



GIAA

ISSN: 2422-0493



Revista Agropecuaria y
Agroindustrial La Angostura

No. 9 Año 9

Diciembre 2023

Huila, Colombia



SENN@VA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

No. 9; Año 9. diciembre de 2023. Huila, Colombia. ISSN: 2422-0493

con el apoyo del Grupo de Investigación Agroindustrial La Angostura.

Director de la Revista

Gloria Maritza Sánchez Alarcón

gmsanchez@sena.edu.co

Comité Editorial y Científico

Andrea Melisa Vásquez

Claudia Mercedes Ordóñez

Yoly Dayana Moreno Ortega

Alejandra María Vélez Giraldo

Rafael David Ángel Gasca

Corrección de Estilo

María Sofía González Casagua

Diseño Caratula y Fotos

Patricia del Pilar Rojas Torres

Diseño y Diagramación

Heber Gráficas Tel.: 608 871 2346

Producción Editorial

Nodo Editorial La Angostura

Servicio Nacional de Aprendizaje

Directivos SENA

Jorge Eduardo Londoño Ulloa

Director General SENA

Edgar Adrián Zambrano

Coordinador Grupo de Gestión Estratégica del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA)

Adriana Milena Gasca Cardoso

Directora Regional (E) - SENA Regional Huila

Gloria Maritza Sánchez Alarcón

Subdirectora - Centro de Formación Agroindustrial La Angostura SENA Regional Huila

Lina Marcela Trujillo Osso

Coordinadora Formación Profesional Centro de Formación Agroindustrial La Angostura SENA Regional Huila.

Rafael David Ángel Gasca

Dinamizador SENNOVA, Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

Distribución: gratuita

Revista anual

Fecha de publicación: diciembre de 2023

Foto principal de carátula: Nodo Editorial La Angostura

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura , Nodo editorial La Angostura Dirección: Kilómetro 38 vía al sur de Neiva; Campoalegre (Huila).

Teléfonos.: (578) 8380191-8385060

Páginas web: <http://sena.edu.co/regionales-y-centros-de-formacion/zona-andina/Huila/Paginas/Huila.aspx> <http://centroagroindustrial.blogspot.com> Correo electrónico: angostura@sena.edu.co Se autoriza la reproducción total o parcial de la obra para fines educativos siempre y cuando se cite la fuente

CONTENIDO

		La transformación de la agricultura y los sistemas alimentarios frente al cambio climático <i>The transformation of agriculture and food systems in the face of climate change</i> Liliana Marcela Moreno Turriago ¹ Pag. 5
Técnica de inmunocastración en producciones porcícolas. Una revisión <i>Immunocastration technique in pig production. A review</i> Jesús Alejandro Botero Giraldo ¹ Pag. 13		
Evaluación de tres métodos de propagación para árboles élite del banco de germoplasma de cacao del centro de formación agroindustrial de Campoalegre, Huila (Colombia) <i>Evaluation of three propagation methods for elite trees of the cocoa germplasm bank of the Campoalegre Agroindustrial Training Center, Huila (Colombia)</i> Lili Estefani Fernández Toro ¹ , Angie Milena Cardozo Aguilar ¹ , Carolina Ávila Cubillos ¹ , Valentín Murcia Torrejano ¹ , Leidy Machado Cuellar ¹ , David Saavedra Mora ¹ Pag. 43		Aproximación al análisis de sostenibilidad en la granja experimental CORHUILA, municipio de Rivera, Huila <i>Approaching sustainability analysis at the CORHUILA Experimental Farm, Rivera municipality, Huila</i> Eduardo José Chavarro Parra ¹ , Sofía Imelda Mora-Lamilla ² Pag. 30
		
Análisis de la variabilidad temporal de propiedades físicas y químicas del suelo en el Espinal - Tolima <i>Analysis of the temporary variability of physical and chemical properties of the soil in the Espinal-Tolima</i> Milton Freddy Alarcón Jimenez ¹ , Cindy Carolina Gámez Ávila ¹ , Sandra Milena Lozano Triana ¹ , Javier Andrés Quintero Jaramillo ¹ Pag. 74		Análisis de calidad de agua de acueductos rurales y su relación con la salud pública en el Valle del Cauca <i>Analysis of water quality of rural aqueducts and its relationship with public health in Valle del Cauca</i> Astrid Lili Puerta Monsalve ¹ , Julio Alexander Delgado ² , Juan Felipe Ríos Marín ³ Pag. 60
		

Artículo de reflexión

La transformación de la agricultura y los sistemas alimentarios frente al cambio climático

The transformation of agriculture and food systems in the face of climate change

Liliana Marcela Moreno Turriago¹

Resumen

Desde hace varios años diversas investigaciones han demostrado el impacto de las actividades antropogénicas sobre el cambio climático y las repercusiones que éstas han tenido sobre la agricultura y los sistemas alimentarios. Se ha hecho evidente la incapacidad del medio ambiente de amortiguar los efectos causados por el hombre, por lo cual tomar acciones decisivas frente a esta problemática es inminente. En el texto se analiza cómo desde nuestro papel como consumidores, aportamos a la insostenibilidad de los sistemas productivos actuales; asimismo, se contempla la perspectiva de los productores e industriales frente a los inmensos retos que se avecinan gracias a la aceleración del cambio climático. Finalmente, se proponen tres mecanismos para fomentar el consumo y la producción responsable que pueden ser aplicados en Colombia partiendo de experiencias exitosas de otros países, donde las políticas públicas y el compromiso de los diferentes miembros de las cadenas de valor y la comunidad científica son cruciales para transformar los sistemas alimentarios, y por ende trazar un futuro sostenible para toda la sociedad.

Palabras clave: cambio climático, consumidores, mitigación, productores, sistemas alimentarios.

1. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Regional Huila. Correo de correspondencia: lilimoreno@sena.edu.co

Cómo citar: Moreno Turriago, L. M. (2024). La transformación de la agricultura y los sistemas alimentarios frente al cambio climático. Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura, 9(1), 5-12.



Abstract

For several years now, research has demonstrated the impact of anthropogenic activities on climate change and the repercussions they have had on agriculture and food systems. The inability of the environment to cushion the effects caused by man has become evident, so taking decisive action against this problem is imminent. The text analyzes how, from our role as consumers, we contribute to the unsustainability of current production systems; It also contemplates the perspective of producers and industrialists in the face of the immense challenges that lie ahead thanks to the acceleration of climate change. Finally, three mechanisms are proposed to promote responsible consumption and production that can be applied in Colombia based on successful experiences in other countries, where public policies and the commitment of the different members of the value chains and scientific community are crucial to transform food systems and therefore chart a sustainable future for all of society.

Keywords: climate change, consumers, mitigation, producers, food systems.

Las diversas investigaciones realizadas en el marco del cambio climático han demostrado que es un fenómeno global de origen principalmente antropogénico. Las emisiones de gases de efecto invernadero han ocasionado marcadas modificaciones climáticas tales como el aumento de la temperatura ambiente, cambio en los patrones de precipitación, reducción de la superficie de glaciares y eventos naturales extremos, entre otros (Poore & Nemecek, 2018); en este sentido todos los seres humanos hemos sido testigos y en ocasiones víctimas, de al menos

una de estas consecuencias, obligándonos a adaptarnos a cambios graduales para prevenir mayores desastres.

Entre los principales impactos ocasionados por la era antropogénica se encuentra la incapacidad del medio ambiente de amortiguar los efectos causados por la agricultura y los sistemas alimentarios, esto se ha visto agudizado por la creciente demanda de alimentos y la competencia por el agotamiento de los recursos, lo cual ha acelerado el principal desafío de

nuestro tiempo: la crisis climática. En el 2018, los sistemas alimentarios aportaron el 26% de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI), y liberaron aproximadamente 13.700 megatoneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) (Cooper et al., 2011). Por otro lado, a los sistemas convencionales de producción de alimentos se les atribuye diversas problemáticas como erosión del suelo, deforestación, pérdida de hábitats y reducción en la diversidad genética (Verhulst, François, Govaerts, 2020), sin olvidar que para que los alimentos lleguen a nuestra mesa deben pasar por una serie de etapas que son susceptibles de generar GEI como la transformación, envasado, almacenamiento y transporte.

Teniendo en cuenta lo anterior, es evidente que los sistemas agrarios actuales están causando un impacto negativo que a muchas personas nos ha costado dimensionar, ya sea por desinformación, desinterés o quizás porque creemos que no tenemos nada que ver con esa situación, debido a la contribución ciudadana de no arrojar basura en las calles, no dejar abierta la llave del agua y/o segregar adecuadamente los residuos. Sin embargo, no somos conscientes de nuestro nivel de consumo, caracterizado por la demanda creciente de productos, que promueve el uso desmedido de recursos naturales con la puesta en marcha de ciertas industrias, y el interés por satisfacer las necesidades económicas de personas particulares; dando lugar a aprietos

medioambientales en la búsqueda de alternativas para su restauración. Por tanto,, ha llegado el momento de preguntarnos ¿Desde nuestro papel de consumidores, cómo estamos contribuyendo al calentamiento global con nuestros hábitos de compra?, ¿Cuáles serán las repercusiones que tendrá esta contribución? y ¿Qué soluciones podemos aportar?.

Y es que no es una tarea fácil hacer que todos los consumidores nos concienticemos sobre el impacto que generamos al medio ambiente con nuestras elecciones, para ello, se requieren políticas públicas que generen sinergias entre los tomadores de decisiones, para lograr que el sector productivo informe a los ciudadanos sobre el impacto ambiental que generan los productos que ofertan. De acuerdo con este enfoque, Colombia ha hecho avances significativos en la generación de información sobre la emisión de GEI, dando cumplimiento a los compromisos adquiridos con la firma y aprobación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (IDEAM, 2020). La información recolectada muestra los resultados de las emisiones de GEI por sector económico y actividad generadora; en el cual, la producción de alimentos aporta el 38% de las emisiones en el territorio nacional, por tanto, es imperativo que el sistema alimentario de nuestro país trascienda a una nueva visión de planificación, donde el objetivo central sea el desarrollo sostenible, la producción con bajos contenidos de carbono y resiliencia al clima.

En nuestro país como parte de la estrategia de mitigación del cambio climático, desde el 2014 se ha definido el sector industrial como uno de los ocho sectores priorizados gracias a su participación en el desarrollo económico nacional, el alto consumo de recursos energéticos y su potencial de reducción de la huella de carbono asociada a los procesos productivos (PAS, 2020). Los desafíos son grandes y muchos académicos e investigadores conocedores en el tema concuerdan en que se requiere una transformación de los sistemas alimentarios con acciones muy específicas según el contexto (Campbell et al., 2018; Giller et al., 2018; Friedrich, 2014), donde se adopte una perspectiva desde la seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental y cambio climático.

Entre los principales mecanismos implementados a nivel internacional para transformar los sistemas alimentarios, para fomentar el consumo y producción responsable, se destacan tres elementos fundamentales, potencialmente factibles en nuestro país (Nash et al., 2017):

Alerta temprana sobre el clima: una de las principales limitantes de nuestros productores es la falta de información y conocimiento, lo cual ha reducido su capacidad de adaptación para enfrentar la variabilidad climática (Kongsager, Locatelli & Chazarin, 2016). Las personas que trabajamos de cerca con el sector agrícola hemos observado que esta situación se ve

afectada por el deficiente extensionismo cuyo acompañamiento se hace a nivel general sin tener en cuenta el contexto propio del productor ni las condiciones edafoclimáticas de sus predios, por ello es importante vincular los pronósticos climáticos a las asesorías brindadas, con el fin de que los sistemas productivos planifiquen mejor la siembra, las operaciones de campo y la cosecha; además, podrían reducir el uso de insumos y optimizar la aplicación de fertilizantes; por otro lado, se hace necesario incluir alertas tempranas de repuesta de emergencia para eventos extremos, aquí cabe resaltar que Colombia se encuentra entre el grupo de países con mayores niveles de riesgos catastróficos, es decir cerca del 40% del territorio nacional es susceptible a sufrir eventos hidrometeorológicos como deslizamientos e inundaciones, debido entre otros aspectos a su ubicación geográfica, sistema montañoso y extensas costas (Andrade Álvarez, 2020). Por tanto, fomentar una relación estrecha y colaborativa entre los servicios meteorológicos, servicios de extensionismo y los organismos de respuesta a emergencia puede aumentar la producción, generar resiliencia y mejorar la protección social (Aguilar & Suchini, 2019).

Agricultura digital: Los avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) han tenido cada vez más un carácter estratégico y político gracias a su capacidad de almacenar grandes volúmenes de datos, automatizar procesos e intercambiar información y conocimiento (Massruhá & Leite, 2016). La

inclusión de herramientas TIC en los sistemas alimentarios de Colombia permitirá avanzar hacia las denominadas “Fincas del futuro” donde la toma de decisiones se hace con base en los datos obtenidos a través del monitoreo y la automatización (Jardine et al., 2014); las TIC pueden ser aplicadas en sistemas de riego inteligente, agricultura de precisión y actividades de teledetección orientadas a obtener datos sobre productividad y variables edafoclimáticas, así como de la detección de enfermedades en el cultivo. Si en todo el país se avanzara en la implementación de estas herramientas, sería posible obtener información de cientos de miles de productores, lo cual revolucionaría el extensionismo convencional, ya que, las actividades de extensión se adaptarían a las necesidades particulares de los agricultores y se alimentarían los sistemas de alerta temprana. Otro aspecto fundamental para promover la transformación del sistema alimentario de nuestro país es asegurar el acceso a internet y teléfonos inteligentes en zonas productoras remotas que permitirá a los productores estar interconectados, logrando acceder a diversos servicios e información importante para su actividad económica, es aquí donde el término “internet de las cosas” cobra relevancia.

