el Arrastre. Fuente: Elaboración Propia.

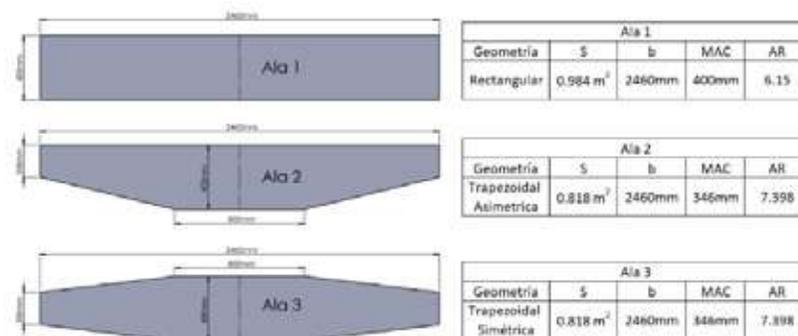


Fig. 4. Características de las primeras iteraciones del diseño del ala. Fuente: elaboración propia.



Fig. 5. Modelo en fase de diseño en 3D. Fuente propia

Los estudios aerodinámicos y simulaciones permitieron, además de saber las características técnicas convenientes, concluir en la selección de materiales livianos pero resistentes como el aluminio, para el marco y las alas del avión, y de madera de balsa, ideal para el fuselaje de la aeronave. Por otro lado, el avión no pudo haber funcionado sin el control eléctrico para motores, alerones y el sistema de bombeo. Es por ello por lo que mediante cálculos y estudios se eligen motores y baterías eficientes para proporcionar la potencia necesaria para la duración del vuelo requerida.



Fig. 6. Avión en fase de construcción. Fuente propia.

Con respecto al objetivo principal de la aeronave, ésta integró un sistema de bombeo y dispersión de semillas en el avión. Esto incluyó servomotores que sirvieron para accionar el sistema y permitir la liberación de las semillas.

Para la dispersión de semillas, se contó con el diseño de una tolva de *cartofoam*, la cual se colocó como remplazo de la bahía para cargas pesadas. Esta bahía contó con un servomotor, el cual, al recibir la señal pulsada desde el radiocontrol, le permitió abrir en un 50% y 100% para lograr una adecuada dispersión.



Fig. 7. Bahía para la dispersión de semillas

Una vez que el avión no tripulado estuvo completamente construido, se hizo pruebas de vuelo y algunas modificaciones post-vuelo, para ponerlo en uso para la reforestación. Dichas pruebas de vuelo se llevaron a cabo en las instalaciones deportivas del Instituto Tecnológico de Costa Rica, específicamente en la pista de atletismo; dicha ubicación permitió que la prueba de dispersión se ejecutara en un área controlada, un vuelo seguro y facilidad en el aterrizaje y despegue.



Fig. 8. Avión Suleyabi durante un vuelo. **Fuente:** propia

Con respecto a las semillas utilizadas para reforestación, se utiliza arcilla de un depósito natural en Orosi, agua y tierra abonada, formando un compost, con la cual se envuelven las semillas de las especies: Caoba, Tempisque, Guanacaste y Jabillo. Dichas cápsulas tienen una dimensión promedio de 2.2 cm de diámetro, en las cuales se introduce dichas semillas, las cuales tienen dimensiones cercanas a 1.9×1.2 cm. Las cápsulas con semillas tendrían una densidad promedio de 358.73

Sin embargo, las pruebas del avión se enfocan en el desempeño durante el vuelo y la dispersión del contenido de la bahía de carga, por lo cual, se utilizó una mezcla de abono y arcilla, que simulara la masa y volumen de las semillas encapsuladas.

Resultados

Se logró crear, equipar y ajustar el avión para el fin deseado, se puso a prueba y la implementación del aeromodelo para la dispersión de semillas, en la cancha del campus central del tecnológico de costa rica, la aeronave demostró su capacidad para distribuir las semillas en un área objetivo de 6 metros cuadrados. El aeromodelo fue capaz de transportar y soltar las semillas de manera precisa y uniforme, asegurando una distribución adecuada en toda el área. Esto se debe a la implementación exitosa del sistema de compuertas del aeromodelo, el cual permitió controlar el momento y la ubicación exacta de la liberación de las semillas.



Fig. 9. Cápsulas para semillas. Fuente propia.

La prueba de dispersión se realizó en 4 ocasiones, liberando las cápsulas en lapsos de 2 segundos, en un área promedio de 6m² y con una distancia entre semillas de 1m aproximadamente. La prueba consistió en maniobrar la aeronave en línea recta a una altura de aproximadamente 40 metros sobre una cancha de futbol, liberando sobre el área definida las capsulas de prueba. Cabe resaltar que es posible alcanzar mayor altura de ser necesario.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados presentados posterior los vuelos de prueba.

Tabla 1. Mediciones de la distribución de semillas en prueba de reforestación con la aeronave Suleyabi

No. De vuelo	Área de reforestación (m ²)	Separación entre cada cápsula (m)	Tiempo de caída promedio de las cápsulas liberadas (s)
1	6	1	2,1
2	4,3	0,5	2,36
3	6	1,5	1,37
4	6	0,55	2,5

Fuente: Elaboración Propia.

En comparación con los métodos tradicionales de siembra manual, el uso del aeromodelo demostró alta maniobrabilidad y estabilidad durante el vuelo cargado, lo que le permitiría acceder a zonas remotas y de difícil alcance de manera más eficiente, La flexibilidad en los tiempos de inicio y final de liberación permitió una mayor precisión y adaptabilidad en la dispersión de las semillas, lo cual es esencial para garantizar una cobertura óptima del área objetivo.

Los resultados de los tiempos de despegue, inicio y final de liberación de semillas, así como los tiempos de aterrizaje, respaldaron aún más la efectividad del aeromodelo en la tarea de dispersión de semillas. La capacidad de despegar rápidamente, adaptar los tiempos de liberación de las semillas y lograr aterrizajes precisos son aspectos clave que contribuyen al éxito general del proyecto.

Tabla 2. Tiempos de reforestación para prueba de reforestación con la aeronave Suleyabi

No. De vuelo	Despegue	Inicio liberación de semillas	Final de liberación de semillas	Aterrizaje
1	00:07.49	02:18.28	02:24.03	03:06.79
2	00:05.67	1:05.11	01:08.00	01:54.45
3	00:03.86	00:46.04	00:48.87	01:37.31
4	00:06.08	00:43.27	00:45.38	02:11.94

Se observó que el tiempo de vuelo promedio de la aeronave es de 2 minutos para las pruebas, pero es importante mencionar que las pruebas se realizaron a un 10% de ac. Es importante destacar que, aunque los resultados presentados hasta ahora son alentadores, se trata de un estudio de la capacidad de la aeronave para distribuir las semillas, en una eventual segunda etapa, se deberán realizar pruebas de dispersión en el área propuesta, analizando por medio del seguimiento y evaluación, la germinación y crecimiento de la planta, determinar el impacto y alcance de las operaciones de dispersión de semillas de la aeronave.

Conclusiones

El uso de aviones no tripulados como el desarrollado por AeronauTEC para bombear semillas de árboles ofrece una solución eficiente y efectiva para la reforestación, permitiendo alcanzar áreas inaccesibles y acelerando el proceso de siembra. Los aviones no tripulados reducen el tiempo y el esfuerzo requeridos para la siembra manual, permitiendo una cobertura más amplia y rápida de áreas extensas, contribuyendo así a una reforestación a mayor escala.

Se logró que Suleyabi volara desde la primera prueba en su prototipo final (V4) y dispersara el contenido de la bahía de carga.

Se logró la dispersión de semillas por medio de una aeronave radiocontrolada, con un tiempo promedio de dispersión de 2 segundos, en un área de 6 m² y con una distancia entre semillas de 1m aproximadamente.

Al dispersar las semillas de manera controlada y precisa, se evita el desperdicio y se logra una mayor efectividad en la restauración de los ecosistemas. Como fin del proyecto, no se comprueba la capacidad de reforestación a largo plazo, pero si se cumple el objetivo principal fue el diseño de una aeronave radio controlada, capaz de dispersar semillas, lo cual se cumplió a cabalidad. En una eventual segunda fase del proyecto, aprovechando los avances logrados, se podrán realizar pruebas de campo en un sector del Parque Nacional Palo Verde que se vea afectado por deforestación o buscar sitios similares dando seguimiento a la germinación y crecimiento de las especies dispersadas a largo plazo.

Es posible el mejoramiento del diseño, para la dispersión de más semillas (lo cual permite mayor área de dispersión), ya que la aeronave fue capaz de transportar 2.535 kg aún en condiciones ventosas, también el fuselaje del modelo permite la inserción de un sistema de dispersión con mayor volumen. Escalar el diseño permitirá aumentar el área cubierta.

Referencias

- Ortiz-Malavasi, E, Tapia Arenas, A., Villalobos, V., & Guevara Bonilla, M. (2022). *Utilización de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) en la evaluación de la calidad y estado de desarrollo de plantaciones forestales*. Tomado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14302>
- Porras, C. (2018). *Impacto y contribuciones del manejo forestal y el pago por servicios ambientales al desarrollo rural: la experiencia de FUNDECOR*. Informe Académico. Disponible en: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA676666591&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=1409214X-&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E9c5969d0&aty=open+web+entry>
- Pereira, Y. A. M. (2019). *La Reforestación como Estrategia Ambiental para la Conservación de ríos y quebradas*. *Revista Cientific*, 4(13), 182-199.
- Vivi, G. (s. f.). *Hermosa vista aérea del río Tempisque en el Parque Nacional de Palo Verde*. Disponible en: <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/beautiful-aerial-view-tempisque-river-palo-1501189100>

Sobre los autores:

Equipo estudiantil

Los estudiantes son parte del programa AeronauTEC, una iniciativa que busca promover el emprendimiento, la investigación y el desarrollo en la industria aeroespacial de Costa Rica.

Leonardo David Capponi-Pinto

Leonardo David Capponi es estudiante de Ing. Mantenimiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Electromecánica, desempeñó el rol de coordinador del proyecto. Estudiante coordinador de AeronauTEC. <https://orcid.org/0009-0009-9481-1499>

Víctor Julio Hernández-González

El Ing. Victor Julio Hernández González es profesor e investigador de la Escuela de Ingeniería Electromecánica. Fundador y coordinador el Programa AeronauTEC, es Ingeniero Mecánico Aeronáutico del Instituto de Kiev de los Ingenieros de Aviación Civil (KIIGA) y cuenta con una maestría en ingeniería con especialidad en Explotación Técnica de Aviones y Motores. Vice-presidente del Comité Técnico Nacional Aeroespacial; miembro de la Comisión Paritaria Aeroespacial del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos; miembro de la JD del Costa Rica Aerospace Cluster. <https://orcid.org/0009-0006-2841-7360>

Sexismo ambivalente: una realidad en el entorno universitario

Martha Calderón-Ferrey

Escuela de Ciencias Sociales
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ micalderon@itcr.ac.cr

Luis Gerardo Meza-Cascante

Escuela de Matemática
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ gemeza@itcr.ac.cr

Resumen

El sexismo ambivalente es una teoría que plantea que el sexismo se compone de un sexismo hostil, coincidente con la versión tradicional y un sexismo benevolente que es una forma disimulada de perpetuar las conductas sexistas que han privado en las sociedades patriarcales y que entraña una discriminación en contra de las mujeres. Con la finalidad de aportar a la erradicación de esta forma de violencia en contra de las mujeres, se han desarrollado investigaciones cuantitativas que buscan evidenciar si los esfuerzos institucionales por promover un espacio libre de discriminación han logrado permear en la comunidad institucional y erradicar el sexismo en todas sus manifestaciones. Los resultados, aunque muestran niveles bajos, evidencian que la comunidad institucional no está aún libre de sexismo.