Adaptación y mitigación de la industria alimentaria: este sector vislumbra grandes retos gracias a la creciente población, la competencia por los recursos y los efectos ocasionados por el cambio climático en el agro, donde la

sostenibilidad se ha convertido en un factor imprescindible en la toma de decisiones. Una de las principales estrategias que se propone en Colombia para implementar una agroindustria sostenible es la transición hacia una economía circular que implique el uso eficiente de recursos, así como la reducción de desperdicios y recursos no aprovechables (Murillo Arias, 2018). Los profesionales del sector agroindustrial, cada vez estamos más convencidos que debemos adoptar dentro de nuestro modelo de negocios el factor de sostenibilidad, donde la bioeconomía sea un referente de desarrollo ambiental, económico y social a través de la incorporación de conocimientos, y avances científicos y tecnológicos que permitan desarrollar una nueva hoja de ruta para apalancar el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) (Gil, 2018). Asimismo, diseñar procesos industriales más limpios y eficientes que contribuyan positivamente en la mitigación del cambio climático, ya estas acciones no son opcionales.

Sin embargo, para que esto sea posible se requiere de políticas públicas con el sólido compromiso de todos los actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTel) y de los diferentes eslabones de las cadenas de valor del país.

Finalmente podemos concluir que, para lograr hacerle frente al cambio climático desde el sector agrícola y agroindustrial, es primordial transformar todo el sistema alimentario donde

el consumo y la producción responsable son los abanderados en esta lucha constante por prevalecer en mundo moderno tan cambiante e incierto sin olvidar que nuestra relación con el medio ambiente es de ida y vuelta, y que todas nuestras prácticas y decisiones tienen un efecto significativo en el futuro próximo.

Referencias bibliográficas

- Andrade Álvarez, L. (2020). Formulación de un concepto de gestión del riesgo del cambio climático ajustado a las condiciones naturales de Colombia. Bogotá: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, 2020. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/3654>
- Aguilar, A., & Suchini, J. G. (2019). Construcción y desarrollo de los TeSAC en Centroamérica en los territorios de "El Tuma - La Dalia" en NicaCentral, Nicaragua, y "Olopa" y "Santa Rita" en la región del Trifinio de Guatemala y Honduras. CGIAR. <https://hdl.handle.net/10568/100241>
- Cooper, J. M., Butler, G., & Leifert, C. (2011). Life cycle analysis of greenhouse gas emissions from organic and conventional food production systems, with and without bio-energy options. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 58(3-4), 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2011.05.002>
- Campbell, B. M., Hansen, J., Rioux, J., Stirling, C. M., Twomlow, S., & (Lini) Wollenberg, E. (2018). Urgent action to combat climate change and its impacts (SDG 13): transforming agriculture and food systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 34, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.06.005>
- Friedrich, T. (2014). La seguridad alimentaria: retos actuales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4), 319-322.
- Giller, K. E., Drupady, I. M., Fontana, L. B., & Oldekop, J. A. (2018). Editorial overview: The SDGs – aspirations or inspirations for global sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 34, A1-A2. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.02.002>
- Gil, C. G. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global. DIALNET*. 140(1), 107-118. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6312616>
- Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero – Colombia. IDEAM. Disponible en línea: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>. (se accede el 06,12,2020).
- Jardine, J. G., Neshich, I. A. P., Mazoni, I., Yano, I. H., MORAES, F. D., Salim, J. A., ... & Neshich, G. (2014). *Biología computacional molecular e suas aplicações na agricultura*. Embrapa Agricultura Digital. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1010715/biologia-computacional-molecular-e-suas-aplicacoes-na-agricultura>
- Massruhá, S. M. F. S., & Leite, M. A. de A. (2016). *Agricultura Digital*. Revista Eletrônica

Competências Digitais Para Agricultura Familiar, 2(1), 72–88. Recuperado de <https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/18>

Murillo Arias, F. (2018). Fomento de la Economía Circular a partir del aprovechamiento de los subproductos agrícolas en el marco del postconflicto en Colombia. Universitat Politècnica de Catalunya.

Nash, J., Peña, O., Galford, G. L., Gurwick, N., Pirolli, G., White, J. M., & Wollenberg, E. K. (2017). Reducing food loss in agricultural development projects through value chain efficiency. Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). <https://hdl.handle.net/10568/89103>

Kongsager, R.; Locatelli, B.; Chazarin, F. (2016) Abordar juntos la mitigación y la adaptación al cambio climático: una evaluación global de los proyectos agrícolas y forestales. *Gestión ambiental*. 57 (2), 271-282.

Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* (New York, N.Y.), 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>

Plan de acción sectorial de mitigación (PAS) sector industria. Ministerio de Medio Ambiente, Colombia. Disponible en línea:

https://archivo.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/planes_sectoriales_de_mitigaci%C3%B3n/PAS_Industria_-_Final.pdf

Verhulst, N., François, I., & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables?. Programa de Agricultura de Conservación del CIMMYT de México. Disponible en: <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/4408/56985.pdf>.

Artículo de revisión

Técnica de inmunocastración en producciones porcícolas. Una revisión

Immunocastration technique in pig production.
A review

Jesús Alejandro Botero Giraldo¹

Resumen

Los cerdos macho se castran para reducir su comportamiento agresivo, facilitar el manejo y prevenir el olor a verraco, un olor distintivo que puede ser percibido durante la preparación o la ingestión de carne proveniente de cerdos enteros. Habitualmente en las granjas comerciales los machos son castrados durante las primeras semanas de vida de manera quirúrgica, a través de la realización de dos incisiones en el escroto con un elemento cortante, considerándose un procedimiento doloroso y estresante. Frente a esta situación, técnicas menos invasivas como la inmunocastración resulta en una alternativa a la castración quirúrgica, evitando los efectos indeseables de esta, como: dolor, estrés, malestar, pérdidas indirectas por complicaciones quirúrgicas, infecciones, hernias, mortalidad y baja eficiencia alimenticia, entre otros. Entre tanto, con el presente trabajo se pretende realizar una revisión detallada sobre esta técnica utilizada en las producciones porcícolas.

Palabras claves. Cerdos, Vacuna, Castración, Bienestar animal, Inmunocastración.

1. Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA. Correo de correspondencia: jesus.botero@corhuila.edu.co

Cómo citar. Botero Giraldo, J. A. (2024). Técnica de inmunocastración en producciones porcícolas. Una revisión. Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura, 9(1), 13-29.



Abstract

Male pigs are castrated to reduce their aggressive behavior, facilitate handling and prevent the smell of boar taint, a distinctive odor that can be perceived during the preparation or consumption of meat from entire pigs. Typically, in commercial farms, males are surgically castrated during the first weeks of life by making two incisions in the scrotum with a cutting instrument, which it is considered a painful and stressful procedure. Faced with this situation, less invasive techniques such as immunocastration offer an alternative to surgical castration, avoiding its undesirable effects such as pain, stress, discomfort, indirect losses due to surgical complications, infections, hernias, mortality, and decreased feed efficiency, among others. Meanwhile, the present study aims to conduct a detailed review of this technique used in swine production.

Keywords. Pigs, Vaccine, Castration, Animal welfare, Immunocastration.

14 Introducción

La castración de los cerdos es un procedimiento de rutina en las granjas comerciales, sin embargo, los problemas de bienestar relacionados con este procedimiento se han destacado en los últimos años, demostrando que la castración quirúrgica induce dolor durante y después del proceso (Prunier et al., 2006; von Borell et al., 2009; Sutherland et al., 2012). Sobre esto la Comisión Europea elaboró una declaración en 2010 sobre alternativas a la castración quirúrgica en cerdos, alentando a los estados miembros a comprometerse a prohibir la castración quirúrgica a partir de enero de 2018, surgiendo como alternativa la producción

de cerdos macho enteros inmunocastrados (European Commission, 2010).

La técnica de inmunocastración se ha destacado por ser capaz de minimizar los daños causados por la castración quirúrgica, reduciendo el olor sexual de los machos intactos (Dunshea et al., 2001); el cual es producido por dos compuestos, la androstenona (5- α -androst-16-ene-3-ona) y el escatol (3-metil-indol), que se acumulan principalmente en el tejido adiposo. La androstenona es un esteroide testicular con un olor a orina definido, mientras que el escatol es un producto de la degradación del triptófano, que exhibe un intenso olor fecal (Babol et al., 2004).

La técnica de inmunocastración se define como un método de castración mediante el uso de una vacuna antagonista de la hormona liberadora de gonadotropina (anti-GnRH), la que produce una reducción de las gonadotropinas plasmáticas hormona luteinizante (LH) y hormona folículo estimulante (FSH), y en consecuencia de testosterona y androstenona. Al inhibir la producción de estos componentes se evita el olor y sabor característico en la carne de todo el macho, además, permite que los animales se beneficien de los efectos de los esteroides testiculares en el momento intermedio de crecimiento y deposición de la carne, asegurando su plena expresión de su potencial de crecimiento (Dunshea et al., 2001). Con el presente trabajo se pretende realizar una revisión detallada sobre la técnica de inmunocastración utilizada en las producciones porcícolas

Castración en lechones

La castración de animales machos utilizados para la producción de carne se practica ampliamente desde hace siglos, principalmente para facilitar el control de su comportamiento (los machos enteros tienden a ser más agresivos), pero también debido a la mayor propensión de los castrados a depositar grasa (Čandek-Potokar et al., 2017). Actualmente, el mercado de consumo es cada vez más exigente, demandando productos de mejor calidad elaborados bajo criterios respetuosos con el medio ambiente y el bienestar animal (Figuerola, 2020)

La castración en lechones generalmente se realiza de forma quirúrgica durante los primeros días o semanas de vida (Vela, 2012). Según la legislación de la Unión Europea, la castración de lechones machos se puede realizar sin anestesia/analgesia dentro de los primeros siete días de vida. Sin embargo, esta práctica ha sido criticada desde el punto de vista del bienestar animal (Prunier et al., 2006). Dado que los testículos y la piel del escroto están inervados por nociceptores asociados a las transmisiones del dolor, por tanto, este procedimiento resulta en un evento doloroso y estresante cuando se realiza sin anestesia ni analgesia pre y postoperatoria (Villarroel, 2016).

Para identificar todas las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de castración, es necesario evaluar el dolor relacionado con la castración, además, de las consecuencias fisiológicas, conductuales y de salud que pueden derivarse de la castración. Estas consecuencias pueden deberse al propio proceso de castración (manipulación y cirugía), pero también a la privación de hormonas testiculares (Čandek-Potokar et al., 2017).

Consecuencias generales de la castración sobre el bienestar. Las consecuencias de la castración sobre el bienestar pueden deberse a la propia cirugía, así como a la privación de hormonas testiculares. De hecho, las hormonas testiculares influyen en el comportamiento, por tanto, pueden estar relacionadas con el bienestar de los machos (Pérez, 2018). Varios experimentos indican

claramente que la castración quirúrgica induce respuestas endocrinas y conductuales que se aceptan como indicadores de dolor (Hay et al., 2003).

Durante la castración quirúrgica, las vocalizaciones de alta frecuencia (> 1000 Hz) se deben, al menos en parte, a la cirugía de los animales, ya que se han identificado frecuencias de mayor intensidad y duración en los lechones castrados que en los manipulados simulando la castración (Weary et al., 1998). El análisis de las vocalizaciones durante el procedimiento de castración general sugiere que el dolor es más agudo durante la extracción de los testículos y el corte de los cordones espermáticos (Vela, 2012). Esto está respaldado por la observación de que la anestesia local es más eficaz para reducir la resistencia conductual cuando se cortan los cordones (Vela, 2012).

Inmediatamente después de la castración quirúrgica, la medición de hormonas en plasma indica claramente la activación de los ejes suprarrenal y simpático (Prunier et al., 2005). En consecuencia se produce un aumento de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) en hasta 40 veces su valor plasmático, alcanzando un pico máximo diez minutos después de la cirugía, seguido de un aumento de cuatro veces en el cortisol plasmático, con valores máximos entre 30 y 60 minutos después de la cirugía (Prunier et al., 2005). En esta afección también ocurre un aumento muy rápido y transitorio de la adrenalina plasmática, seguido de un aumento más duradero

de la noradrenalina plasmática. Paralelamente a estas reacciones fisiológicas, se modifica la conducta. Los lechones castrados pasan menos tiempo sobre las glándulas mamarias (masajeando y/o amamantando), permanecen más inactivos mientras están despiertos y muestran más comportamientos relacionados con dolor (postración, rigidez, temblores) (Hay et al., 2003). Sin embargo, las posturas (posición ventral y lateral, sentada y de pie) y su posicionamiento en la paridera no se modifican (Hay et al., 2003).

Otro punto de gran importancia negativa es la inmunosupresión más pronunciada en los machos castrados. La influencia de la castración sobre el sistema inmunológico de los lechones fue demostrada por Lessard et al. (2002), quienes observaron respuestas de anticuerpos más bajas en lechones castrados a los 10 o 17 días de edad, y aquellos expuestos dos veces a un antígeno. Los efectos inmunosupresores de la castración pueden estar relacionados con la reacción al estrés, especialmente la liberación de cortisol y catecolaminas, o la falta de andrógenos testiculares, ya que se sabe que estas hormonas promueven la inmunocompetencia (Viscarra, 2021).