Palabras claves:

Sexismo, sexismo ambivalente, sexismo hostil y sexismo benevolente.

Introducción.

En los albores del siglo XX se alzan las voces de las primeras mujeres costarricenses que con valentía reclaman el respeto a la dignidad humana desde principios de igualdad. Poco a poco sus demandas se empiezan a materializar en una apertura de la sociedad y a plasmarse en cambios en la legislación costarricense. No obstante, cien años después, la igualdad aún no se alcanza, al punto que es motivo de celebración que alguna mujer sea la primera en alcanzar uno u otro puesto público. Expresado en otros términos, en la sociedad costarricense prevalecen actitudes sexistas, especialmente en contra de las mujeres.

El sexismo ambivalente.

Tradicionalmente el sexismo se ha concebido como un sentimiento de antipatía hacia las mujeres, que parte de considerarlas inferiores y subordinadas a los hombres, incapaces de asumir roles públicos y de tomar decisiones informadas. Esta dimensión del sexismo ambivalente, que ha imperado históricamente en las tradicionales sociedades se conoce como sexismo hostil. Los prejuicios, que por muchos años ha afectado el desarrollo integral de las mujeres, impidiéndoles el ejercicio del voto, la toma de decisiones personales o sobre la crianza de sus hijos o la administración de sus bienes, por citar solo algunos ejemplos, se han tratado de erradicar en las sociedades occidentales mediante la aprobación de leyes que protegen a la mujer de la discriminación y el abuso. En el caso de Costa Rica, se han firmado importantes instrumentos de Derecho Internacional y se han creado y reformado leyes en ese sentido.

En 1996 se publica un estudio de Glick y Fiske, quienes ponen en evidencia que esos prejuicios no han sido superados, y evidencian que el sexismo se manifiesta de dos maneras diferentes, aunque relacionadas entre sí: el sexismo hostil (SH) y el sexismo benevolente (SB), lo que dio lugar a la teoría del sexismo ambivalente y que ha sido reconocida como una de las principales contribuciones al estudio psicosocial de esta problemática. (Vaamonde, 2011). Su vigencia como línea de investigación es resaltada por Jiménez-García et al. (2014).

El sexismo hostil se identifica con la concepción tradicional de sexismo, mientras el sexismo benevolente aparenta simpatía hacia las mujeres en el tanto se ajusten a lo que tradicionalmente se espera de ellas: dulzura, fragilidad, afán de servicio, etc., mas es también una forma de sexismo.

A partir del estudio de Glick y Fiske se han desarrollado diversos estudios en distintas poblaciones (estudiantes de secundaria y universitarios, docentes, trabajadores de la salud, entre otros) y en diferentes países, confirmando por una parte una alta correlación entre el sexismo hostil y el benevolente y evidenciando la presencia de altos índices de sexismo ambivalente, aun en años recientes.

La importancia de investigar sobre el sexismo ambivalente, especialmente sobre el sexismo benevolente, se deriva de que este último es una conducta discriminatoria que puede pasar inadvertida, pues no siempre resultan evidentes los sentimientos y las actitudes sexistas frente a las mujeres que se ajustan a roles socialmente atribuidos a ellas, pero que obstaculizan el desarrollo y descalifican la conducta de las mujeres que se alejan de los roles históricamente femeninos. Por tanto, los esfuerzos por erradicar el sexismo podrían ser estériles o insuficientes al enfocarse solo en el sexismo hostil, que no solo suele ser más evidente, sino que podría ser concebido como la única manifestación sexista al ignorar la presencia del sexismo benevolente.

El sexismo ambivalente, y su dos componentes, ha sido detectado en las comunidades universitarias. Entre los muchos estudios realizados a nivel universitario, se pueden reseñar los resultados de Rodríguez y Mancinas (2017), quienes encontraron niveles medio de sexismo ambivalente, niveles de sexismo hostil mayores que el benevolente y que los hombres tenían niveles mayores que las mujeres en las tres categorías. Por su parte, Fernández, Arias y Alvarado (2017) y Ticllas (2018) detectaron niveles de sexismo mayores para los varones, mientras que Boira, Chilet-Rosell, Jaramillo-Quiroz y Reinoso (2017) también hallaron niveles de sexismo hostil mayores en los hombres universitarios, pero no diferencias para el sexismo benevolente, mientras que Pérez (2017) encontró niveles de sexismo superiores para los hombres en los dos componentes del sexismo ambivalente.

Considerando los esfuerzos que se han realizado en el Tec para hacer de esta institución un espacio libre de violencia de género, se ha valorado de gran importancia desarrollar una investigación que nos permita conocer si los esfuerzos realizados han alcanzado su meta y si no ha sido así, recabar elementos que permitan a la Institución actualizar sus políticas y estrategias para alcanzar efectivamente la meta propuesta: hacer del ITCR ese espacio libre de violencia de género.

El proyecto de investigación desarrollado con aprobación del Consejo de Investigación y Extensión, contempló la participación de personas investigadoras de la Escuela de Ciencias Sociales, Matemática, Cultura y Deporte y la Oficina de Equidad de Género, a partir de la aplicación del "Inventario de Sexismo

Ambivalente” (ASI) (Glick y Fiske, 1996), en la versión de Expósito, Moya y Glick (1998) y que ha sido aplicado en múltiples oportunidades en otros entornos latinoamericanos, de manera que se trata de un instrumento altamente validado.

La investigación permitió detectar niveles bajos de sexismo ambivalente, hostil y benevolente, en el estudiantado y en el profesorado. En las Figuras 1 y 2 se presentan resultados obtenidos para el estudiantado.



Figura 1. Distribución de la muestra de estudiantes en categorías bajo o alto

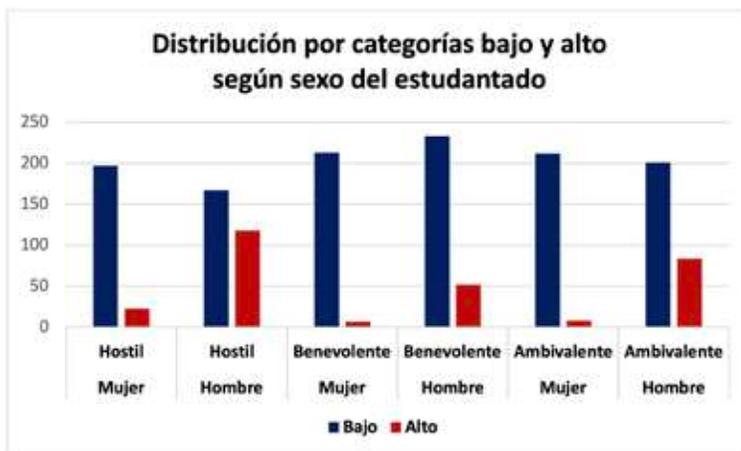


Figura 2. Distribución de la muestra de estudiantes en categorías bajo o alto según sexo

La clasificación de los puntajes del sexismo hostil señala un 72.1 % para la categoría baja y 27.9 % para la alta, para el sexismo benevolente 88% para la categoría baja y 12% para la alta y para el ambivalente 81.6% para la categoría baja y 18.4 % para la alta. Aunque para los tres tipos de sexismo la categoría baja acumula la mayor frecuencia, lo que se puede interpretar como resultados positivos, la conclusión que se deriva es que persisten niveles de sexismo entre el estudiantado. Una conclusión similar se alcanzó para el caso de las personas docentes.

La investigación encontró diferencias en el nivel de sexismo hostil y ambivalente entre hombres y mujeres, tanto en estudiantes como en docentes, con niveles más altos para los hombres y tamaño del efecto altos, lo que sugiere la conveniencia de que se desarrollen acciones de intervención tendientes a eliminar las posiciones sexistas.

Referencias:

- Boira, S., Chilet-Rosell, E., Jaramillo-Quiroz, S., Reinoso, J. (2017). Sexismo, pensamientos distorsionados y violencia en las relaciones de pareja en estudiantes universitarios de Ecuador de áreas relacionadas con el bienestar y la salud. *Universitas Psychologica*, vol. 16, núm. 4, 2017. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=6475356900>. DOI: <https://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.upsy16-4.spdv>
- Expósito, F., Moya, M. C., y Glick, P. (1998). Sexismo ambivalente: medición y correlatos. *Revista de Psicología Social*, 13(2), 159–169.
- Fernández, S., Arias, W. y Alvarado, M. (2017). La escala de sexismo ambivalente en estudiantes de dos universidades de Arequipa. *Avances en Psicología*. 25. 85-96. https://www.researchgate.net/publication/334433925_La_escala_de_sexismo_ambivalente_en_estudiantes_de_dos_universidades_de_Arequipa. DOI: 10.33539/avpsicol.2017.v25n1.138
- Glick, P. y Fiske, F. (1996). The Ambivalent Sexism Inventory: Differentiating Hostile and Benevolent Sexism. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70, 491-512. DOI: 10.1037/0022-3514.70.3.491
- Jiménez-García, R., Luque-Budia, A., Delgado-Ríos, P., Rojo-Villalba, M., Ruiz-Veguilla, M., Aguado-Romeo, M., García-Sánchez, D., Paz-Rodríguez, J. y Moya-Morales, M. (2014). Evaluación del sexismo ambivalente en las y los profesionales de la Red de salud mental de Andalucía. *Proceedings of 6th International and 11th National Congress of Clinical Psychology*. pp. 63-68.
- Rodríguez, L. y Mancinas, S. (2017). Sexismo ambivalente en estudiantes universitarios mexicanos de la Universidad Autónoma de Nuevo León: ¿son necesarias iniciativas preventivas y educativas?. *Revista Sexología y Sociedad*. 2017; 23(1) 19- 26 ISSN 1682-0045 Versión electrónica. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=78222>
- Ticllas, K. (2018). Homofobia y sexismo ambivalente en estudiantes de una universidad privada de lima metropolitana, 2017. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/9021>
- Vaamonde, J. (2011). Aportes de la teoría de género al análisis del sexismo ambivalente. *Acta psiquiátrica y psicológica de América latina* 57(1):61-69. https://www.researchgate.net/publication/267927382_Aportes_de_la_teoria_de_genero_al analisis_del_sexismo_ambivalente

Sobre los autores:

Martha Calderón-Ferrey

Martha Calderon es profesora catedrática e investigadora del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Es doctora en Derecho por la UNED y doctora en Intervención Educativa por la Universidad de Valencia. Es académica de la Escuela de Ciencias Sociales. ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-0571-0859>

Luis Gerardo Meza-Cascante

Luis Gerardo Meza es profesor catedrático e investigador consolidado 1 del Instituto Tecnológico de Costa Rica, cuenta con un doctorado en educación. Es un académico de la Escuela de Matemática y Vicerrector de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión. ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-5413-0172>

Explorando el Calendario Matemático Infantil: Un Enfoque Lúdico para el Aprendizaje de las Matemáticas en primaria

Geisel Alpízar-Brenes

Escuela de Matemática
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ galpizar@itcr.ac.cr

Adriana Solís-Arguedas

Escuela de Matemática
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ asolis@itcr.ac.cr

Resumen:

El Calendario Matemático Infantil forma parte de las actividades de extensión realizadas por la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Desde su inicio en 2008, esta publicación anual ha sido un valioso aporte a la educación matemática en los niveles iniciales del sistema educativo costarricense.