Prohibición de la Castración. La eliminación de la técnica de castración en bovinos y ovinos en la mayoría de los países se debió al nuevo perfil de consumidor, que busca alimentos magros. Al mismo tiempo, la producción de machos enteros también determina una reducción

de los costos de producción (Bonneau, 1998). Sin embargo, la producción de cerdos macho enteros se ha visto obstaculizada por la presencia de olor sexual, aunque presiones alineadas con el bienestar han obligado a la cadena a abandonar la práctica de la castración (Vela, 2012).

La Comisión Europea y representantes de los ganaderos europeos, la industria cárnica, los minoristas, los científicos, los veterinarios y las Organizaciones no gubernamentales (ONG) de bienestar animal han firmado una declaración para poner fin a la castración quirúrgica de los cerdos antes del 1 de enero de 2018 (Zammerini et al., 2013). La iniciativa es actualmente voluntaria, sin embargo, la Comisión Europea apoya firmemente las medidas adoptadas por las partes interesadas; así, en países como Noruega y Suiza la técnica de castración ya está prohibida (Harper, 2008).

Se han intensificado las investigaciones de alternativas para la castración en la producción porcina, por tanto, en la actualidad se tienen en cuenta las siguientes consideraciones: a) Aplicación de anestesia/analgesia en cirugía, que incrementa los costos por la carga de trabajo adicional y el precio de los anestésicos (de Roest et al., 2009); b) Sexado de espermatozoides para la producción exclusiva de hembras, sin embargo, esta opción aún no está lo suficientemente avanzada para su uso práctico; c) Inmunocastración e inmunización contra la hormona endógena GnRH que permite explotar el potencial de crecimiento de todo el macho con

un mínimo estrés vacunal, pero con desventajas como el riesgo de autoinmunización y la baja aceptación por parte de los consumidores (Prunier et al., 2006; de Roest et al., 2009); d) La producción de machos enteros con bajo peso de sacrificio (90 kg), reduce el riesgo de olor sexual en la canal, pero con presenta una baja viabilidad económica y no elimina completamente el problema del olor sexual (Zamaratskaia et al., 2005; Aldal et al., 2005).

Inmunocastración

El objetivo de la inmunocastración es inhibir el desarrollo y la función testicular mediante la neutralización de las hormonas del eje hipotalámico-pituitario-gonadal por anticuerpos. La inmunización puede dirigirse contra la hormona pituitaria (LH) o la hormona hipotalámica (GnRH). Sin embargo, la inmunización contra LH es menos efectiva que la inmunización contra GnRH (Dunshea et al., 2001).

La mayoría de los estudios de inmunocastración en cerdos han utilizado la inmunización activa contra GnRH, aunque también se ha considerado la posibilidad de utilizar la inmunización pasiva. Dado que, efectivamente, la inmunización de cerdos macho contra GnRH es eficaz para inhibir el desarrollo del tracto genital, además, de reducir las concentraciones plasmáticas de LH, FSH y testosterona (Dunshea et al., 2001).

Protocolos de vacunación. Los protocolos de vacunación se pueden definir como tempranos o tardíos. El primero enfatiza la necesidad de

provocar una castración completa con resultados inequívocos sobre el peso testicular, haciendo muy fácil la diferenciación en la línea de sacrificio (Oonk et al., 1995), esto se logra mediante un programa de inmunización que asegura la castración temprana de los animales. Sin embargo, la mayoría de las ventajas económicas de los machos intactos no se mantienen (Zeng et al., 2002; Turkstra et al., 2002).

Por otra parte, la segunda alternativa se centra en mantener el rendimiento en cerdos macho intactos. En este procedimiento se administran dos vacunas con un intervalo mínimo de cuatro semanas, mientras que, entre la segunda dosis y el sacrificio, el intervalo debe ser de cuatro o máximo cinco semanas. El desafío es mantener la secreción testicular de esteroides anabólicos en un nivel alto hasta lo más tarde posible, y aun así dejar tiempo suficiente para que las concentraciones de escatol y androstenona disminuyan a niveles aceptables antes del sacrificio y después de las vacunas. En comparación con los machos intactos, los cerdos inmunizados crecen más rápido (una vez logrado el efecto de castración), tienen una eficiencia alimenticia similar con mayor contenido de grasa en su canal; aunque menores comparados con los porcinos quirúrgicamente castrados (Dunshea et al., 2001; Cronin et al., 2003).

Una vez realizada la inmunocastración, el comportamiento de los cerdos es similar al de los cerdos castrados quirúrgicamente. Ambos exhiben comportamientos agresivos y

de montaje reducidos con una mayor duración del comportamiento alimentario en comparación con los machos intactos (Cronin et al., 2003).

Desventajas de la inmunocastración.

Desde una perspectiva de bienestar, el procedimiento es obviamente menos dañino para el cerdo en comparación con la castración quirúrgica sin anestésicos ni analgésicos (Kress et al., 2019). Sin embargo, se pueden considerar algunas desventajas al implementar la inmunocastración. En este contexto, el costo del tratamiento debe ser al menos equivalente a las ganancias económicas obtenidas al suspender la castración (de Roest et al., 2009).

Otro aspecto tiene que ver con la exigencia de un control efectivo en la línea de sacrificio. Cuando la inmunocastración se realiza tempranamente, el tamaño de los testículos se reduce tan drásticamente, que es fácil comprobar la ausencia de olor sexual en el cadáver. Cuando se lleva a cabo sólo unas semanas antes del sacrificio, con objeto de obtener las ventajas del estado completo de un macho intacto, la reducción testicular en algunos casos no se distingue fácilmente de los testículos de algunos machos intactos (Oonk et al., 1995). En estos casos, existe incertidumbre sobre la ausencia de olor sexual en la canal.

Otro aspecto negativo tiene que ver con la seguridad para los humanos. Dado que la vacuna tiene una condición inmunogénica no específica de especie, puede ser activa en humanos en

caso de autoinyección accidental (EMA, 2010). Aunque se ha desarrollado un dispositivo en la pistola de vacunación para reducir el riesgo, este peligro no puede controlarse por completo (de Roest et al., 2009).

Finalmente, respecto a la posibilidad de que el animal desarrolle dolor, no se han realizado investigaciones directas. Sin embargo, como las vacunas GnRH están dirigidas contra hormonas producidas en los propios tejidos del animal, estas pueden inducir daño celular lejos del lugar de administración o en áreas de los testículos. Molenaar et al. (1993) observaron que la inmunización anti-GnRH en cerdos provocaba lesiones en el hipotálamo. Aunque, se desconoce si este resultado, si induce o no dolor en el animal. En cualquier caso, el dolor resultante de la inmunización debe compararse con la inflamación por la castración quirúrgica.

Producción de cerdos macho enteros

El alcance de la producción de cerdos macho enteros difiere entre los distintos países, aunque no hay cifras exactas. Sin embargo, el proyecto PIGCAS de la Unión Europea (Actitudes, prácticas y estado del arte sobre la castración de lechones en Europa), ha recopilado información sobre el alcance del procedimiento de castración (Fredriksen & Hexeberg, 2009). Las cifras de 2006 muestran que la castración se llevó a cabo en el 80-100% de los machos en la mayoría de los países de la Unión Europea, dejando sólo un pequeño número intacto, equivalente

a aproximadamente 25 millones por año. No obstante, en Reino Unido, Irlanda y Australia, casi todos los cerdos se dejan intactos; de mismo modo que en Portugal, España y Grecia, en un gran porcentaje (Fredriksen & Hexeberg, 2009). Los Países Bajos también han aumentado la producción de cerdos macho enteros, así en 2012 alrededor del 50% de los cerdos macho no fueron castrados (van Wagenberg et al., 2013).

Las ventajas de los cerdos macho intactos se pueden encontrar en las características del canal y de la producción, que difieren de aquellos animales castrados. Aluwé et al. (2015) informaron mejores ganancias y porcentaje de carne de cerdos macho enteros, pero ninguna diferencia en la ganancia diaria promedio. Sin embargo, las investigaciones han demostrado un menor rendimiento en canal. De Roest et al. (2009) citan una mayor tasa de crecimiento de machos enteros de hasta el 13%, una disminución en el consumo de alimento de alrededor del 9%, una tasa de conversión alimenticia más eficiente de hasta un 14% e incluso un depósito de tejido muscular de más del 20%, en comparación con los animales castrados. Esto puede ser más beneficioso para el productor, ya que hay menores costos de producción y de alimentación, resultando en productos (carne) más saludables, desde el punto de vista dietético.

Las desventajas asociadas con la producción de cerdos macho enteros fueron reportadas por Lundström et al. (2009), quienes afirman que existe una mayor frecuencia de

peleas dependiendo de las condiciones previas al sacrificio (mezcla durante el transporte y/o estabulación antes del sacrificio), provocando daños en la canal y desarrollo de carne dura, seca y oscura (DFD). Los machos enteros suelen presentar cambios en la composición de la grasa y una menor cantidad de tejido adiposo, lo que puede suponer una desventaja para la industria procesadora. Además, la mayor prevalencia del olor sexual tiene un impacto importante en la calidad de la carne y el valor económico (Ulloa, 2018).

Asimismo, sobre las características del canal, Bonneau (1998) informa que la pérdida de nitrógeno en el estiércol es menor en machos intactos que en machos castrados debido a la reducción de la ingesta de alimentos y a una mejor eficiencia en la retención de nitrógeno; reduciendo la excreción de contaminantes, lo que puede ser beneficioso para un sistema de producción más limpio.

Cambios fisiológicos y efectos sobre el comportamiento. El aumento de la agresividad en cerdos macho intactos puede generar cambios fisiológicos en los animales, provocando cambios en el comportamiento (dificultando el manejo), provocando un aumento de la frecuencia cardíaca, que a su vez desencadenará también cambios en la frecuencia respiratoria, el pH y las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre, lo que provoca estrés (Vela, 2012).

El comportamiento agresivo en los cerdos engeneral sepuede definir como comportamientos específicos de cada especie asociados con amenazas, presiones, empujones, arremetidas y mordiscos. Normalmente se dirige hacia la región del hombro y la cabeza, y se realiza en paralelo o antiparalelo (Hagelsø & Studnitz, 1996). La agresión se considera un rasgo bastante estable de los cerdos individuales, lo que significa que los cerdos expresan diferencias de personalidad en su tendencia a mostrar un comportamiento agresivo (Clark & D'Eath, 2013). La frecuencia del comportamiento depende en gran medida del entorno de los animales (sistema y manejo), se ha encontrado que diferentes factores afectan el nivel de comportamiento agresivo en un grupo de cerdos, tales como recursos limitados (por ejemplo, alimenticios), agrupación (formación de jerarquía), densidad y tamaño del grupo (Street & Gonyou, 2008).

El comportamiento agresivo es un importante indicador de bienestar, especialmente cuando se trata de cerdos macho intactos. Altos niveles de agresión pueden afectar el bienestar de los animales, generando sentimientos negativos como miedo, agotamiento o dolor. Además, puede provocar reacciones de estrés, provocar lesiones cutáneas y, en casos extremos, la muerte (Velarde & Geers, 2007).

Con el estrés se produce una activación del sistema nervioso simpático y del eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal, lo que conduce a un aumento de la adrenalina y el cortisol en sangre.

Este proceso dará como resultado un aumento en la concentración de glucosa plasmática, que ocurre debido a la glucogenólisis hepática y al catabolismo proteico (Shaw & Tume, 1992). El efecto final de estos cambios metabólicos es estabilizar los niveles séricos de glucosa y almacenar glucógeno para obtener energía (Lehninger et al., 2002).

En situaciones de estrés intenso se puede producir agotamiento muscular, resultante de la intensa degradación del glucógeno muscular, formando grandes cantidades de ácido láctico que puede ser liberado al torrente circulatorio. Además, se producirá liberación de catecolaminas y aumentó de la actividad enzimática como respuesta al miedo o la excitación, provocando una glucogenólisis rápida (Shaw & Tume, 1992). Por tanto, el análisis de las concentraciones de lactato en sangre es una herramienta importante para evaluar el estrés en los cerdos.

Olor sexual. El procedimiento de castración se lleva a cabo principalmente para evitar el olor sexual masculino. Al conservar cerdos macho enteros, el riesgo de la prevalencia de este defecto es significativamente mayor (Fàbrega et al., 2009). Esta condición corresponde a un olor desagradable que se percibe frecuentemente durante la cocción de la carne y que también puede afectar el sabor; lo anterior asociado a altas concentraciones de androsterona (5- α -androst-16-ene-3-ona) y escatol (3-metil-indol) en el tejido adiposo de cerdos machos intactos (Babol et al., 1995). La

androsterona tiene un olor a orina definido y el escatol tiene un olor fecal intenso (Bonneau et al., 2000).

El escatol se produce en el tracto gastrointestinal por degradación microbiana del aminoácido triptófano, proveniente de proteínas dietéticas o endógenas (Xue & Dial, 1997; Claus et al., 1994). La cantidad producida está regulada principalmente por la disponibilidad de triptófano, la composición y la actividad de las bacterias intestinales involucradas en el proceso de degradación (Zamaratskaia & Squires, 2009). En el tracto gastrointestinal, el escatol se absorbe a través de la pared intestinal hacia la sangre, donde una parte será transportada a través de la vena porta hasta el hígado para generar un proceso metabólico, para posteriormente ser excretado por el riñón. El escatol no absorbido se excreta directamente a través de las heces (Zamaratskaia & Squires, 2009).

El proceso del metabolismo del escatol incluye dos fases que involucran diferentes enzimas hepáticas, de las cuales se identificó al citocromo P4502E1 (CYP2E1) como la principal responsable de este proceso (Rasmussen et al., 2011). El escatol que no se degrada en el hígado se deposita en el tejido adiposo provocando el olor sexual (Zamaratskaia & Squires, 2009). Xue & Dial (1997) afirman que el 87% del escatol disponible producido en el tracto gastrointestinal se absorbe a través de la pared intestinal y se transporta al hígado; mientras que el 13% restante está

contenido en las heces. El escatol se produce en machos, castrados y hembras intactas, pero se sugiere que el proceso de degradación y la tasa de eliminación son menores en los cerdos machos que, en las hembras, lo que resulta en niveles más altos en los cerdos intactos en comparación con los castrados (Babol et al., 2004).

Debido al proceso de síntesis de escatol, se considera principalmente que el compuesto se ve afectado por las condiciones ambientales (Babol et al., 1995), principalmente debido a la alimentación (Hansen et al., 2006; 2008). Sin embargo, el escatol también está relacionado con el peso vivo del animal (Zamaratskaia et al., 2005), y a variaciones entre razas (Babol et al., 2004).

La androsterona es una hormona esteroide sintetizada en los testículos de los cerdos, más concretamente en las células de Leydig (Hernandez, 2011; Zamaratskaia & Squires, 2009). La producción está controlada por la LH, que a su vez depende de GnRH (Zamaratskaia & Squires, 2009). Su biosíntesis es baja en machos jóvenes y aumenta gradualmente, junto con otros esteroides testiculares, en la madurez sexual, convirtiendo la pubertad en un aspecto central en el proceso de regulación (Babol et al., 1995; Zamaratskaia & Squires, 2009).

Desde los testículos, la androsterona se libera a la circulación sistémica a través de la vena espermática, siendo transportada y almacenada en el tejido adiposo o transportada a las glándulas salivales, donde funciona como feromona (Xue

& Dial, 1997). Otra parte de la androsterona se metaboliza en el hígado mediante diferentes enzimas y se excreta a través de la orina (Zamaratskaia & Squires, 2009).

Los niveles de androsterona están relacionados principalmente con la edad y la etapa de madurez sexual, como también ocurre con otros esteroides testiculares (Babol et al., 1995). Así, se ha sugerido el sacrificio de animales jóvenes y de bajo peso como estrategia para reducir la frecuencia de cadáveres con olor sexual (Aluwé et al., 2011; Fàbrega et al., 2011). Sin embargo, las correlaciones entre el peso al sacrificio y los niveles de androsterona no siempre son significativas, debido al mayor efecto de la madurez sexual sobre el propio peso al sacrificio.

Como la concentración de androsterona en la grasa depende de factores genéticos, que median la alta heredabilidad, se sugirió la selección genética como un medio eficaz para reducir los niveles de androsterona (Zamaratskaia & Squires, 2009; Winding et al., 2012). Además, otros factores como la raza pueden influir en la concentración de androsterona en la grasa, así como en los niveles de escatol, siendo la raza Landrace la que tiene las concentraciones más bajas en grasa; en tanto que, las razas Hampshire y Duroc tienen niveles más altos de androsterona en comparación con Yorkshire y Landrace (Xue & Dial, 1996).

La relación entre androsterona y escatol se ha discutido en la literatura, pero aún no existe una aclaración definitiva. La androsterona, cuyos

niveles aumentan durante la pubertad, muestra una relación intrínseca con los niveles de escatol, que también coinciden con el momento de la pubertad (Babol et al., 2004; Zamaratskaia et al., 2005). Zamaratskaia et al. (2005) sugirieron una asociación entre escatol y androstenona, y Zamaratskaia & Squires (2009) encontraron una correlación positiva entre estos compuestos. Por otra parte, Babol et al. (1999) observaron que niveles elevados de esteroides sexuales, incluida la androsterona, reducen el metabolismo y la posterior eliminación del escatol, lo que da lugar a niveles elevados de escatol en la grasa de los animales. Doran et al. (2002) y Rasmussen et al. (2011) informan que una de las principales enzimas (CYP2E1) involucradas en el metabolismo hepático del escatol puede inhibirse con concentraciones más altas de androsterona; mientras que los niveles bajos de citocromo P4502E1 (CYP2E1) en el hígado pueden provocar una disminución del metabolismo y la eliminación del escatol como documentaron Squires & Lundström (1997).

Conclusiones

La inmunocastración es un procedimiento inmunológico, donde se generan anticuerpos contra la GnRH, suprimiendo temporalmente las funciones testiculares y evitando el olor sexual en la carne de los cerdos inmunocastrados. Frente a esto la inmunocastración en cerdos es una alternativa práctica y segura para reemplazar procedimientos invasivos como lo es las castraciones que se realizan con métodos quirúrgicos, sin embargo, su aplicación aún es escasa, pues su aceptación, introducción y difusión pueden generar incertidumbres y resistencia por parte de los productores del gremio porcino.

Referencias bibliográficas

- Aldal, I., Andresen, Ø., Egeli, A. K., Haugen, J.-E., Grødum, A., Fjetland, O., & Eikaas, J. L. H. (2005). Levels of androstenone and skatole and the occurrence of boar taint in fat from young boars. *Livestock Production Science*, 95(1–2), 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.12.010>
- Aluwé, M., Millet, S., Bekaert, K. M., Tuytens, F. A. M., Vanhaecke, L., De Smet, S., & De Brabander, D. L. (2011). Influence of breed and slaughter weight on boar taint prevalence in entire male pigs. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 5(8), 1283–1289. <https://doi.org/10.1017/s1751731111000164>
- Aluwé, M., Tuytens, F. A. M., & Millet, S. (2015). Field experience with surgical castration with anaesthesia, analgesia, immunocastration and production of entire male pigs: performance, carcass traits and boar taint prevalence. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 9(3), 500–508. <https://doi.org/10.1017/s1751731114002894>
- Babol, J., Squires, E. J., & Gullett, E. A. (1995). Investigation of factors responsible for the development of boar taint. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 28(6), 573–581. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(95\)00042-9](https://doi.org/10.1016/0963-9969(95)00042-9)
- Babol, J., Squires, E. J., & Lundström, K. (1999). Relationship between metabolism of androstenone and skatole in intact male pigs. *Journal of Animal Science*, 77(1), 84. <https://doi.org/10.2527/1999.77184x>
- Babol, J., Zamaratskaia, G., Juneja, R. K., & Lundström, K. (2004). The effect of age on distribution of skatole and indole levels in entire male pigs in four breeds: Yorkshire, Landrace, Hampshire and Duroc. *Meat Science*, 67(2), 351–358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.11.008>
- Bonneau, M. (1998). Use of entire males for pig meat in the European Union. *Meat Science*, 49, S257–S272. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)90053-5](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)90053-5)
- Bonneau, M., Kempster, A. J., Claus, R., Claudi-Magnussen, C., Diestre, A., Tornberg, E., Walstra, P., Chevillon, P., Weiler, U., & Cook, G. L. (2000). An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: I. Presentation of the programme and measurement of boar taint compounds with different analytical procedures. *Meat Science*, 54(3), 251–259. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00102-3](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00102-3)
- Čandek-Potokar, M., Škrlep, M., & Zamaratskaia, G. (2017). Immunocastration as Alternative to Surgical Castration in Pigs. *InTech*, 6, 109–126. doi: 10.5772/intechopen.68650
- Clark, C. C. A., & D'Eath, R. B. (2013). Age over experience: Consistency of aggression

- and mounting behaviour in male and female pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 147(1–2), 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.04.014>
- Claus, R., Weiler, U., & Herzog, A. (1994). Physiological aspects of androstenone and skatole formation in the boar—A review with experimental data. *Meat Science*, 38(2), 289–305. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90118-x](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90118-x)
- Cronin, G. M., Dunshea, F. R., Butler, K. L., McCauley, I., Barnett, J. L., & Hemsworth, P. H. (2003). The effects of immuno- and surgical-castration on the behaviour and consequently growth of group-housed, male finisher pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 81(2), 111–126. [https://doi.org/10.1016/s0168-1591\(02\)00256-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1591(02)00256-3)
- de Roest, K., Montanari, C., Fowler, T., & Baltussen, W. (2009). Resource efficiency and economic implications of alternatives to surgical castration without anaesthesia. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 3(11), 1522–1531. <https://doi.org/10.1017/s1751731109990516>
- Doran, E., Whittington, F. W., Wood, J. D., & McGivan, J. D. (2002). Cytochrome P450IIE1 (CYP2E1) is induced by skatole and this induction is blocked by androstenone in isolated pig hepatocytes. *Chemico-Biological Interactions*, 140(1), 81–92. [https://doi.org/10.1016/s0009-2797\(02\)00015-7](https://doi.org/10.1016/s0009-2797(02)00015-7)
- Dunshea, F. R., Colantoni, C., Howard, K., McCauley, I., Jackson, P., Long, K. A., Lopaticki, S., Nugent, E. A., Simons, J. A., Walker, J., & Hennessy, D. P. (2001). Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. *Journal of Animal Science*, 79(10), 2524. <https://doi.org/10.2527/2001.79102524x>
- European Commission. (2010). European Declaration on alternatives to surgical castration of pigs. https://food.ec.europa.eu/system/files/2016-10/aw_prac_farm_pigs_cast-alt_declaration_en.pdf
- European Medicines Agency (EMA). (2010). EPAR - Scientific Discussion. https://www.ema.europa.eu/en/medicines/what-we-publish-medicines-and-when/european-public-assessment-reports-background-and-contexthttps://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-discussion/Improvac-epar-scientificdiscussion_en.pdf
- Fàbrega, E., Gispert, M., Tibau, J., Hortós, M., Oliver, M. A., & Furnols, M. F. i. (2011). Effect of housing system, slaughter weight and slaughter strategy on carcass and meat quality, sex organ development and androstenone and skatole levels in Duroc finished entire male pigs. *Meat Science*, 89(4), 434–439. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.05.009>

- Fàbrega, E., Soler, J., Cros, J., Grispart, M., Tibau, J., & Velarde, A. (2009). Resultados de diversas alternativas a la castración quirúrgica en cerdos. *Suis*, 59, 26-34. https://recercat.cat/bitstream/id/16479/Fabrega_2009.pdf
- Figueroa Rodríguez, J. S. (2020). Evaluación de la ganaciadepeso encerdosinmunocastrados y cerdos castrados quirurgicamente en el municipio de Ocamonte Santander [Trabajo de Grado Pregrado, Universidad de Pamplona]. Repositorio Hulago Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/931>
- Fredriksen, B., & Hexeberg, C. (2009). The effect of removing animals for slaughter on the behaviour of the remaining male and female pigs in the pen. *Research in Veterinary Science*, 86(2), 368–370. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2008.06.005>
- Hagelsø Giersing, M., & Studnitz, M. (1996). Characterization and investigation of aggressive behaviour in the pig. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A Animal Science*, v.27, p.56-60.
- Hansen, L. L., Mejer, H., Thamsborg, S. M., Byrne, D. V., Roepstorff, A., Karlsson, A. H., ... Tuomola, M. (2006). Influence of chicory roots (*Cichorium intybus* L) on boar taint in entire male and female pigs. *Animal Science*, 82(3), 359–368. doi:10.1079/ASC200648
- Hansen, L.L., Stolzenbach, S., Jensen, J. A., Henckel, P., Hansen-Møller, J., Syriopoulos, K., & Byrne, D. V. (2008). Effect of feeding fermentable fibre-rich feedstuffs on meat quality with emphasis on chemical and sensory boar taint in entire male and female pigs. *Meat Science*, 80(4), 1165–1173. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.010>
- Harper A. (2008). Castration of pigs. Virginia Cooperative Extension Newsletter Archive [Internet]. https://www.sites.ext.vt.edu/newsletter-archive/livestock/aps-08_01/aps-0111.html
- Hernández, J. (2011). Métodos para evitar el olor sexual en el cerdo macho. Recuperado el 2012. de *Revista Venezolana Porcina*, (65), 90.
- Hernández, J. (2011). Métodos para evitar el olor sexual en el cerdo macho. *Revista Venezolana Porcina*, (65).
- Kress, K., Millet, S., Labussière, É., Weiler, U., & Stefanski, V. (2019). Sustainability of pork production with immunocastration in Europe. *Sustainability*, 11(12), 3335. <https://doi.org/10.3390/su11123335>
- Lehninger, A. L., Lee, N. D., Cox, M. M., Simões, A. A., & Lodi, W. R. N. (2002). *Lehninger Principípios De Bioquímica* (3. ed). Sarvier. <https://search.worldcat.org/es/title/lehninger-principios-de-bioquimica/oclc/55922965>