Cada edición del calendario presenta una amplia variedad de problemas matemáticos diseñados específicamente para estudiantes de I y II ciclo de la Educación General Básica. Los problemas abarcan diferentes niveles de dificultad y abordan las áreas temáticas contempladas en los programas del Ministerio de Educación Pública (MEP). El calendario se convierte en una valiosa herramienta para fortalecer el aprendizaje de las matemáticas, promover el desarrollo de habilidades analíticas y creativas en el estudiantado.

Palabras claves:

Calendario matemático, resolución de problemas

Introducción

El desarrollo de actividades que impacten el sistema educativo costarricense contribuye con el cometido del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Dentro de su Modelo Académico [1] está plasmada esa responsabilidad de aportar no solo en el ámbito universitario, al indicar que “El Instituto Tecnológico de Costa Rica, en lo que le corresponda, tiene un compromiso con el mejoramiento del sector educativo nacional en todos sus niveles.” (p.1).

Este compromiso se refleja en los Ejes de Conocimiento Estratégicos del ITCR [2] para el periodo comprendido de 2023 a 2032. Estos ejes rigen el quehacer de la institución en aras de cumplir con su misión y en ellos se ha establecido el Eje de Educación y los aspectos que involucra:

“Este eje comprende las actividades de docencia, extensión, investigación y acción social que cumplen con procesos, métodos y estrategias pedagógicas de enseñanza, aprendizaje y evaluación utilizadas para generar, fomentar, estimular, mejorar o validar el conocimiento educativo y garantizar el derecho humano a una educación de calidad, inclusiva, equitativa, con oportunidades de aprendizaje durante toda la vida que permita una movilidad socioeconómica ascendente para todas las personas. También incluye las actividades académicas que promuevan las áreas STEAMED y humanísticas en la comunidad costarricense y el uso de la tecnología en los procesos educativos desde perspectivas pedagógicas innovadoras y promovedoras del pensamiento crítico, científico y tecnológico.” (p.16).

Particularmente en el ámbito de la educación matemática, el Eje de Educación establece dentro de su justificación lo siguiente:

“El Instituto debe contribuir en la solución de algunos de los problemas que enfrenta el sistema educativo costarricense, como el bajo rendimiento académico en matemática y de las ciencias naturales y exactas, la falta de una adecuada preparación del sector docente de esos niveles educativos y la escasa motivación y vocación del estudiantado hacia estas disciplinas.” (p.17).

Se evidencia que dentro del marco de acción del ITCR, es imperativo llevar a cabo proyectos que impacten la formación matemática del pueblo costarricense. En este sentido, la Escuela de Matemática juega un papel fundamental al impulsar iniciativas que contribuyan a fortalecer el aprendizaje de la matemática y fomentar el interés y gusto por esta disciplina.

Por otro lado, el programa de matemática del Ministerio de Educación Pública (MEP) incorpora la resolución de problemas como un componente esencial del currículo, presentándola como la estrategia metodológica principal [3]. La implementación de la resolución de problemas desde edades tempranas permite desarrollar habilidades cognitivas y matemáticas fundamentales en los estudiantes, fomentando el pensamiento crítico [4], la creatividad, la toma de decisiones y la capacidad de encontrar soluciones a situaciones reales.

Mediante la publicación del Calendario Matemático Infantil, la Escuela de Matemática ha pretendido contribuir con la formación matemática en la Educación General Básica, de acuerdo con lo dispuesto en el programa de matemática del Ministerio de Educación Pública, pero también de la población en general que tenga interés en fortalecer sus habilidades matemáticas mediante la resolución de problemas.

Para la Escuela de Matemática del ITCR es fundamental estimular en el estudiantado sus capacidades de razonamiento, al mismo tiempo que desarrollan una actitud positiva hacia la matemática.

Primeros pasos

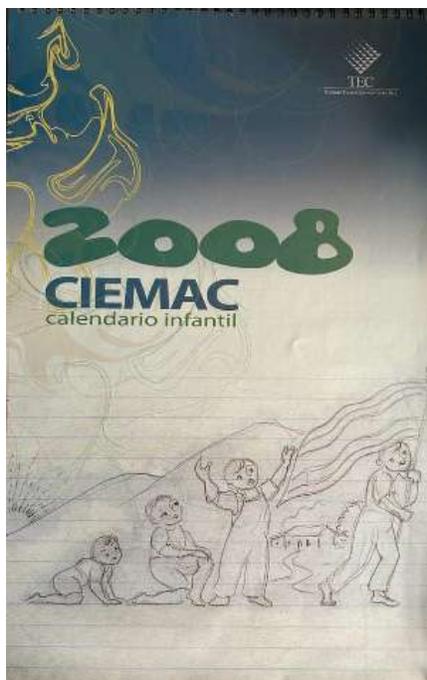


Figura 1. Portada primer Calendario, 2008.

En el año 2008, surgió la iniciativa del Calendario Matemático Infantil gracias a la creatividad de las profesoras Carmen González Arguello y María del Rosario Orozco Blanco, quienes eran docentes jubiladas de la Universidad Nacional. Fue el profesor Mario Marín Sánchez quien trajo esta idea a la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica, quien junto con la profesora Sandra Schmidt Quesada formaron parte del Comité Editorial por varios años. En su primer año de publicación, la colección de problemas del calendario fue elaborada por las docentes Carmen y María, presentando un desafío matemático diario de lunes a viernes, donde la solución estaba relacionada con el número del día. A partir de ese año se ha publicado continuamente un calendario anual.

Desde su inicio y hasta el año 2020, el calendario matemático fue producido y distribuido en formato impreso. Sin embargo, a partir del año 2020, se decidió enfocarse en la versión digital, lo que significa que ya no se imprimen nuevas ediciones. No obstante, se puede acceder a las versiones digitales en el sitio web del calendario, las cuales están disponibles a partir del año 2012.

Metodología de trabajo

Desde sus inicios, el Calendario Matemático Infantil se ha destacado por presentar un desafío matemático diario, el cual está cuidadosamente clasificado por año escolar, siguiendo los programas del Ministerio de Educación Pública (MEP) vigentes. Este enfoque permite a los niños explorar una amplia gama de conceptos y habilidades matemáticas de manera gradual y progresiva, fomentando así un aprendizaje significativo y estimulante. A partir del año 2009, se implementó un cambio en el formato, y la solución de los problemas ya no se encuentra vinculada exclusivamente al número del día.



Figura 2. Página mes de julio del calendario de 2023.

La colección de problemas de cada edición del calendario, a partir del 2009, es elaborada y seleccionada por un comité editorial compuesto por docentes de la Escuela de Matemática del TEC. Estos expertos en el campo de las matemáticas se encargan de garantizar la calidad y la pertinencia de los problemas incluidos en el calendario. Además, antes de su publicación, los problemas también pasan por un proceso de revisión llevado a cabo por otros docentes de la Escuela de Matemática. Esta revisión adicional asegura que los problemas sean adecuados para los estudiantes de los niveles iniciales y cumplan con los estándares matemáticos requeridos. De esta manera, se pretende promover un aprendizaje preciso de los conceptos matemáticos involucrados.

El Calendario Matemático Infantil, a lo largo de todas sus ediciones, ha establecido una interesante conexión entre las matemáticas y el arte, al incluir diversas obras artísticas en sus publicaciones. Estas obras han sido proporcionadas por instituciones reconocidas como el Museo de Arte Costarricense, la Asociación Costarricense de Artistas Visuales, la escuela de realismo clásico “7 vidas/Bellas Artes” y la Casa de la Ciudad. Esta fusión entre matemáticas y arte no solo enriquece visualmente el calendario, sino que también promueve una apreciación más amplia de la belleza y la creatividad presentes en ambos campos.



Figura 3. Obras artísticas del calendario 2014 del artista Pedro Arrieta Salazar, fotografías proporcionadas por el Museo de Arte Costarricense.

Usos del lúdicos del Calendario Matemático Infantil

El uso de actividades lúdicas en las clases de matemáticas es de suma importancia especialmente en los primeros años de enseñanza [5], ya que ofrece numerosos beneficios que contribuyen significativamente al aprendizaje y desarrollo integral del alumnado.

El Calendario Matemático Infantil ofrece diversas posibilidades de uso lúdico, brindando al profesorado y estudiantado la oportunidad de aprender matemáticas de manera entretenida. Algunos usos lúdicos que se le pueden dar incluyen:

1. **Desafíos diarios:** Los problemas matemáticos diarios del calendario pueden ser planteados como desafíos para el estudiantado, permitiéndoles poner a prueba sus habilidades matemáticas. Se espera que los estudiantes hayan adquirido los conocimientos necesarios para abordar y resolver un problema, siempre y cuando estos correspondan a su año escolar o a un nivel inferior. No obstante, los problemas de años escolares superiores pueden plantearse como retos, estimulando así el aprendizaje y el crecimiento matemático.
2. **Trabajo en equipo:** Algunos problemas del calendario pueden ser utilizados para trabajar en grupo, usando alguna metodología como el trabajo cooperativo o la gamificación en el aula. El alumnado puede compartir ideas, discutir diferentes estrategias de solución y aprender de las propuestas de solución de sus compañeros, enriqueciendo así su experiencia matemática de manera colectiva.
3. **Competencias matemáticas:** El calendario puede servir como base para organizar competencias matemáticas entre los estudiantes, donde se enfrentan en la resolución de problemas en un ambiente de competencia sana y estimulante.
4. **Creación de problemas:** A partir de los problemas planteados en el calendario, los estudiantes pueden ser motivados a realizar modificaciones o generar problemas similares como ejercicio de creatividad y consolidación de sus habilidades matemáticas.

Conclusiones

El Calendario Matemático Infantil es una herramienta útil para estimular el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de primaria. Los problemas diarios propuestos en el calendario fomentan la resolución de problemas de manera lúdica y creativa, lo que puede generar un ambiente de aprendizaje motivador y enriquecedor. Esto favorece el desarrollo del pensamiento crítico, la toma de decisiones y el razonamiento lógico en el estudiantado, contribuyendo así a superar la idea de que las matemáticas son difíciles o aburridas, y permitiendo que disfruten de esta área del conocimiento.

La variedad de problemas matemáticos incluidos en cada calendario anual abarca distintos niveles de complejidad y temas, según los programas del MEP, lo que facilita su adaptación a los diferentes años escolares y al currículo educativo. Esto permite que las personas docentes puedan utilizar el calendario como una herramienta complementaria en su práctica educativa. Su implementación en las clases puede generar un impacto significativo en el desarrollo de habilidades matemáticas y en la motivación del estudiantado hacia esta disciplina, contribuyendo así a formar futuros ciudadanos con un sólido conocimiento matemático y un gusto por aprender.

Redes sociales del proyecto

Los invitamos a seguir las redes sociales del proyecto:

Facebook: <https://www.facebook.com/calendariomatematicoinfantil>

Instagram: <https://www.instagram.com/calendariomatematicoinfantil/>

TikTok: <https://www.tiktok.com/@calendariomate>

YouTube: <https://www.youtube.com/@CalendarioMatematicoInfantilTE>

Sitio Web: <https://www.tec.ac.cr/calendario-matematico-infantil>

Agradecimiento:

Nuestro reconocimiento al profesor Mario Marín Sánchez por impulsar la iniciativa del proyecto y a la profesora jubilada Sandra Schmidt Quesada por su dedicación y entrega en el proyecto del Calendario Matemático Infantil. La profesora Sandra formó parte del comité editorial durante las 11 primeras ediciones del calendario, su compromiso y trabajo han sido fundamentales para el éxito y la calidad de este proyecto.

Bibliografía

- [1] Instituto Tecnológico de Costa Rica (2020). Modelo Académico del Instituto Tecnológico de Costa Rica. https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/modelo_academico_del_itcr_0.pdf
- [2] Instituto Tecnológico de Costa Rica (2023). Ejes de Conocimiento Estratégicos para el periodo 2023-2032. Sesión Ordinaria AIR-105-2023. Gaceta No. 1086 https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/gaceta_no_1086-2023.pdf
- [3] Ministerio de Educación Pública. (2012). Reforma curricular en ética, estética y ciudadanía programas de estudio de matemáticas I y II Ciclo de la Educación Primaria, III Ciclo de Educación General Básica y Educación Diversificada. Costa Rica. <https://www.mep.go.cr/sites/default/files/programadeestudio/programas/matematica.pdf>
- [5] Erif Ahdhianto , Marsigit , Haryanto, Yogi Nurfauzi (2020). Improving Fifth-Grade Students' Mathematical Problem-Solving and Critical Thinking Skills Using Problem-Based Learning. Universal Journal of Educational Research, 8(5), 2012 - 2021. DOI: 10.13189/ujer.2020.080539.
- [5] Da Silva, L. V., & Angelim, C. P. (2017). O lúdico como ferramenta no ensino da matemática. ID on line. Revista de psicologia, 11(38), 897-909. DOI: <https://doi.org/10.14295/idonline.v11i38.959>

Sobre los autores

Geisel Alpízar-Brenes

Geisel Alpízar es docente, investigadora y extensionista en la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Máster en Matemática Aplicada por la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez y Doctora en Matemática Aplicada por la UNICAMP en Brasil, trabaja específicamente en el área de Biomatemática. Sus áreas de interés es el modelamiento de los procesos biológicos en epidemiología y dinámica poblacional. Actualmente se ha dedicado a tratar de atraer niñas a las áreas de STEM, coordinando el proyecto de Niñas Supercientíficas, formando parte del comité editorial del Calendario Matemático Infantil TEC y de la comisión central de la Olimpiada Costarricense de Matemática para Educación Primaria <https://orcid.org/0000-0001-7672-0715>

Adriana Solís-Arguedas

Adriana Solís es docente en la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Máster en Matemática con énfasis en Matemática Educativa por la Universidad de Costa Rica. Su área de interés es el uso de tecnología para la enseñanza de la matemática. Actualmente forma parte del comité editorial del Calendario Matemático Infantil TEC. <https://orcid.org/0009-0006-7296-3975>

Fuentes alternativas para la resistencia genética contra la roya del café (*Hemileia vastatrix*) a través de inducción de mutaciones

José Andrés Rojas-Chacón

Estudiante de maestría en Ciencia y Tecnología para la Sostenibilidad
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ joseandres97@estudiantes.cr

Fabián Echeverría-Beirute

Escuela de Agronomía
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ fecheverria@itcr.ac.cr

Andrés Gatica-Arias

Escuela de Biología
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
✉ andres.gatica@ucr.ac.cr

Resumen.

El café (*Coffea* spp) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial y provee sustento económico a millones de personas en países en vías de desarrollo. En Costa Rica, la actividad cafetalera está liderada por pequeños y medianos productores, lo que beneficia a 38 804 familias dedicadas al cultivo distribuidas en ocho regiones del país. La producción de café es especialmente susceptible al ataque de plagas y enfermedades. La roya es causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, y considerada la principal enfermedad del café distribuida ampliamente en las regiones productoras. El mejoramiento del café y la obtención de un nuevo cultivar con base en las metodologías tradicionales, es un proceso que requiere alrededor de treinta años. Sin embargo, la de inducción de mutaciones brinda un gran potencial para inducir nueva variación genética necesaria para el mejoramiento del café. Debido a que el café es uno de los cultivos principales en Costa Rica considerado entre los mejores del mundo, la actividad cafetalera del país está en juego ante el ataque de enfermedades como la roya. Por esta razón, es que surge la necesidad encontrar nuevas alternativas de resistencia genética para

el control de la roya. Hasta la fecha el TEC en conjunto con la UCR cuentan con materiales en campo desarrollados por mutagénesis que han sido evaluados ante el ataque de roya. De las poblaciones M2, se han logrado seleccionar genotipos promisorios, los cuales han generado poblaciones en etapa M3. Los materiales con una respuesta de menor incidencia de roya han demostrado que la metodología de mutagénesis indujo variaciones aún no conocidas en el genoma, siendo recursos genéticos con potencial a ser incluidos en programas de mejoramiento genético hacia una resistencia más duradera.

Palabras clave:

mutagénesis, café, mejoramiento genético, roya, recursos fitogenéticos.

Introducción

En Costa Rica, el sector cafetalero ha enfrentado una serie de, tales como el cambio climático, y el incremento en los costos de los fertilizantes, que junto los bajos precios internacionales y la antigüedad de los cafetales, en el 2012-2013 la enfermedad de la roya ocasionó pérdidas estimadas en \$500 millones, debido a la reducción en un promedio del 17% con respecto a periodos anteriores. La sostenibilidad y rentabilidad del cultivo es un problema creciente (Avelino et al., 2015; Toniutti et al., 2017) y una de las limitantes es la escasez de diversidad de recursos genéticos, especialmente del café arábico (Alemayehu, 2017; Labouisse et al., 2008).

La roya del café es provocada por el hongo *Hemileia vastatrix*, quien cuenta con una gran diversidad de razas patogénicas distribuidas a nivel mundial (Cabral et al., 2016; Talhinhos et al., 2017). En los últimos años, estas razas se han propagado rápidamente y se han detectado aislamientos más virulentos que han logrado superar la resistencia de genotipos que hasta el momento resistían la infección de razas locales (Capucho et al., 2012; Toniutti et al., 2017). El caso más reciente es la variedad Costa Rica-95, la cual, en el año 2019, reveló la pérdida de su resistencia ante la roya (Ramírez, 2019). Igualmente, Obatá, Topazio y otras variedades en Brasil, han sido también reportadas. El vacío en nuevas fuentes de resistencia genética, el aumento de los costos en insumos, así como, los constantes cambios en la dinámica climática, se ve la necesidad de desarrollar nuevas fuentes de resistencia más duraderas.

La incorporación de genes que confieran características de interés agronómico de las variedades comerciales de café mediante mejoramiento genético convencional es un proceso largo y difícil de lograr (Villalta-Villalobos & Gatica-Arias, 2019). Al contrario, la alta abundancia, capacidad de transferencia de los factores de virulencia, mutaciones y ciclos cortos por parte del hongo, posibilita la aparición de diversidad patogénica que fácilmente sobrepasan las barreras genéticas de su hospedero café (Capucho et al., 2012). Debido a ello, el desarrollo de nuevas técnicas para el mejoramiento tradicional, así como no tradicional, deben ser exploradas, validadas y continuamente mejoradas.

En este sentido, esta propuesta de estudio se originó con la necesidad de contar en Costa Rica con nuevas alternativas de resistencia genética para el control de la roya. A este respecto, el desarrollo de nuevos materiales de café por medio de técnicas no convencionales de mejora genética, como lo es la mutagénesis química, podría favorecer a largo plazo, el mantenimiento de una producción estable de café de calidad.

¿Qué es la mutagénesis química?

La mutagénesis se describe como una técnica de exposición de cualquier material biológico a un agente mutagénico, que eleva la frecuencia de mutaciones en el ADN por encima de la tasa espontánea natural (Mishra et al., 2020). Los mutágenos químicos reaccionan con las bases nitrogenadas del ADN provocando mutaciones de inserción, eliminación, transición y transversión de las mismas (Kashtwari et al., 2022) (Figura 1).

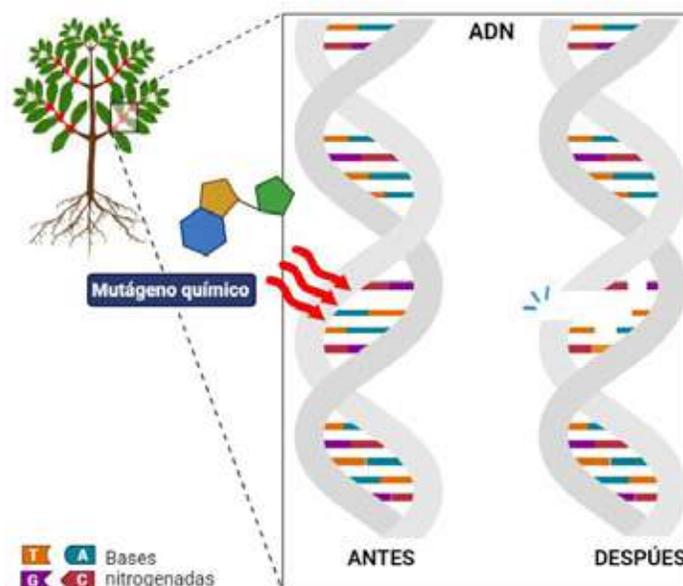


Figura 1. Esquema representativo de la mutagénesis química en genotipos de café. Creado con BioRender.com.

Las nuevas técnicas de mejoramiento incluyen tecnologías para la introducción de nuevas variaciones en las plantas. En el caso de *C. arabica*, la inducción química de mutaciones representa un mecanismo para introducir variaciones genéticas que podrían no estar presentes de manera natural. Por lo tanto, el mejoramiento por mutación se ha vuelto más popular por ser una herramienta eficaz para inducir nuevas alteraciones genéticas, las cuales pueden o no alterar características de rendimiento, tolerancia al estrés abiótico, así como, la resistencia a enfermedades y plagas. Para este caso, la inducción de mutaciones permite generar poblaciones numerosas de plantas, las cuales pueden ser evaluadas en campo, o mediante ensayos de infección ex planta, para detectar posibles modificaciones al fenotipo de susceptibilidad de muchas variedades de *C. arabica* L.