- Lessard, M., Taylor, A. A., Braithwaite, L., & Weary, D. M. (2002). Humoral and cellular immune responses of piglets after castration at different ages. *Canadian Journal of Animal Science*, 82(4), 519–526. <https://doi.org/10.4141/a02-011>
- Lundström, K., Matthews, K. R., & Haugen, J.-E. (2009). Pig meat quality from entire males. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 3(11), 1497–1507. <https://doi.org/10.1017/s1751731109990693>
- Molenaar, G. J., Lugard-Kok, C., Meloen, R. H., Oonk, R. B., de Koning, J., & Wessing, C. J. G. (1993). Lesions in the hypothalamus after active immunisation against GnRH in the pig. *Journal of Neuroimmunology*, 48(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/0165-5728\(93\)90052-z](https://doi.org/10.1016/0165-5728(93)90052-z)
- nHay, M., Vulin, A., Génin, S., Sales, P., & Prunier, A. (2003). Assessment of pain induced by castration in piglets: behavioral and physiological responses over the subsequent 5 days. *Applied Animal Behaviour Science*, 82(3), 201–218. [https://doi.org/10.1016/s0168-1591\(03\)00059-5](https://doi.org/10.1016/s0168-1591(03)00059-5)
- Oonk, H. B., Turkstra, J. A., Lankhof, H., Schaaper, W. M. M., Verheijden, J. H. M., & Meloen, R. H. (1995). Testis size after immunocastration as parameter for the absence of boar taint. *Livestock Production Science*, 42(1), 63–71. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(94\)00070-n](https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)00070-n)
- Pérez Restrepo, M. I. (2018). Beneficios de la Inmunocastración sobre la Castración Quirúrgica, en la Calidad de la Canal en Cerdos de Engorde Beneficiados en FrigoColanta. [Trabajo de Grado Pregrado]. Corporación Universitaria Lasallista <http://hdl.handle.net/10567/2260>
- Prunier, A., Bonneau, M., von Borell, E. H., Cinotti, S., Gunn, M., Fredriksen, B., Giersing, M., Morton, D. B., Tuytens, F. A. M., & Velarde, A. (2006). A review of the welfare consequences of surgical castration in piglets and the evaluation of non-surgical methods. *Animal Welfare (South Mimms, England)*, 15(3), 277–289. <https://doi.org/10.1017/s0962728600030487>
- Prunier, A., Mounier, A. M., & Hay, M. (2005). Effects of castration, tooth resection, or tail docking on plasma metabolites and stress hormones in young pigs¹. *Journal of Animal Science*, 83(1), 216–222. <https://doi.org/10.2527/2005.831216x>
- Rasmussen, M. K., Zamaratskaia, G., & Ekstrand, B. (2011). *in vitro* cytochrome P450 2E1 and 2A activities in the presence of testicular steroids. *Zuchthygiene [Reproduction in Domestic Animals]*, 46(1), 149–154. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2010.01613.x>
- Shaw, F. D., & Tume, R. K. (1992). The assessment of pre-slaughter and slaughter treatments of livestock by measurement of plasma

constituents—A review of recent work. *Meat Science*, 32(3), 311–329. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(92\)90095-I](https://doi.org/10.1016/0309-1740(92)90095-I)

Squires, E. J., & Lundström, K. (1997). Relationship between cytochrome P450IIE1 in liver and levels of skatole and its metabolites in intact male pigs. *Journal of Animal Science*, 75(9), 2506. <https://doi.org/10.2527/1997.7592506x>

Street, B. R., & Gonyou, H. W. (2008). Effects of housing finishing pigs in two group sizes and at two floor space allocations on production, health, behavior, and physiological variables¹. *Journal of Animal Science*, 86(4), 982–991. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0449>

Sutherland, M. A., Davis, B. L., Brooks, T. A., & Coetzee, J. F. (2012). The physiological and behavioral response of pigs castrated with and without anesthesia or analgesia¹. *Journal of Animal Science*, 90(7), 2211–2221. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4260>

Turkstra, J. A., Zeng, X. Y., van Diepen, J. T. M., Jongbloed, A. W., Oonk, H. B., van de Wiel, D. F. M., & Melen, R. H. (2002). Performance of male pigs immunized against GnRH is related to the time of onset of biological response¹. *Journal of Animal Science*, 80(11), 2953–2959. <https://doi.org/10.2527/2002.80112953x>

Ulloa Zhicay, T. J. (2018). Evaluación de dos

métodos de castración en los parámetros productivos en cerdos mestizos. [Trabajo de Grado Pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Macas. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8795>

van Wagenberg, C. P. A., Snoek, H. M., van der Fels, J. B., van der Peet-Schwering, C. M. C., Vermeer, H. M., & Heres, L. (2013). Farm and management characteristics associated with boar taint. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 7(11), 1841–1848. <https://doi.org/10.1017/s1751731113001328>

Vela Girón, Á. M. (2012). Efecto de la Inmunocastración y Castración Quirúrgica en los Parámetros Productivos de Cerdos. [Trabajo de Grado Pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2157>

Velarde, A., & Geers, R. (Eds.). (2007). On farm monitoring of pig welfare. Brill | Wageningen Academic. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-591-8>

Villaruel Román, N. V. (2016). Evaluación de una vacuna experimental para inmunocastración en machos porcinos de criadero. [Trabajo de Grado Pregrado]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140662>

- Viscarra Vásconez, J. A. (2021). Análisis comparativo de la inmunocastración (GnRF) y castración quirúrgica en el rendimiento productivo en cerdos de engorde. [Trabajo de Grado Pregrado]. Universidad Técnica de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9373>
- von Borell, E., Baumgartner, J., Giersing, M., Jägglin, N., Prunier, A., Tuytens, F. A. M., & Edwards, S. A. (2009). Animal welfare implications of surgical castration and its alternatives in pigs. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 3(11), 1488–1496. <https://doi.org/10.1017/s1751731109004728>
- Weary, D. M., Braithwaite, L. A., & Fraser, D. (1998). Vocal response to pain in piglets. *Applied Animal Behaviour Science*, 56(2–4), 161–172. [https://doi.org/10.1016/s0168-1591\(97\)00092-0](https://doi.org/10.1016/s0168-1591(97)00092-0)
- Windig, J. J., Mulder, H. A., ten Napel, J., Knol, E. F., Mathur, P. K., & Crump, R. E. (2012). Genetic parameters for androstenone, skatole, indole, and human nose scores as measures of boar taint and their relationship with finishing traits¹. *Journal of Animal Science*, 90(7), 2120–2129. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4700>
- Xue, J., Dial, G.D. (1997). Raising intact male pigs for meat: Detecting and preventing boar taint. *Swine Health and Production*, 5(4), 151–158.
- Zamaratskaia, G., & Squires, E. J. (2009). Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 3(11), 1508–1521. <https://doi.org/10.1017/s1751731108003674>
- Zamaratskaia, G., Babol, J., Andersson, H. K., Andersson, K., & Lundström, K. (2005). Effect of live weight and dietary supplement of raw potato starch on the levels of skatole, androstenone, testosterone and oestrone sulphate in entire male pigs. *Livestock Production Science*, 93(3), 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.10.007>
- Zammerini, D., Panella-Riera, N., Tarsitano, M. A., Borrissier, F., Olivares, A., Garrido, M. D., ... & Oliver, M. A. (2013). Prevalencia de olor sexual en cerdos machos enteros españoles. Resultados preliminares con la técnica "human nose". DIALNET. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8728217>
- Zeng, X. Y., Turkstra, J. A., Jongbloed, A. W., van Diepen, J. T. M., Melen, R. H., Oonk, H. B., Guo, D. Z., & van de Wiel, D. F. M. (2002). Performance and hormone levels of immunocastrated, surgically castrated and intact male pigs fed ad libitum high- and low-energy diets. *Livestock Production Science*, 77(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(02\)00024-6](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(02)00024-6)

Reporte de caso

Aproximación al análisis de sostenibilidad en la Granja Experimental CORHUILA, municipio de Rivera, Huila

Approaching sustainability analysis at the CORHUILA Experimental Farm, Rivera municipality, Huila

Eduardo José Chavarro Parra¹, Sofía Imelda Mora-Lamilla²

Resumen

En un ejercicio académico se realizó el análisis de sostenibilidad de los sistemas productivos pecuarios existentes en la Granja Experimental de Rivera de la Corporación Universitaria del Huila (CORHUILA) durante el año 2021. Para ello, se utilizó la metodología adaptada de evaluación de sostenibilidad para la agricultura y la alimentación (SAFA, por sus siglas en inglés), desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO). En este estudio SAFA ha sido utilizado como un método de autoevaluación, que, mediante la obtención de un polígono, pudo evidenciar la evolución en temas de sostenibilidad a partir del análisis en dos momentos espacio-temporales específicos en los sistemas productivos de ganadería, porcicultura y avicultura (pollo de engorde). Al realizar el análisis, se evidenció que el sistema productivo avícola, a pesar de tener instalaciones deficientes, presenta las mejores puntuaciones en los índices de sostenibilidad evaluados. Los sistemas productivos de lechería y porcicultura obtuvieron muy buena valoración en temas relacionados con los indicadores de producción y ambiental; se espera en una próxima evaluación de sostenibilidad, mejores parámetros, resultado de las divisiones de potreros en el sistema silvopastoril y la implementación de planes de buenas prácticas pecuarias.

Palabras claves: Metodología SAFA, prácticas sostenibles, sistemas integrados de producción.

1. Coporación Universitaria del Huila – CORHUILA, Facultad Medicina Veterinaria y Zootecnia.

2. Centro de la Industria, La empresa y los Servicios, Tecnoparque Nodo Neiva. Correo de correspondencia simora@sena.edu.co

Cómo citar: Chavarro Parra, E. J., & Mora Lamilla, S. I. (2024). Aproximación al análisis de sostenibilidad en la Granja Experimental CORHUILA, municipio de Rivera, Huila. Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura, 9(1), 30-42.



Abstract

In an academic exercise, the sustainability analysis of existing livestock production systems at the Experimental Farm of Rivera of the University Corporation of Huila (CORHUILA) during the year 2021 was conducted. For this purpose, the adapted methodology for assessing Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems (SAFA) developed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) was utilized. In this study, SAFA was used as a self-assessment method, through the generation of a polygon, this could demonstrate the evolution in sustainability topics based on the analysis at two specific spatiotemporal moments in the livestock production systems of cattle, pig farming, and poultry (broilers). Upon analysis, it was evident that the poultry production system, despite having deficient facilities, it presented the best scores in the evaluated sustainability indices. Dairy and pig farming production systems received very good ratings in aspects related to production and environmental indicators; it is expected that in a subsequent sustainability assessment, improved parameters will result from pasture divisions in the silvopastoral system and the implementation of good livestock practices plans.

Keywords: SAFA methodology, sustainable practices, integrated production systems.

Introducción

Desde hace varias décadas la importancia y el interés por el deterioro del medio ambiente, ha crecido exponencialmente debido a sus evidentes consecuencias, que no solo afectan a los ecosistemas por sí mismos, sino también a las civilizaciones de todo el mundo, por lo cual se ha incentivado el cambio de pensamiento de las sociedades contemporáneas, la aplicabilidad de diversos conocimientos y el análisis

interdisciplinarios direccionados a la relación medio-ambiental (Perevochtchikova, 2013), desde entonces, el término desarrollo sostenible ha hecho hincapié en los temas de interés actual más importantes en todo el mundo. Una de las aplicaciones de vital importancia se dirige hacia los sistemas productivos agropecuarios, los cuales han desempeñado un papel significativo, aunque no exclusivo, en la creación de un impacto negativo en el medio ambiente y los agroecosistemas durante muchos años. Este

fenómeno ha sido impulsado por prácticas tradicionales por parte de los productores, quienes han centrado sus esfuerzos únicamente en metas productivas y económicas, descuidando cualquier consideración por las posibles consecuencias sobre los recursos naturales y el impacto futuro, como se evidencia en estudios anteriores (Ruiz et al., 2017).

Existen una gran variedad de definiciones sobre el desarrollo sostenible, pero todas y cada una de ellas concluyen que un sistema productivo solo es sostenible si protege los recursos naturales renovables y no renovables, si genera productos de calidad y en la cantidad que requiere la demanda de alimentos presente, salvaguardando y promoviendo la seguridad alimentaria, de manera que contrarreste y aporte a la gran problemática actual de escasez de alimento y la incapacidad actual del suministro del mismo (FAO, 2015). Además, es sostenible si el sistema es autosuficiente, limitando al máximo el ingreso de insumos ajenos, lo cual hace que sea medido o nulo el uso de agroquímicos y fertilizantes, generando así impactos ambientales y económicos positivos; si es económicamente viable, brindará calidad de vida a trabajadores y otras poblaciones relacionadas, generará empleos, y lo más importantes, satisficará las necesidades presentes sin comprometer las de las futuras generaciones (Ruiz et al., 2017).

Debido a la gran problemática actual, los análisis de sostenibilidad se volvieron

herramientas imprescindibles para promover el cambio de los sistemas productivos tradicionalistas, específicamente los agropecuarios, a sistemas más productivos, rentables, resilientes y ambientalmente positivos, a través de un manejo adecuado y la implementación de diversas tecnologías (Mera et al., 2017). Estos análisis hacen referencia a mediciones espacio-temporal específica de cada sistema productivo que reflejan su estado o condición actual (Ruiz et al., 2017), lo que significa que un análisis no puede ser similar.

Para la medición y realización de este análisis es necesario la implementación de una metodología que sea capaz de reflejar las características específicas del momento, permitiendo comprender y analizar el estado actual del sistema. Además, debe caracterizarse por ser: 1) Integradora, de manera que agrupe información necesaria, 2) Medible, debido a que la información debe ser cuantificable y cualificable, y 3) Asequible, a través del uso de indicadores que permiten medir una situación específica e identificar puntos críticos para la priorización de actividades encaminadas hacia la sostenibilidad (Moreno, 2014; Calderón, 2015).