La mutagénesis química también se ha utilizado para el desarrollo de resistencia en contra la marchitez del banano provocada por *Fusarium oxysporum* (Kishor et al., 2017). Otras investigaciones, trabajaron con mutantes que mostraran resistencia al virus de la hoja amarilla (Kona et al., 2019). En Costa Rica, la inducción de mutaciones ha sido utilizada con éxito en la búsqueda de materiales con tolerancia a herbicidas en el cultivo de arroz (Hernández-Soto et al., 2022).

Metodología

Preparación de almácigos

La Sede del Atlántico de la Universidad de Costa Rica (UCR), proporcionó frutos maduros de café (*Coffea arabica* L. var Catuaí) M2. Así mismo, el Laboratorio de Biotecnología de Plantas de la Escuela de Biología de la UCR cuenta con mutantes candidatos de café M1V1. Ambos materiales fueron generados mediante mutagénesis en estado de semillas y callo embriogénico, respectivamente, y trasladados al Campus Tecnológico Local San Carlos.

El almácigo de café fue sembrado en bolsas de polietileno con un sustrato de 50% suelo, 25% compost orgánico, y 25 % de granza de arroz. Las plantas en almácigo fueron ubicadas en el laboratorio de Ambientes Controlados del Campus San Carlos (Figura 2), bajo condiciones de temperatura >25°C, una humedad relativa >80 % y fotoperiodo de 12 horas. El almácigo posterior a los 4 meses de establecido fue reubicado a invernadero.



Figura 2. Plántulas de café M2 establecidas a los 90 días después del trasplante bajo condiciones controladas (temperatura >25°C, una humedad relativa >80 % y fotoperiodo de 12 horas). Laboratorio de Ambientes Controlados, TEC.

Evaluación de la patogenicidad de la roya

Se visitaron diferentes regiones cafetaleras del país, con distintos variedades y accesiones donde se procedió a coleccionar las muestras de hojas infectadas. Se cortaron discos de hojas de los diferentes genotipos huésped (plantas mutantes y variedades comerciales: Venecia, Costa Rica 95, Catuaí y la especie *C. canephora* var Robusta), y se transfirieron a recipientes transparentes de plástico que contenían una espuma saturada con agua.

La inoculación de los discos de hoja se realizó en la superficie abaxial, donde se colocó una gota de 0.05 ml de la solución de uredósporas de *H. vastatrix* más agua destilada y 2 mM de tween 20, hasta llegar a una concentración de 2.3×10^5 uredósporas/ml, y se mantuvo en agitación constante hasta su uso. Después de este procedimiento, los recipientes se transfirieron a una incubadora a total oscuridad, con una temperatura promedio de 22.5 ± 1.5 °C durante 48 h y una humedad relativa cercana al 100 %. Luego de transcurrido este período, los discos foliares se limpiaron con algodón para eliminar las uredósporas que quedaban, para evitar la posterior colonización por hongos hiperparásitos, y se mantuvieron en incubación a 23 ± 1.5 °C y fotoperíodo de 12 h, hasta la aparición de los síntomas y signos del patógeno.

Se logró evaluar semanalmente el comportamiento de incidencia, severidad, período de incubación y latencia de discos foliares de plantas de café al ser inoculados. En cada evaluación se tomaron fotografías generales de cada cámara húmeda, registrando los segmentos con necrosis, manchas cloróticas y estructuras infectivas (uredósporas).

Resultados

De acuerdo con el comportamiento de la enfermedad, fue posible identificar plantas con diferentes niveles de tolerancia de la enfermedad (valores de severidad cero hasta seis, como máximo) (Figura 3). Esto permitió caracterizar y describir la respuesta de las plantas ante el ataque del hongo, encontrando algunas mutantes de café susceptibles, algunas otras presentaron niveles de tolerancia o hasta resistencia. La respuesta de menor incidencia de roya bajo condiciones controladas de laboratorio demuestra que la metodología de mutagénesis indujo variaciones aún no conocidas en el genoma, siendo recursos genéticos con potencial a ser incluidos en programas de mejoramiento genético hacia una resistencia durable.

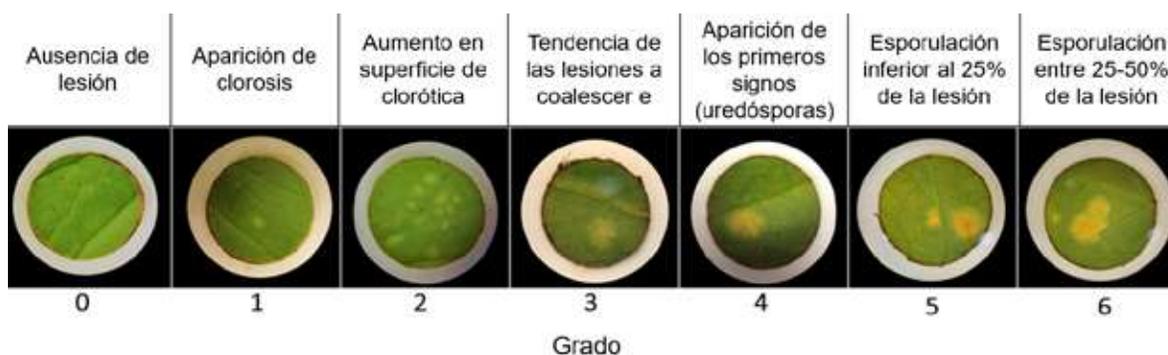


Figura 3. Comportamiento de la roya de café (*H. vastatrix*) en discos de hoja de plantas mutantes bajo condiciones controladas.

Una vez las plantas evaluadas, estas fueron trasladadas en una pequeña colección de materiales en campo ubicada en el Campus Tecnológico Local San Carlos, en donde, además, se han estado evaluando en términos de crecimiento, producción y adaptación a la zona (Figura 4).

Por otra parte, mediante un trabajo de graduación el estudiante Juan Miguel Zúñiga en la UCR, trabajó en caracterizar morfológica y molecularmente la diversidad genética de los aislamientos de roya recolectados, según condición agroclimática, hospedero y fenología de la planta. Se observó una tendencia de distribución genética según región productora o condición climática, las cuales merecen atención, ya que podrían ser de suma importancia en futuros estudios para comprender si el clima o la localidad, son determinantes en la existencia de la distribución de genotipos diferentes de las muestras de roya, o si más bien, el factor genético del huésped es el de mayor efecto en la variabilidad del patógeno.

El siguiente paso de la investigación consistiría en probar esas nuevas líneas de café promisorias en diferentes localidades del país, para reafirmar si la característica de resistencia se mantiene y entonces valorar la posibilidad de hacer cruces con otros materiales de importancia agronómica. Además, se realizará con la selección de plantas en campo y poblaciones de semillas derivadas en las etapas M3 y M₂V₂.



Figura 4. Colección de materiales de café (mutantes y variedades comerciales) establecidos en campo, Campus Tecnológico Local San Carlos.

Consideraciones finales

Se logró obtener una metodología para evaluar la incidencia y severidad en discos foliares de la roya en el café bajo condiciones controladas.

Se logró corroborar los niveles de tolerancia a la roya en las plantas evaluadas, sin embargo, aún se requiere mayor investigación al respecto.

Se logró establecer una pequeña parcela de colección de los materiales mutantes y variedades comerciales en campo, para futuros estudios de investigación y extensión.

En Costa Rica, el principal café cultivado es Arábica y este ha sido un motor clave en el desarrollo socioeconómico. En nuestro país, la actividad cafetalera beneficia a 38 804 familias productoras de café en ocho regiones del país, que suman más de 91 000 hectáreas, lo que representa un 1.8% del territorio nacional. La importancia de este estudio radica en que si no existen nuevos cultivares para la siembra y producción del café, Costa Rica dejaría de percibir alrededor de \$US 352 billones anuales, con su impacto no sólo a la cadena de valor, si no un 7.7 % del PIB. En este sentido, desde el 2015 la UCR junto con el TEC han venido trabajando en generar soluciones novedosas y prácticas en el área de mejoramiento genético en café, promoviendo el acercamiento efectivo y oportuno con el sector cafetalero.

Bibliografía

- Alemayehu, D. (2017). Review on genetic diversity of coffee (*Coffea arabica*. L) in Ethiopia. *International Journal of Forestry and Horticulture (IJFH)*, 3(2), 18–27. <https://doi.org/10.20431/2454-9487.0302003>
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., & Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7(2), 303–321. <https://doi.org/10.1007/S12571-015-0446-9/FIGURES/10>
- Cabral, P. G. C., Maciel-Zambolim, E., Oliveira, S. A. S., Caixeta, E. T., Zambolim, L., Bosa, V., Gerais, M., Mandioca, E., Fruticultura, C., & Das Almas, B.; (2016). Genetic diversity and structure of *Hemileia vastatrix* populations on *Coffea* spp. *Plant Pathology*, 65(2), 196–204. <https://doi.org/10.1111/PPA.12411>
- Capucho, A. S., Zambolim, E. M., Freitas, R. L., Haddad, F., Caixeta, E. T., & Zambolim, L. (2012). Identification of race XXXIII of *Hemileia vastatrix* on *Coffea arabica* Catimor derivatives in Brazil. *Australasian Plant Disease Notes*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s13314-012-0081-7>
- Hernández-Soto, A., Méndez-Navarro, D., Perez, J., Gatica-Arias, A., Vargas-Segura, W., Echeverria-Beirute, F., & Abdelnour-Esquivel, A. (2022). Tolerance to aryloxy-phenoxy-propionate (APP) as a model for Lazarroz FL rice in vitro gamma irradiation variability selection. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1950230/v2>
- Kashtwari, M., Mansoor, S., Wani, A. A., Najjar, M. A., Deshmukh, R. K., Baloch, F. S., Abidi, I., & Zargar, S. M. (2022). Random mutagenesis in vegetatively propagated crops: opportunities, challenges and genome editing prospects. In *Molecular Biology Reports* (Vol. 49, Issue 6, pp. 5729–5749). <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06650-0>
- Kishor, H., Prabhuling, G., Ambika, D. S., & Abhijith, Y. C. (2017). Chemical induced mutations for development of resistance in banana cv. *Nanjanagudu Rasabale*. *Crop Research*, 52(6), 234–239. <https://doi.org/10.5958/2454-1761.2017.00023.7>
- Kona, P., Kumar, M. H., Reddy, K. H. P., Hemalatha, T. M., Reddy, D. M., Reddy, N. P. E., & Latha, P. (2019). Regeneration and evaluation of somaclones of sugarcane variety Co86032 for yellow leaf disease resistance and yield traits. *Journal of Biosciences*, 44(2). <https://doi.org/10.1007/s12038-019-9846-x>
- Labouisse, J. P., Bellachew, B., Kotecha, S., & Bertrand, B. (2008). Current status of coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources in Ethiopia: Implications for conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(7), 1079–1093. <https://doi.org/10.1007/S10722-008-9361-7/FIGURES/4>

- Mishra, S. N., Pradhan, P. C., Kumar, A., & Kumar, M. (2020). Studies on the Effect of Sodium Azide on the Germination Percentage and Yield Product in Tomato Variety (*Solanum lycopersicum*, LINN) Pusa Sadabahar. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(4). <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.904.009>
- Ramírez, J. 2019. ¿Por qué la roya quebró la resistencia de la variedad CR-95 en cafetales de la Península de Nicoya, Costa Rica? Comunicaciones Técnicas de Café. Número 98. Disponible en: <https://www.ramirezcaficulturadesdecostarica.com/ct-98>
- Talhinhas, P., Batista, D., D. I., Vieira, A., Silva, D., Loureiro, A., & do Céu Silva, M. (2017). Pathogen profile the coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology*, 18 (8). <https://doi.org/10.1111/mpp.12512>
- Toniutti, L., Breitler, J. C., Etienne, H., Campa, C., Doubeau, S., Urban, L., Lambot, C., Pinilla, J. C. H., & Bertrand, B. (2017). Influence of environmental conditions and genetic background of arabica coffee (*C. arabica* L) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.02025>
- Villalta-Villalobos, J., & Gatica-Arias, A. (2019). Una mirada en el tiempo: mejoramiento genético de café mediante la aplicación de la biotecnología. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 577–599. <https://doi.org/10.15517/AM.V30I2.34173>

Sobre los autores

José Andrés Rojas-Chacón

José Andrés Rojas es estudiante de la maestría en Ciencia y Tecnología para la Sostenibilidad (DOCINADE), del TEC, Campus Local San Carlos. (<https://orcid.org/0000-0001-8049-532X>).

Fabián Echeverría-Beirute

Fabián Echeverría es profesor e investigador de la Escuela de Agronomía del TEC. Ingeniero en biotecnología. Actualmente es el coordinador del Centro de Investigación y Desarrollo en Agricultura Sostenible del Trópico Húmedo, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. (<http://orcid.org/0000-0002-7238-220X>).

Andrés Gatica-Arias

Andrés Gatica profesor catedrático e investigador de la Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. Ingeniero en biotecnología. San José, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. (<https://orcid.org/0000-0002-3841-0238>).

Laboratorio de Análisis Agronómico, ayer, hoy y mañana.

Marieta Murillo-Moya

Laboratorio de Análisis Agronómico, CIDASTH,
Escuela de Ingeniería en Agronomía
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ marmurillo@itcr.ac.cr

Sayleen Rojas-Valerio

Laboratorio de Análisis Agronómico, CIDASTH
Escuela de Ingeniería en Agronomía
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ sarojas@itcr.ac.cr

Edwin Esquivel-Segura

Laboratorio de Análisis Agronómico, CIDASTH
Escuela de Ingeniería en Agronomía
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ eesquivel@itcr.ac.cr

Resumen

La investigación, extensión, docencia y producción que se realiza en el campo de la Agronomía dependen de la calidad de los recursos y entre ellos el suelo, para ello es indispensable conocer los niveles de los nutrimentos fundamentales para las plantas en el suelo y así mismo, corroborar estos niveles en las plantas cultivadas. El Laboratorio de Análisis Agronómicos posee una amplia experiencia en el análisis de suelos y tejidos vegetales que ha permitido a investigadores, extensionistas, estudiantes y productores incrementar los rendimientos de los cultivos implementando mejoras a nivel de suelo. Hoy el laboratorio ha aumentado el número de determinaciones de manera sostenida teniendo más no solo los clientes internos sino también los externos. Con el objetivo de mejora constante seguirá trabajando en el incremento la productividad de la Región desde la investigación y la extensión con apoyo de estudiantes realizando tesis y sirviendo a los productores agropecuarios.

Palabras claves:

Análisis de Suelo, Análisis Foliar, Análisis Bromatológico.

Inicios

San Carlos esta entre los cantones más productivos de Costa Rica desde el punto de vista agronómico. En la Escuela de Ingeniería en Agronomía, se creó el Laboratorio de Análisis Agronómicos en el año 2010, con el objetivo de poder brindar el servicio de análisis a los productores de la Región, y también para apoyar los procesos de Docencia, Investigación y Extensión que se realizan en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Además de ser el cantón con mayor extensión territorial del país, San Carlos es considerado altamente productivo y ha aumentado el número de emprendimientos en los últimos años; su desarrollo implica un amplio crecimiento en agricultura, ganadería, industria y empresarial. Su ubicación geográfica y variedad de relieve, así como su particular clima, hace de este lugar un punto clave para el enriquecimiento de actividades agronómicas.

Aferrados a la necesidad de facilitar las comodidades a todos los emprendedores, así como el apoyo en la Docencia, Investigación y Extensión de la Zona Norte, es que nace la idea de crear un laboratorio que brinde los servicios de análisis para muestras de suelos, foliares, abonos orgánicos y bromatológicos, el cual ayude en la mejora de los cultivos, identifique problemas de nutrición y aumente la productividad con un mejor tratamiento a los suelos. Así como un ambiente más propicio, para la enseñanza y apoyo a carreras afines con dicho proceso.

Apoyados por la Escuela de Ingeniería en Agronomía y su Centro de Investigación y Desarrollo en Agricultura Sostenible para el Trópico Húmedo (CIDASTH), y bajo la Coordinación de los Ingenieros Arnoldo Gadea Rivas y Parménides Furcal Beriguette; así como la colaboración de Sailim Rojas Valerio como Laboratorista Químico, es como en el año 2010 inicia el proyecto del Laboratorio de Análisis Agronómicos (LAA), comenzando con la compra de material y equipo, además de la implementación en los métodos de análisis específicos para el ámbito deseado.



Presente

El LAA, después de 13 años, continúa brindando sus servicios, actualmente realiza la venta de análisis a pequeños y grandes productores de la zona provenientes de dentro y fuera del país. El desarrollo de empresas relacionadas con tubérculos, piñeras y plantas ornamentales, así como la extensión en ganadería de leche y engorde, hace de la zona un punto clave, que ha permitido el aumento en la cantidad de muestras y de análisis año con año.

Durante este tiempo ha contado con el apoyo institucional de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, la Vicerrectoría de Docencia y el Campus Tecnológico Local San Carlos. El LAA cuenta con 250 metros cuadrados de espacio físico, en el cual se realizan análisis mediante equipos especializados para tal fin, utilizando las técnicas de absorción atómica, DUMAS, Ultravioleta visible, gravimetría, colorimetría; además los protocolos utilizados están estandarizados con el objetivo de brindar seguridad a los clientes de los resultados obtenidos.

Analizando los últimos 5 años, ha venido incrementando la cantidad de determinaciones realizadas. El año 2018 fue un año excepcional de un aumento de muestras y el año 2020 realizó 512 muestras menos que el 2019. En año 2022 se realizaron análisis con un incremento de un 205 % en relación con el año 2020 y un 152 % con respecto al 2021.



Figura 1: Cantidad de análisis realizados por año en el Laboratorio de Análisis Agronómico entre el año 2018 y 2022

Dentro de los servicios ofrecidos se incluyen determinaciones de calcio, magnesio, potasio, fósforo, cobre, manganeso, hierro, zinc, carbono, nitrógeno y azufre. Además, para las muestras de suelo se ofrece pH, acidez, materia orgánica, análisis granulométrico, conductividad eléctrica, densidad aparente, densidad de partículas, humedad. Para las muestras foliares se incluye la proteína, boro, materia seca a 55°C y 105°C.

En apoyo al sector ganadero, de gran importancia en la Zona Norte, se realizan los análisis bromatológicos que permiten mejorar la nutrición animal, estos incluyen fibra digestión ácida, fibra digestión neutra, ceniza, humedad, materia seca, carbono orgánico, proteína y digestibilidad *in vitro*.

Por el alto precio de los fertilizantes químicos en los últimos años los productores de la zona se han encontrado en los abonos orgánicos una alternativa para la nutrición de sus cultivos, mejorando los índices ambientales al mismo tiempo, en consecuencia, el laboratorio realiza análisis a muestras de abonos orgánicos líquidos y sólidos.

En los primeros 4 meses del 2023 se han recibido un total de 549 muestras lo que representa un aumento del 4,2 % con respecto a las muestras recibidas en el mismo periodo del año anterior tal y como se detalla en Cuadro 1.

Cuadro 1: Total de muestras recibidas en cada uno de los diferentes tipos de muestras recibidas para este 2023 desglosada por mes y total para el 2022 en el Laboratorio de Análisis Agronómicos.

	Suelo	Foliar	Bromatológico	Abono Orgánico Líquido	Abono Orgánico Sólido
Enero 2023	17	132	0	0	0
Febrero 2023	69	29	1	2	0
Marzo 2023	95	50	6	4	3
Abril 2023	103	26	7	2	3
Total 2023	284	237	14	8	6
Total 2022	299	209	10	4	5

Fuente: Elaboración Propia

En los últimos 5 años se ha colaborado en la realización de ocho tesis de estudiantes que optaron por el grado de Ingeniero Agrónomo, ya para este año 2023, se cuenta con una tesis que incorporará en un sistema de información geográfica los resultados obtenidos en los análisis desde el 2014; detallando más esta tesis, la misma permitirá evaluar cambios en la fertilidad de los suelos de los distritos en los que se tienen registros, de esta manera se podrán planificar nuevas investigaciones y proyectos de extensión con el objetivo de mejorar la productividad del Cantón.

Para lograr estos resultados también se ha contado con la colaboración de estudiantes de la carrera de Agronomía en labores de asistencia al laboratorio, muchos de ellos han permanecido por varios semestres; hoy regresan con muestras como profesionales confiando en los análisis que se brindan, pero también convirtiéndose en promotores de los servicios ofertados.



Créditos: Maribel Jiménez Montero

Futuro

Viendo al futuro, el LAA ha planificado continuar sirviendo a la comunidad con los análisis hasta ahora brindados, y además se tiene previsto diversificar aún más los servicios ofrecidos.

No podemos finalizar este documento sin agradecer a todos los productores y profesionales que han confiado en el LAA para la realización de análisis, el equipo de trabajo del laboratorio, actualmente conformado por Marieta Murillo Moya y Saylim Rojas Valerio como laboratoristas y Edwin Esquivel Segura en la coordinación mantienen un compromiso de mejora continua para cumplir con los objetivos planteados.



Sobre los autores:

Marieta Murillo-Moya

Marieta Murillo Moya es Diplomada en Laboratorista Químico, graduada de la UCR, funcionaria del Tecnológico de Costa Rica desde el año 2017, se desempeña como Técnico de Laboratorio en el Laboratorio de Análisis Agronómicos, en el cual se realizan servicios de investigación y extensión, venta de servicios y docencia. Trabajó en Industria Alimenticia, en COOPROLE R.L, en el Laboratorio de Recibo de Leche por 17 años, en aseguramiento de la calidad.