Los indicadores se representan en atributos que componen a un sistema sostenible, permitiendo evaluar si un sistema es o tiene algunas acciones encaminadas a la sostenibilidad; estos puntos se agrupan en diferentes ejes como el productivo, social y económico, entre

otros. Lo anterior, facilita la individualización de los indicadores por agrupación, y el análisis de resultados para la identificación de fortalezas y debilidades del sistema productivo encaminados hacia la toma de decisiones y la planificación productiva sostenible (Ruiz et al., 2017).

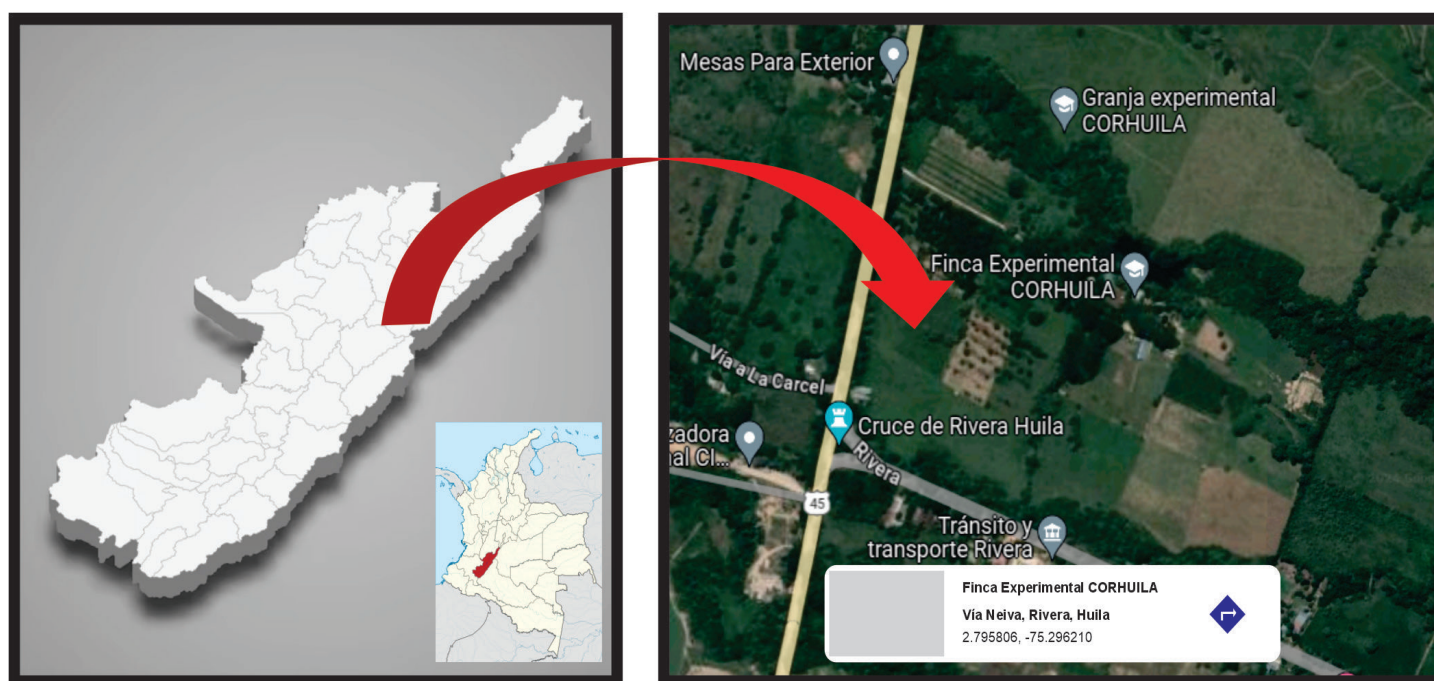
Materiales y métodos:

El estudio fue desarrollado en la Granja Experimental de la Corporación Universitaria

del Huila (CORHUILA), ubicada a $2^{\circ}47'43''$ N y $75^{\circ}17'45''$ W en la vereda Pedregal del municipio de Rivera, en el departamento de Huila (Colombia), a 20 km vía al sur de Neiva (Figura 1), a una altura de 524 msnm, con precipitación anual de 1377 mm y temperatura promedio de 25°C , según Holdridge (1967) corresponde a un bosque seco tropical (Bs-T).

Figura 1

Ubicación de la Granja Experimental de CORHUILA en Rivera (Huila).



Nota. Fuente Google maps.

Para realizar el análisis de sostenibilidad se utilizó la herramienta "Evaluación de la sostenibilidad para la agricultura y la alimentación" SAFA (por sus siglas en inglés) que es un referente

internacional para la "Ordenación sostenible, el seguimiento y la presentación de informes sobre la alimentación y la agricultura en todos los niveles de la cadena de suministro", elaborada

por la FAO (2013) y ajustada para este estudio. Entre de los diferentes sistemas productivos existentes en la Granja Experimental CORHUILA se analizaron: 1) Sistema de producción lechera, 2) Sistema de producción porcícola, y 3) Sistema

de producción avícola (pollo de engorde); dentro de ellos se evaluaron tres (3) ejes: producción, ambiental y socio-económico; para cada uno se plantearon indicadores que permitieran una valoración cualitativa (Tabla 1).

Tabla 1

Ejes e indicadores de sostenibilidad en los sistemas productivos analizados.

EJE		Indicadores de sostenibilidad					
		Sistema de producción lechera		Sistema de producción porcícola		Sistema de producción avícola (pollo de engorde)	
Producción	1.	Conservación de forrajes	1.	Peso al destete	1.	Suministro de alimento	
	2.	Tecnologías agropecuarias implementadas	2.	Carga animal	2.	Infraestructura	
	3.	Carga animal	3.	Tasa de mortalidad	3.	Conversión de alimento	
	4.	Toma de registros	4.	Registros técnicos y reproductivos	4.	Tasa de mortalidad	
	5.	Infraestructura	5.	Peso al nacimiento	5.	Manejo sanitario preventivo	
	6.	Producción leche diaria	6.	Delimitación del sistema (cercas)	6.	Manejo de temperatura y humedad relativa	
Ambiental			7.	Infraestructura	7.	Toma de registros	
	7.	Protección de fuentes hídricas	8.	Almacenamiento de agua			
	8.	Manejo del suelo y las pasturas	9.	Tratamiento de agua			
	9.	Cercas vivas	10.	Protección fuentes hídricas	8.	Manejo de residuos	
	10.	Manejo de desechos	11.	Cobertura arbórea			
Socio-económico			12.	Manejo y control de residuos			
	11.	Ingresos	13.	Manejo de registros contables	9.	Manejo administrativo	
	12.	Seguridad alimentaria	14.	Seguridad alimentaria	10.	Rentabilidad	
			15.	Personal de manejo			

Es importante mencionar que el eje de producción contempla todos aquellos indicadores inherentes al modelo de producción de bienes y servicios que permiten analizar su desempeño dentro del sistema productivo.

La calificación de cada indicador se realizó teniendo en cuenta una escala de uno (1) a cinco (5), en donde: 1) Indica que no hay acciones para mejorar la situación encontrada, 2) Se identifican acciones en marcha, pero no se ven resultados, 3) Hay acciones en proceso y se ven algunos resultados, 4) Hay resultados evidentes en el sistema y 5) El sistema es sustentable.

La primera evaluación fue realizada en el mes de mayo de 2021, denominado semestre 2021A y la segunda en el mes de noviembre de 2021, siendo identificado como semestre 2021B. A partir de los resultados obtenidos se elaboró un polígono (Gráfico de telaraña) para contrastar la valoración de indicadores de sostenibilidad analizados.

Resultados y Discusión

El análisis comparativo de sostenibilidad de tres sistemas productivos en la Granja Experimental CORHUILA en los semestres 2021A y 2021B se presentan en un polígono de sostenibilidad (Gráficos de telaraña) en donde la línea de color gruesa (naranja y azul) conecta los valores de puntuación entre los indicadores de sostenibilidad y revela las áreas débiles.

Sistema de producción lechera

En la Figura 2 se puede observar que el indicador con mayor riesgo en el sistema productivo de lechería, fue la presencia de cercas vivas, que tiene una connotación de múltiple funcionalidad puesto que, además de proporcionar alimento al ganado, genera otros beneficios como la disminución de costos por establecimiento de postes, bienestar animal, mitigación del cambio climático, potenciación de la biodiversidad, entre otros; este indicador no cambió para ninguno de los momentos analizados en este estudio, lo que supone la necesidad de realizar un plan de siembra de cercas vivas que permitan incrementar el indicador que, para zona de Bs-T puede incluir múltiples especies como Matarratón (*Gliricidia sepium*), Guayacán amarillo (*Handroanthus chrysanthus*), Guayacán rosado (*Tabebuia rosea*) y Gualanday (*Jacaranda mimosifolia* D.Don) (Grisales et al., 2018).

Figura 2

Ejes e indicadores de sostenibilidad en el sistema productivo de leche.



Por otra parte, los indicadores de conservación de forraje e infraestructura a pesar de contar con resultados evidentes en el sistema en el semestre 2021A; para el semestre 2021B lograron una puntuación que los define como indicadores sostenibles gracias a las actividades realizadas puesto que, al almacenar y preservar forrajes, se garantiza un suministro continuo de alimento para el ganado, permitiendo a los agricultores enfrentar fluctuaciones estacionales o condiciones climáticas adversas. Esta práctica reduce la presión sobre pastizales naturales y evita la sobreexplotación de recursos, promoviendo así la salud del suelo y la biodiversidad, y por

consiguiente, la sostenibilidad de los sistemas ganaderos (Fedegan, 2014).

En el semestre 2021A se observó acciones en marcha para los procesos de producción de leche diaria, protección de fuentes hídricas, ingresos y seguridad alimentaria, sin resultados; mientras que en el semestre 2021B se evidenciaron resultados de gran importancia derivados de las actividades implementadas en la disposición de las aguas residuales y del estiércol; por el contrario, se presentó un retroceso en los temas de tecnologías agropecuarias implementadas y el manejo de suelos y de pasturas derivado,

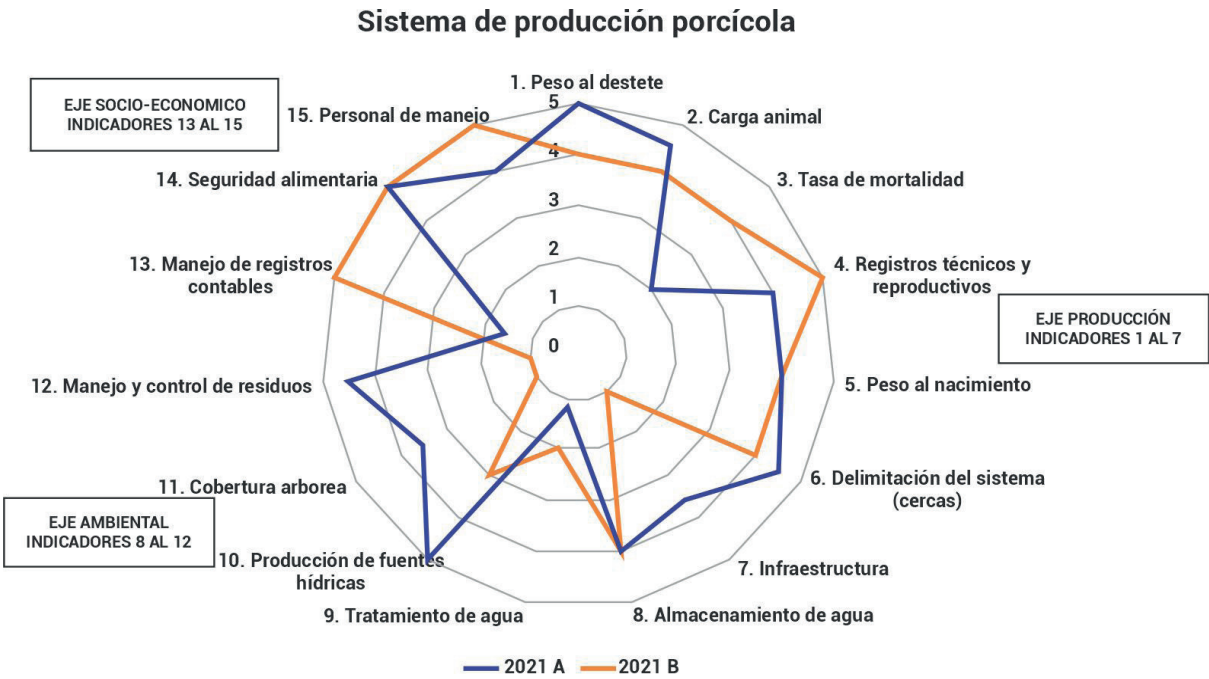
probablemente, a temas administrativos. Lo anterior, representa un punto crítico que perturba la sostenibilidad del sistema al afectar la preservación del medio ambiente y la seguridad alimentaria, generado por el inadecuado manejo de los suelos, que intensifica la infertilidad de estos y repercute en el desarrollo de las pasturas (Motta-Delgado et al., 2019). Esta situación conlleva a un problema directo en la disponibilidad de la base alimenticia de la mayoría de los sistemas de producción ganadera, además, de influir en la generación de productos finales que llegan al consumidor, tanto en la calidad como en la cantidad requerida; adicionalmente, aumenta la desertificación y erosión de los suelos (Ramírez et al., 2008, Motta-Delgado et al., 2019).