Sayleen Rojas-Valerio

Sayleen Rojas Valerio es Diplomada en Laboratorista Químico, graduada de la UCR, funcionaria del Tecnológico de Costa Rica desde el año 2001, se desempeña como Técnico de Laboratorio en el Laboratorio de Análisis Agronómicos, en el cual se realizan servicios de investigación y extensión, venta de servicios y docencia. Inició trabajando en el Laboratorio de Carnes del TEC, en proyectos de investigación.

Edwin A. Esquivel-Segura

Edwin A. Esquivel Segura, Ingeniero Forestal realizó postgrados con énfasis en suelos, labora como profesor, investigador y extensionista en la Escuela de Ingeniería en Agronomía donde coordina el Laboratorio de Análisis Agronómicos desde inicios del 2023. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9553-060X>

Mejora de la eficiencia operativa de productores agrícolas de la Sociedad de Usuarios de Agua (SUA) Sanatorio, Cartago, Costa Rica. Etapas I y II.

Natalia Gómez-Calderón

Escuela de Ingeniería Agrícola
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ ngomez@itcr.ac.cr

Karolina Villagra-Mendoza

Escuela de Ingeniería Agrícola
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ kvillagra@itcr.ac.cr

Resumen.

La Sociedad de Usuarios de Agua Sanatorio, SUA Sanatorio, es concesionaria de un caudal de agua para riego restringido en cantidad y tiempo, por lo que la distribución entre los productores requiere ser eficiente y la optimización del uso de los recursos es una necesidad en la zona. Se generaron mapas digitales de las áreas productivas del SUA Sanatorio de textura, humedad y consistencia del suelo (Etapa I) y de resistencias del suelo e infiltración (Etapa II) con el fin de capacitar a los productores en el manejo de los recursos suelo y agua, específicamente en la eficiencia de la labranza y el riego. Por medio de mediciones en el campo, visitas a los productores y talleres de campo, se hizo énfasis en la posibilidad de utilizar equipo menor para la preparación del suelo, e importancia del uso de emisores de agua de bajo caudal para el riego. Se reforzaron el uso de técnicas y herramientas que les permitan conocer las condiciones en campo para tomar mejores decisiones sobre la gestión de sus áreas productivas.

Palabras clave:

SUA Sanatorio, áreas productivas, conservación de suelo, labranza, agricultura digital, riego eficiente

1. Introducción

La Sociedad de Usuarios de Agua Sanatorio, SUA Sanatorio, es concesionaria de agua para riego y beneficiaria del Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), que ha construido tomas de agua en las nacientes del Río Reventado (Figura 1) para abastecer diferentes grupos de productores agrícolas. Debido a que la concesión entrega un caudal de agua restringido cada cierto tiempo, la distribución entre los productores requiere ser eficiente y la optimización del uso de los recursos es una necesidad en la zona donde se ubican las 67 parcelas que conforman la SUA en Tierra Blanca, Potrero Cerrado y Oreamuno en Cartago, Costa Rica, grupo de beneficiarios directos del proyecto. Dichas necesidades implican conocimientos de manejo de suelos, porque es el recurso que retiene el agua de riego entre entregas. Además, las zonas productivas se ubican en sitios susceptibles a la erosión y a la compactación acrecentada por la labranza convencional del suelo y las condiciones de ladera [1], [2], situaciones que han sido investigadas por las extensionistas ejecutoras de este proyecto.



Figura 1. Toma de agua, conducción y reservorio de agua de SUA Sanatorio para riego.

En la Figura 2 se muestra la distribución de algunas áreas según la textura del suelo, encontrándose fincas con texturas más gruesas en zonas de mayor altura y menor grosor hacia el sur.

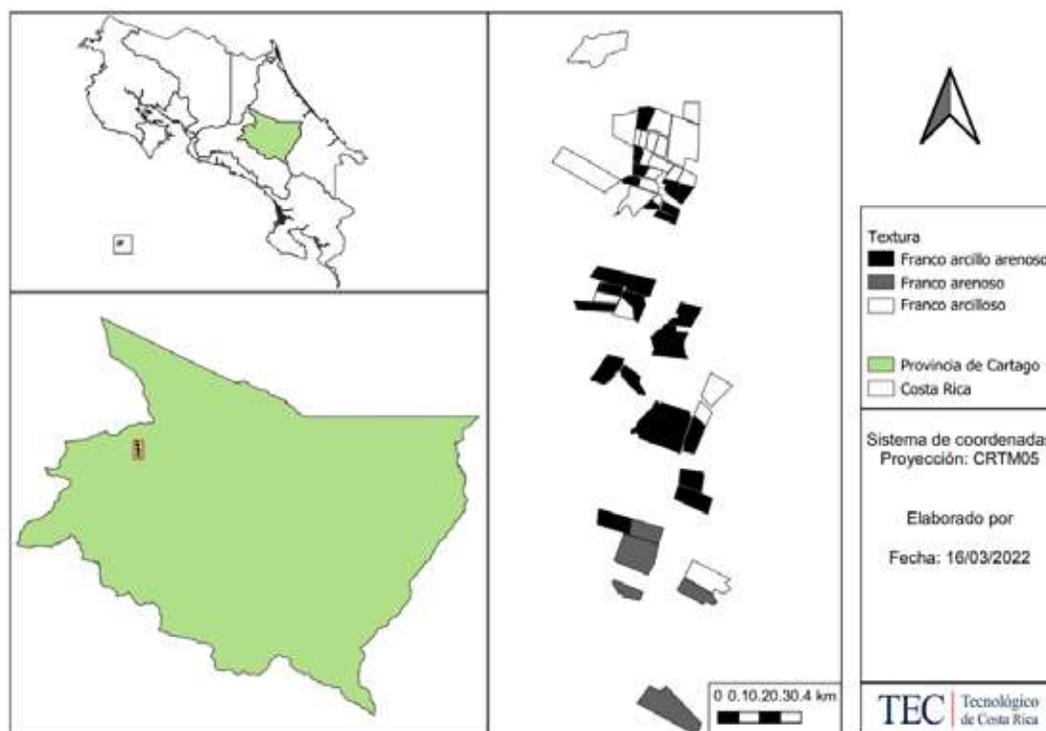


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio y las parcelas de usuarios del agua muestreadas. Fuente: [3]

El objetivo del trabajo fue brindar información a la Sociedad de Usuarios de Agua (SUA) Sanatorio para el uso, manejo y conservación del suelo y agua para riego, generando información georreferenciada de las áreas productivas y compartiendo el conocimiento a los productores por medio de días de campo, y así favorecer una SUA mejor informada para el manejo adecuado del suelo y agua.

2. Estrategia de abordaje de la población

En la Etapa I (2021), se creó un mapa digital con los puntos de muestreo e información sobre las características físicas de los suelos hortícolas como textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, agua disponible para las plantas, límites de consistencia y pH, lo que permite diseñar riego eficiente y sistemas de manejo y conservación de suelos. En la Etapa II (2022), se incluyó información sobre capacidad de infiltración y resistencia del suelo, con el fin de recomendar tiempos de riego evitando escorrentía y tipos de preparación de suelo mecanizado acorde con las características del terreno.

La digitalización de la información, a una escala 1:5000, permitió realizar recomendaciones de manejo del suelo y del agua para riego, puntuales a los productores, por medio de días de campo (Figura 3). El contacto directo con los productores, de las fincas estudiadas, permitió brindar capacitaciones personalizadas en cuanto a las técnicas de medición de los parámetros del suelo y su adecuado manejo.

Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Física de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC (Figura 4), para obtener textura, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), agua disponible para las plantas (ADP) y límites plásticos. La digitalización y análisis de los datos se realizó en el Laboratorio de Modelación y Análisis de Datos de la misma escuela.

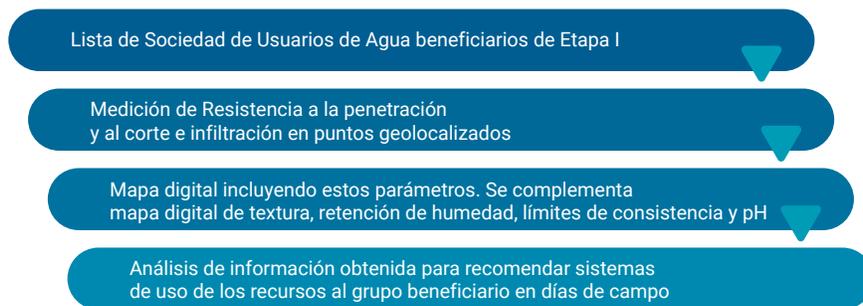


Figura 3. Esquema del trabajo realizado, desde la escogencia de los productores hasta la capacitación personalizada para el manejo adecuado de los recursos.



Figura 4. Procesamiento de muestras en el Laboratorio de Física de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola. Fuente: [3]

3. Mediciones y Resultados

El Cuadro 1 resume la distribución de la textura correspondiente a las fincas en estudio, con la georreferenciación de cada punto de muestreo. Con ello se identificó la predominancia de la textura en la zona de estudio.

Cuadro 1. Texturas identificadas en cada punto de muestreo de la zona de estudio

Textura	Área (ha)	Predominancia (%)
Franco arcillo arenoso	21.9	42
Franco arenoso	21.4	41
Franco arcilloso	8.8	17

El agua disponible para las plantas (ADP) se obtuvo de restar el contenido de humedad de CC – PMP, esta información es clave para la elaboración de diseños de riego en la zona de estudio (Cuadro 2). Tanto para la textura franco-arcillosa como para la franca arenosa se observa que el ADP es muy similar, por el contrario, para la franca arcillosa se observa una menor disponibilidad.

Cuadro 2. Contenidos de humedad del suelo para las texturas analizadas en la zona de estudio

Textura	Predominancia (%)	Densidad aparente, g/cm ³ (Da)	Capacidad de Campo (CC)	Punto de Marchitez Permanente (PMP)	Agua disponible para planta (ADP)
Franco arcillo arenoso	42	1.23 ± 0.06	40.86 ± 2.89*	24.96 ± 2.74***	16.26 ± 3.09
Franco arenoso	41	1.28 ± 0.07	40.80 ± 2.98*	22.61 ± 2.62***	17.52 ± 3.49
Franco arcilloso ¹	17	1.06	40.66**	23.91***	4.40

¹solo se muestreó un punto con una textura franco-arcillosa

*determinado a -6 kPa de potencial mátrico

**determinado a -33 kPa de potencial mátrico

*** determinado a -1500 kPa de potencial mátrico

El cuadro 3 brinda información sobre la consistencia del suelo. Se observa que los suelos de textura franco arcillo arenoso y franco arenoso cuentan con un índice de plasticidad menor comparado con el suelo franco arcilloso. Esto indica que el rango de humedad de trabajo de los primeros es mucho más limitado que el franco arcilloso. Esto es importante para realizar labores de preparación de suelos en condiciones de friabilidad, que es cuando el suelo responde mejor a la acción de los implementos, y tiene menores requerimientos de tracción y energía para la preparación del suelo [4].

Cuadro 3. Plasticidad del suelo para las texturas analizadas en las fincas estudiadas

Textura	Predominancia (%)	Límite plástico inferior (LPI)	Límite plástico superior (LPS)	Índice de plasticidad (IP)
Franco arcillo arenoso	42	38.4±5.1	36.0±5.2	2.45±0.1
Franco arenoso	41	31.1 ±3.3	28.8±3.2	1.87±1.5
Franco arcilloso	17	43.5±7.5	30.1±4.1	13.4±3.4

Las mediciones de las resistencias del suelo, muestran que para ninguna de las fincas, la resistencia al corte demanda una potencia mayor a los 30 kW de potencia, para mecanizar el suelo a 30 cm de profundidad con una velocidad de avance de la maquinaria inferior a los 10 km h⁻¹, por lo que se puede promover entre los productores el uso de maquinaria menor para la labranza [5]. Esto puede contribuir a la conservación del suelo de la zona. En la figura 5, se muestran los puntos medidos, en las diferentes fincas, de la resistencia al corte a una profundidad de 15 cm, profundidad de labranza de los implementos comúnmente utilizados para conformar las camas de siembra en la zona.

La resistencia a la penetración se mantuvo, en la mayoría de las fincas, a valores inferiores a 1.3 MPa, a excepción de tres puntos de muestreo con valores superiores al límite a 15 y 30 cm. Esta información, permitirá mantener en observación el manejo del suelo y los métodos de labranza aplicados por el productor, con el fin de mejorar procedimientos y evaluar rendimientos de los cultivos que pueda indicar alteraciones en el crecimiento radicular. En la figura 6, se muestran los puntos de la medición de la resistencia a la penetración a 15 de profundidad en la zona en estudio.

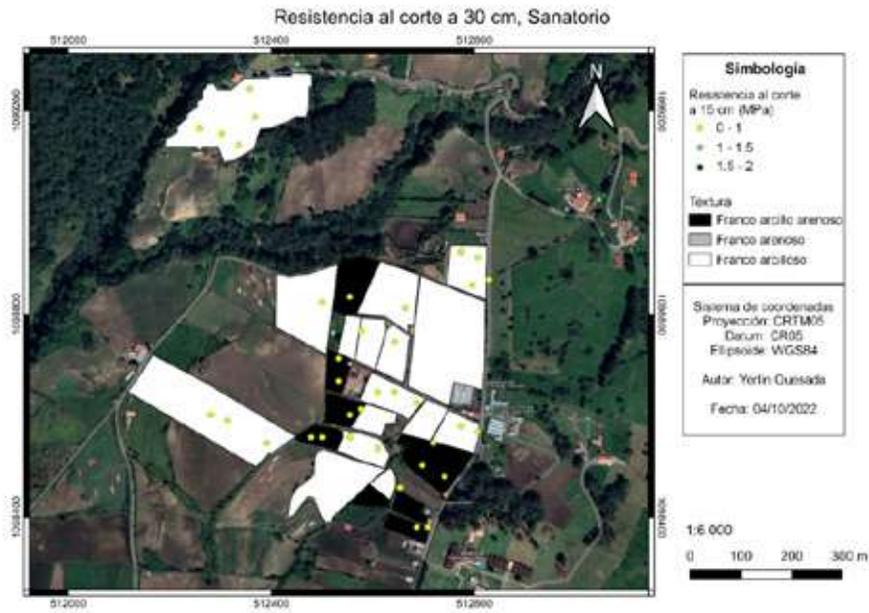


Figura 5. Puntos de muestreo de la resistencia al corte a una profundidad de 15 cm en la Sociedad de Usuarios de Agua del Sanatorio, Cartago. Fuente: [6]

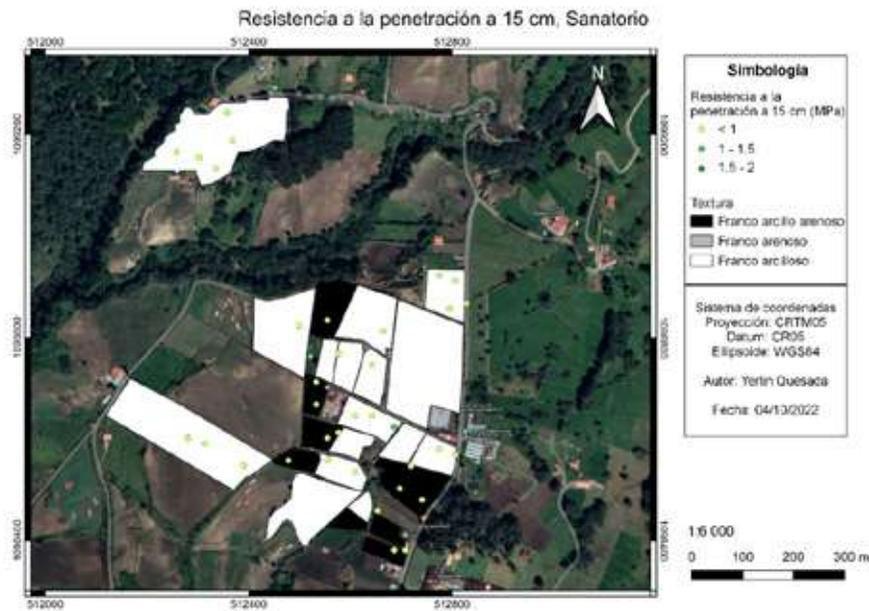


Figura 6. Puntos de muestreo de la resistencia a la penetración a una profundidad de 15 cm en la Sociedad de Usuarios de Agua del Sanatorio, Cartago.

La infiltración medida en las fincas, permite evaluar el sistema de riego que utilicen los productores y hacer recomendaciones de diseño para próximas propuestas. Se detectaron seis fincas, en donde la infiltración acumulada es significativamente superior a las otras, con un promedio de 2.31 ± 0.35 cm h⁻¹. A estas fincas, se les recomienda emisores de bajo caudal de agua con el fin de tener mejores eficiencias de riego.

4. Resumen de consideraciones en las capacitaciones a los productores.

A continuación, se enumeran tres temas principales, que deben ser profundizados en las capacitaciones de los productores asociados a la SUA Sanatorio, según las mediciones realizadas:

a. Las prácticas de labranza mecanizada:

Sensibilizar sobre el uso de maquinaria categoría I y la labranza de conservación, debido a que el tipo de suelo y su resistencia no requieren desestructuración profunda, lo que incide en los costos de las operaciones y en la conservación del suelo, debido a que está comprobado que la roturación excesiva también causa pérdidas elevadas de suelo por erosión [7].

b. La resistencia del suelo:

Continuar educando sobre las propiedades mecánicas de los suelos, su influencia en la compactación y los efectos en la degradación del recurso y posibles repercusiones en el rendimiento de los cultivos. También se debe informar a los productores sobre rangos teóricos de densidad aparente y resistencia a la penetración, en los que mejor se desarrolla el sistema radicular de los cultivos que comúnmente se establecen. Para las fincas que presentan condiciones de resistencias a la penetración mayores a 1,3 MPa a 15 cm de profundidad y a 30 cm de profundidad, dar seguimiento en futuras etapas del proyecto y conversar con los productores sobre el manejo integral que han tenido las fincas con el fin de proponerles prácticas de intervención en capas más compactadas (piso de arado).

c. Infiltración y manejo del riego:

Sobre el manejo del agua para riego, instalación, mantenimiento y diseño de los sistemas, se debe explicar sobre el movimiento del agua en el suelo y la importancia de conocer este parámetro en la eficiencia del riego. Para las fincas identificadas con infiltraciones altas, considerar y explicar el por qué son necesarios emisores de agua de bajo caudal para aumentar la eficiencia del sistema que utilicen. También es relevante capacitar sobre la retención de humedad del suelo y su relación con la lámina de riego aplicada y la importancia del monitoreo de la humedad por medio de herramientas que le permitan a los productores tomar decisiones sobre riego en el momento de la medición.

Como parte de las acciones de esta etapa del proyecto, es necesario verificar las acciones del Programa Nacional AGRINNOVACIÓN del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica.

Agradecimientos

A los estudiantes asistentes que apoyaron el desarrollo de la Etapa I del proyecto; Valeria Brenes, Abigail Fallas, Hazel Garro, Liz López, Efraín Herrera, Joseph Vargas, Mario Berrocal, Charot Vargas, Katherine Gómez, Eliana Barquero, Brayan Corrales y Sebastian Solís, y en la Etapa II; David Araya Quesada, David Araya Sanabria, Valeria Montes Robles, Yerlin Quesada Mora, Ericka Picado Mora, Nayeli Ruiz Granados. A los productores y encargado del sistema del SUA Sanatorio, a la Cámara Nacional Hortícola por el apoyo y dotación de recursos por medio del impuesto al Cemento y la administración de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del TEC.

Bibliografía

- [1] Gómez-Calderón, Villagra-Mendoza, and Solórzano-Quintana, "La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria)," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 31, no. 1, p. 170, Mar. 2018, doi: 10.18845/tm.v31i1.3506.
- [2] N. Gómez-Calderón and R. J. Estrada-León, "Conservación de suelos mediante la modificación de la frecuencia de labranza: Un caso en Costa Rica," *Rev. Ciencias Ambient.*, vol. 54, no. 1, pp. 123–139, Jan. 2020, doi: 10.15359/rca.54-1.7.
- [3] K. Villagra-Mendoza and N. Gomez-Calderon, "Informe de proyecto de Extensión. Muestreo y Análisis de Suelos de Áreas Productivas (Etapa I)," 2022.
- [4] McPhee and Aird, "Controlled traffic for vegetable production: Part 1. Machinery challenges and options in a diversified vegetable industry," *Biosyst. Eng.*, vol. 116, no. 2, pp. 144–154, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2013.06.001.
- [5] N. Gómez-Calderón, K. Villagra-Mendoza, and M. Solórzano-Quintana, "La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria)," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 31, no. 1, p. 170, 2018, doi: 10.18845/tm.v31i1.3506.
- [6] N. Gomez-Calderon and K. Villagra-Mendoza, "Muestro y análisis de suelos de áreas productivas. Etapa II," 2023. [Online]. Available: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14444>
- [7] Gómez-Calderón, Solórzano-Quintana, and Villagra-Mendoza, "Cuantificación de la Erosión Hídrica en Función de Diferentes Técnicas de Mecanización para Minimizar la Contaminación del Agua por Sedimentos en la Parte Alta de la Cuenca del Río Reventazón," 2017. [Online]. Available: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9164>

Sobre los autores:

Natalia Gómez-Calderón

La Ing. Natalia Gómez Calderón. PhD, es profesora asociada, investigadora y extensionista de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC. Ingeniera agrícola. Actualmente es la coordinadora del Centro de Investigación y Extensión en Tecnología e Ingeniería Agrícola (CETIA). <https://orcid.org/0000-0001-7961-7529>

Karolina Villagra-Mendoza

La Dra.-Ing. Karolina Villagra-Mendoza es profesora asociada, investigadora y extensionista de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC. Ingeniera agrícola. Actualmente es la coordinadora del Laboratorio de Física de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola. <https://orcid.org/0000-0002-2335-0615>