Por último, se destaca el gran avance presentado en el manejo de los desechos que, al encontrarse en la zona de riesgo en el semestre 2021A, logró mostrar resultados significativos en la materia para el semestre 2021B.

Sistema de producción porcícola

En el sistema productivo porcícola se puede destacar que en el semestre 2021B los temas de tasa de mortalidad, tratamiento de agua y manejo de registros contables fueron los mayores avances entre la primera y segunda evaluación de sostenibilidad, marcando grandes diferencias que permitieron resultados positivos en el sistema productivo (Figura 3).

Figura 3
Ejes e indicadores de sostenibilidad en el sistema productivo porcícola.



Por su parte, es notorio el gran retroceso en temas de infraestructura, cobertura arbórea, protección de fuentes hídricas, manejo y control de residuos que se presentaron en el semestre 2021B, puesto que el sistema no contaba con programas de desinfección ni limpieza, presentando desperdicio de agua por tanques en malas condiciones y la presencia de escombros en las áreas de pastoreo; todo esto llama la atención a la estructuración de planes de acción a corto plazo como la implementación de planes de bioseguridad que permitan llevar un control riguroso de limpieza y desinfección, así como un adecuado manejo sanitario que mejorará los indicadores de sostenibilidad.

En relación con los puntos críticos del sistema productivo, las barreras vivas se presentan como una solución integral a diversos problemas. Estas no solo ofrecen una delimitación física efectiva del predio, sino que también sirven como valiosa fuente de recursos maderables para la construcción de corrales rústicos, los cuales no implican necesariamente costos elevados, contribuyendo así a la mejora de la infraestructura. Por otro lado, la presencia de cobertura arbórea resulta beneficiosa para la regulación térmica de los animales, a la par de desempeñar un papel crucial en la protección de fuentes hídricas al facilitar una mayor retención de humedad en el entorno. Además de estos beneficios directos, las barreras vivas ofrecen servicios ecosistémicos adicionales como la dispersión de olores y un agradable efecto ornamental (Mejía, 2021).

Se sugiere considerar otra medida clave: la implementación de genética criolla. En relación con este tema, Espinoza & Ly (2015) llevaron a cabo una revisión descriptiva centrada en los cerdos criollos colombianos. En sus hallazgos, determinaron que la genética Zungo exhibe características más favorables en comparación con otras genéticas importadas. Estas ventajas incluyen rusticidad, mayor eficiencia en el aprovechamiento de desperdicios, parámetros productivos óptimos, menor consumo de agua y una reducida dependencia de insumos externos, como los agroquímicos. Este enfoque no solo aumenta la rentabilidad para el productor al optimizar el uso de recursos, sino que también contribuye a la sostenibilidad, al generar menos contaminación ambiental y requerir menos agua. Todo esto se logra sin sacrificar la obtención de resultados destacados en términos de producción.

Vale la pena resaltar que el sistema mantuvo en buen nivel, los pesos al destete, carga animal, registros, peso al nacimiento, delimitación del sistema y almacenaje de agua, que son temas inherentes al eje de producción lo que indica que el flujo de animales para el mercado es óptimo.

Sistema de producción avícola (pollo de engorde)

A diferencia de los sistemas productivos anteriores, la producción de pollo de engorde solamente evidenció retroceso en la infraestructura existente entre los semestres

2021A y 2021B como consecuencia del deterioro y la falta de inversión para la construcción y modernización del galpón (Figura 4). Este punto es de vital importancia porque, como lo menciona Osorio et al., (2013), entender los requerimientos de tipo ambiental al interior de un galpón, conllevan al diseño y construcción de

galpones bioclimáticos que permiten alcanzar las metas en términos de productividad. A pesar de ello, los estudiantes realizaron el control de las condiciones medioambientales que permitieron un óptimo desarrollo de los animales en sus diferentes etapas de crecimiento.

Figura 4

Ejes e indicadores de sostenibilidad en el sistema productivo avícola (pollo de engorde).



La conversión alimenticia, tasa de mortalidad y manejo sanitario pertenecientes al eje producción presentaron en los dos semestres un excelente desempeño, que se vio reflejado en la producción de lotes para la venta en condiciones de calidad sanitaria y de producto, que mostraron en el eje socio-económico con la rentabilidad y el manejo administrativo del sistema productivo; como lo mencionan Larrea et al., (2011) y Motta-Delgado et al., (2019), un sistema es sostenible cuando presenta atributos de productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autosuficiencia, características encontradas en el sistema productivo de pollo de engorde.

Conclusiones

Los indicadores de producción o técnicos encontrados en la Granja Experimental CORHUILA en los sistemas productivos estudiados denotan un avance en la implementación de mejoras que conllevan al incremento de la productividad, no obstante, es de tener en cuenta que la rotación de estudiantes en cada semestre trae como consecuencia que el sistema presente ajustes. El sistema productivo avícola (pollo de engorde) tuvo un mejor grado de sostenibilidad dado que el único tema que se encuentra en la zona inaceptable es el de la infraestructura, que puede ser mejorado con algunas inversiones en la modernización del galpón.

Por otra parte, los indicadores de tipo social tienden a ser cualitativos y son difíciles de medir

con precisión, por lo tanto, no es sencillo ubicarlos en el marco de una evaluación de tipo cuantitativa. Teniendo en cuenta que la Granja Experimental tiene como objetivo principal proveer de espacios de aprendizaje a los estudiantes que pertenecen a CORHUILA, los indicadores no pueden ser medidos en términos de generar información de la realidad de un productor y de su familia.

SAFA como procedimiento de valoración del rendimiento de la sostenibilidad en un sistema productivo agropecuario, utilizado como instrumento en este estudio, pudo mediante la autoevaluación y generar alertas que son de gran importancia para llevar a cabo la implementación de estrategias para lograr que los sistemas productivos estudiados estén alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Agradecimiento

A los estudiantes de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la CORHUILA, asistentes a la asignatura Sistemas de Producción del año 2021 por los insumos para la realización del análisis de sostenibilidad de la Granja Experimental de Rivera.

Referencias bibliográficas

- Calderón, P. & Floréz, G. (2015). Valoración y análisis de indicadores de sostenibilidad en seis unidades de producción agropecuaria de la cuenca media del río Chinchiná. *Revista Luna Azul*, 41, 73-88. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321739268005>
- Espinoza, C. & Ly, J. (2015). Cerdos criollos colombianos y agricultura sostenible. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 22(1), 1-9. https://www.academia.edu/14703475/CERDOS_CRIOLLOS_COLOMBIANOS_Y_AGRICULTURA_SOSTENIBLE
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Fedegán-FNG, Corpoica y Cipav. Alimentación bovina durante la sequía. (2014) p, 44. <https://www.fedegan.org.co/alternativas-para-enfrentar-una-sequia-prolongada-en-la-ganaderia-colombiana-0>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013). SAFA para la evaluación de la sostenibilidad. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/nr/sustainability_pathways/docs/SAFA_Factsheet_Spanish.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). Sustainable Development Goals Helpdesk. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>
- Fedegán. (2014). Módulo de conservación de forrajes. En: Núcleos Municipales de Extensión y Mejoramientos de Pequeños Ganaderos, ASISTIGÁN.
- Grisales, D., Rojas, L., Bonilla, D., Saavedra, D., Perdomo, J., Narváez, B. & Ordoñez, C. (2018). Sistemas silvopastoriles para zona de bosque seco, como alternativa sostenible de producción: nociones sobre relación ssp-carbono, especies con potencial forrajero y costos de implementación. Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/7283/Sistemas_silvopastoriles_para_zona_de_bosque.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Holdridge, L.R. (1967). Life zone ecology. San José, Costa Rica: Tropical Science Center. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemas/bosque-seco-tropical/Organización Mundial de la salud>
- Larrea (2011) Larrea, A. (2011). Caracterización y eficiencia de la producción lechera en el noreste de la Pampa (Argentina) (tesis de doctorado). Universidad de

Córdoba, Córdoba, España. Recuperado de https://www.europeana.eu/portal/en/record/2022701/oai_helvia_uco_es_10396_5219.html

Mejía, J. (2021). Barreras vivas para el manejo paisajístico y la mitigación de olores ofensivos en granjas porcícolas. Fondo Nacional de la Porcicultura (PORKCOLOMBIA). https://porkcolombia.co/wp-content/uploads/2021/09/Guia-Barreras-Vivas_v4.pdf

Mera, R., Valle, E., Vizuite, J., Sánchez, J. (2017). Granjas agrosostenibles – sustentables. Uniandes Episteme, 4(2), 248–262. <http://45.238.216.13/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/595>

Moreno, E. (2014). Indicadores para el estudio de la sustentabilidad urbana en Chimalhuacán, Estado de México. Estudios sociales, 22(43), 160-186. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572014000100007

Motta-Delgado, P., Ocaña Martínez, H., Rojas-Vargas, E. & Rodríguez, G. (2019). Indicadores asociados a la sostenibilidad de pasturas: una revisión. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 20(2), 387-430. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol20num2art:1464>

Osorio, R., Ferreira, I., Osorio, J., Oliveira, K. & Guerra L. (2013). Modelamiento del Ambiente Térmico y Aéreo de un Galpón de Presión

Negativa Tipo Túnel para Pollitos. Revista Facultad Nacional de Agronomía (RFNA), de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, 66(2), 1-10. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v66n2/v66n2a09.pdf>

Perevochtchikova, María. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. Gestión y política pública, 22(2), 283-312. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001&lng=es&tlng=es.

Ramírez (2008) Ramírez, L., Alvarado, A., Pujol, R., MaHugh, A., & Brenes, L. (2008). Indicadores para estimar la sostenibilidad agrícola de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. Agronomía Costarricense, 32(2), 93-118. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43632206>.

Ruiz, J., Barahona, B. & Bolivar, D. (2017). Indicadores de sustentabilidad para lechería especializada. Livestock Research for Rural Development, 29(1). <http://www.lrrd.org/lrrd29/1/ruiz29009.html>

Artículo de investigación

Evaluación de tres métodos de propagación para árboles élite del banco de germoplasma de cacao del Centro de Formación Agroindustrial de Campoalegre, Huila (Colombia)

Evaluation of three propagation methods for elite trees of the cocoa germplasm bank of the Campoalegre Agroindustrial Training Center, Huila (Colombia)

Lili Estefani Fernández Toro¹, Angie Milena Cardozo Aguilar¹,
Carolina Ávila Cubillos¹, Valentín Murcia Torrejano¹, Leidy
Machado Cuellar¹, David Saavedra Mora¹

1. Centro de Formación
Agroindustrial La Angostura,
Regional Huila.

Correo de correspondencia:
leidymachadocuellar@gmail.
com

Cómo citar: Fernandez Toro,
L. E., Cardozo Aguilar, A. M.,
Ávila Cubillos, C., Murcia
Torrejano, V., Machado
Cuellar, L., & Saavedra Mora,
D. (2024). Evaluación de tres
métodos de propagación
para árboles élite del
banco de germoplasma
de cacao del Centro de
Formación Agroindustrial
de Campoalegre, Huila
(Colombia). Revista
Agropecuaria y Agroindustrial
La Angostura, 9(1), 43-59.

Resumen

La propagación asexual en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es una alternativa de conservación y mejoramiento genético en el cultivo de cacao. El objetivo de esta investigación fue evaluar tres métodos de propagación: estacas, acodos e in vitro. La investigación se desarrolló en el Centro de Formación Agroindustrial, donde se seleccionaron árboles élites (2, 20, 38, 27, 81, 205, 32 y 69) del Banco de Germoplasma de cacao. Los datos que se registraron en los tres métodos fue el color y tiempo. El mejor resultado encontrado fue acodo, observándose en menor tiempo formación de callos y por consiguiente de raíces.

Palabras clave: Élite, bancos de germoplasma, acodo, estaca, in vitro embriogénesis somática.



Abstract

Asexual propagation in cocoa (*Theobroma cacao* L.) is an alternative for conservation and genetic improvement in cocoa cultivation. The objective of this research was to evaluate three methods of propagation, by cuttings, layering and in vitro. The research was carried out at the Agroindustrial Training Center, where elite trees were selected from the Cocoa Germplasm Bank. The data recorded in the three methods were color and time. The best result found was layering, observing the formation of callus and consequently the formation of roots in less time.

Key words: Élite, germplasm bank, acodo, stake, in vitro somatic embryogenesis.

44

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los principales cultivos de interés comercial en más de 50 países, concentrado principalmente en África, aportando una producción de 74,9% a nivel mundial y América latina el 19,1% (CIAT, 2019, ICCO, 2022). Costa de Marfil es principal productor de cacao generando 2,20 millones de toneladas que equivalen al 38,21% de la producción mundial; Ghana ocupa el segundo lugar con 800.000 toneladas (13,90%) y el tercer lugar es para Indonesia con un total de 739,483 toneladas equivalente (12,85%) (FAO, 2022; Martínez & Martínez 2021; Sukmawati et al., 2021).

Colombia ocupa el quinto lugar en Latinoamérica con el 1,10 % de la producción

mundial con 63.416 toneladas para el 2020 equivalente al 6,36% del total (FEDECACAO, 2021 ; FAO, 2022). Las exportaciones de cacao de Colombia alcanzaron cerca de 70 países por un valor de \$57,1 millones de dólares (OEC, 2019; ITC, 2021; Colombia Productiva, 2021), en torno aproximadamente 176.000 mil hectáreas sembradas, con un incremento del 40% en nuevas áreas. Los cinco departamentos con mayor producción son Santander (28,037 toneladas equivalentes al 40,57%), Antioquia (5,600 toneladas que equivalen al 8,8%), Arauca (4,8 mil toneladas representando el 7,6%) (Moreno, 2021) y el departamento del Huila (4,197 toneladas con una participación del 6,8%) (MINAGRICULTURA, 2022; Moreno, 2021).

En el establecimiento de los nuevos cultivos de cacao, se debe considerar la conservación

de variedades genéticas mediante bancos de germoplasma y el uso de jardines clonales que permitan la propagación vegetal y la adopción de programas de mejoramiento genético (García, 2008; FAO, 2021). Esta etapa es necesaria para la selección de genotipos que respondan a los requerimientos y las necesidades del sector cacaotero como la tolerancia a fitoparásitos, altos rendimientos de producción, adaptación al cambio climático y atributos sensoriales en el grano de cacao. A nivel mundial, existen diversos bancos de germoplasma (Encina et al., 2018), entre los que se destaca Costa Rica que cuenta con el centro Agronómico Tropical de investigación y enseñanza (CATIE), reconocido por ser un centro de investigación que provee material botánico para mejoramiento genético (Ramírez, 2021), conservando más de 1.200 accesiones entre Trinitarios y Criollos (Nieves et al., 2019); en Colombia instituciones como FEDECACAO, SENA, AGROSAVIA, Universidad de la Amazonia entre otras, tiene materiales regionales de cacao, importante para la conservación.

Acorde con el Acuerdo 003 del Consejo Nacional Cacaotero de Colombia, se definió el listado de materiales potenciales para ser empleados como copa y semilla en el patronaje de los procesos de propagación vegetal (Sáenz, 2010). Se destacan como patrones para injertación, los siguientes: P 7, PA 46, PA 121, PA 150, EET 96, EET 400, CAU 39, CAU 43 y IMC 67. Sin embargo, entre los materiales recomendados para la región del Huila, se

destacan específicamente los clones: TSH 565, TSH 812, ICS 1, ICS 39, ICS 40, ICS 60, ICS 95, EET 8, EET 96, EET 400, CCN 51 y SCC 61.

Basado en esta amplia diversidad de materiales, se ha venido perdiendo la genética de materiales regionales con alto rendimiento productivo con potencial para la comercialización de cacao especiales; considerados por las características organolépticas del grano de cacao. Para la conservación y desarrollo productivo de materiales potenciales, la propagación vegetal resulta ser una técnica eficiente y de gran utilidad para el sector cacaotero (Osuna et al., 2017; Peña López 2019). El método más común es la propagación sexual, en el cual se utilizan las semillas botánicas, de plantas con características tanto del padre como de la madre (Paz et al., 2020).

Para evitar y/o reducir la variabilidad genética la propagación asexual o clonación se convierte en una estrategia viable para obtener plantas homogéneas (Peña López, 2019), evitando variantes genéticas en las plantas (Valera & Garay, 2017; Gutiérrez y Muños, 2017; Paz et al., 2020). En el cacao la propagación asexual, se puede hacer por: acodo (Paz et al., 2020; Buechel, 2021), enraizamiento de estacas (Elías, 2021) embriogénesis somática (Acuña y Godoy, 2017; Díaz-López et al., 2018; Hidalgo, 2019; Suárez, 2020) y por injertación (Gárate et al., 2020); cualquiera de estas técnicas permite las características genéticas iguales a la planta

que se desea clonar (INIA, 2020). En este sentido el objetivo de la investigación fue evaluar tres métodos de propagación para árboles élite del banco de germoplasma de cacao del Centro de Formación Agroindustrial.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el municipio de Campoalegre en el Centro de Formación Agroindustrial del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) - Regional Huila, localizado a 2° 40' 30,2" N y 75° 21' 24,6" W, 533 m.s.n.m; lugar que en promedio al año presenta una temperatura de 26,3°C, una humedad relativa de 67% y una radiación solar de 191,2 watt/m² con 6 horas de sol/día. El régimen de lluvias es bimodal, con una precipitación media anual 1370 mm con dos picos de lluvia: marzo-mayo y octubre a noviembre (Ordoñez et al., 2021). De acuerdo con la clasificación ecológica propuesta por Holdridge (1987), el Centro de Formación Agroindustrial se ubica en una zona de vida de Bosque Seco Tropical (Bs-T).

Recolección de datos

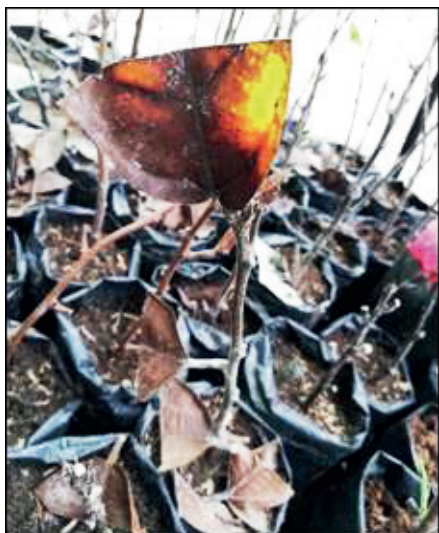
La propagación se realizó con tres métodos asexuales: Estacas, *in vitro* embriogénesis somática y acodo. Se seleccionaron ocho genotipos de cacao sobresalientes del banco de germoplasma del Centro de Formación Agroindustrial, codificados como: 2, 20, 38, 27, 81, 205, 32 y 69; establecidos en el año 1980 como

una estrategia de recuperación y conservación de materiales regionales con potencial productivo y comercial, distribuidos en 546 genotipos de cacao en un área de 0.5 Ha (Ávila et al., 2016).

Métodos de propagación

Método de estaca

Se realizó acorde con la metodología propuesta por Chávez et al. (2019) en horas de la mañana a partir de las 6:00 hasta las 10:00 am, se colectaron 96 varetas (Figura 1) libre de plagas y enfermedades de la estructura terminal vegetativa, con una longitud de 12 a 15 cm de largo y con un diámetro de 0.5-0.8 cm. Las varetas fueron depositadas en un recipiente plástico con agua y cubiertas con papel periódico húmedo. Posteriormente, la desinfección de los tejidos vegetativos se realizó mediante inmersión en una solución desinfectante con hipoclorito de sodio al 10% durante 10 a 15 segundos, seguido de dos enjuagues con agua destilada para evitar posibles contaminaciones por patógenos. Por último, se suministró regulador fisiológico (Hormonagro® 1) en una concentración del 100% (1.5 gramo /1 litro de agua) en aplicación foliar directa para promover la inducción de raíces; posteriormente, se envolvieron en su totalidad con un plástico formando una cámara húmeda (Figura 2). Durante cada semana se proporcionó riego por los lados de la cámara húmeda y se observó el color, vigor y desarrollo vegetativo (raíces y hojas).

Figura 1*Recolección de varetas***Figura 2***Cámara húmeda*

Método de acodo

Para evaluar el desarrollo vegetativo por el método de acodo, se siguió la metodología propuesta por Moreno et al. (2020), donde se seleccionaron varetas con características fenotípicas sobresalientes. Para el desarrollo del presente estudio se retiró un anillo de la corteza de 1 cm de largo (Figura 3), en donde la parte descubierta se cubre con plástico y se deposita un sustrato en relación 2:1:1 (Suelo + broza + cascarilla de arroz) cubierta con un plástico ahuecado (Figura 4). Posteriormente, se realizó el corte del acodo por debajo del anillado y se estableció en una bolsa con el mismo sustrato descrito anteriormente para su evaluación y adaptación (Santander, 2019). Se suministró riego dos veces por semana a cada acodo empleando jeringas estériles en un volumen de 5 mL de agua; necesario para mantener la humedad del sustrato, la viabilidad de callos y la formación de raíces. Una vez evidenciado el crecimiento y formación de raíces, se realizó la climatización de los acodos en bolsas de polietileno de 7 cm de ancho por 14 cm de longitud durante 6 semanas, para luego establecerlas en sitio definitivo (Figura 5). Se registraron datos de color empleando la tabla Munsell para la clasificación estructura vegetativas y longitud de raíces con el uso de calibrador vernier digital (Mitutoyo), expresado en milímetros.

Figura 3

Anillado

**Figura 4**

Sustrato

**Figura 5**

Suministro de agua



Método de *in vitro* embriogénesis somática

Para el establecimiento *in vitro* de estructuras vegetativas de cacao, se siguió la metodología propuesta por López-Báez et al. (2001). Se recolectaron explantes vegetativos de botones florales (pétalos y estaminodios) con un tamaño de 5 a 8 mm de largo en horas de la mañana (7:00 a.m.), dispuestos en recipientes plásticos con agua destilada estéril (Figura 6-7). Para la desinfección de los explantes, se realizaron lavados con agua corriente durante 30 minutos, seguido de una inmersión de hipoclorito de sodio al 5% más una gota de Twenn 20 alrededor de 15 minutos. En cada proceso de desinfección se realizó enjuagues con agua destilada estéril para remover el exceso. En cámara de flujo laminar se procedió a seccionar los pétalos y estaminodios (Hidalgo, 2014), sembrados en medio de cultivo líquido M&S (Murashige y Skoog, 1962) en frasco de vidrio compota con un volumen de medio de 20 mL. En cada recipiente se colocaron 5 bases de estaminodios y 5 bases de pétalos pertenecientes de un botón floral, distribuidos uniformemente en toda la superficie del medio (Figura 8). Los medios fueron esterilizados en una autoclave a 121 °C y 1.2 kg/cm² de presión por 20 minutos. Los explantes se mantuvieron en oscuridad por 30 días a una temperatura ambiente de 25 °C y una humedad relativa mayor al 85% (Calderón Acuña & Montes de Godoy, 2017).

Figura 6

Botones florales de cacao elite, utilizados para micropropagación en condiciones de laboratorio

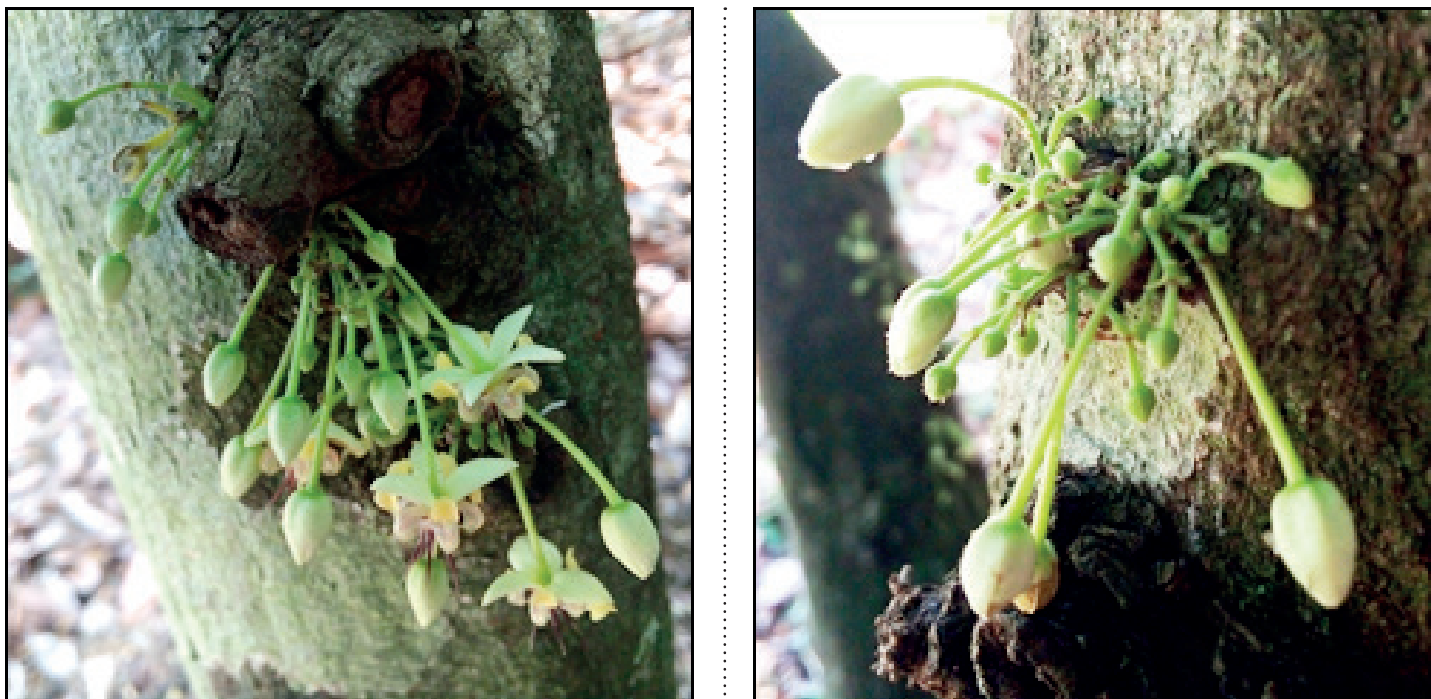


Figura 7

Botón floral de cacao longitud entre 5-8 mm

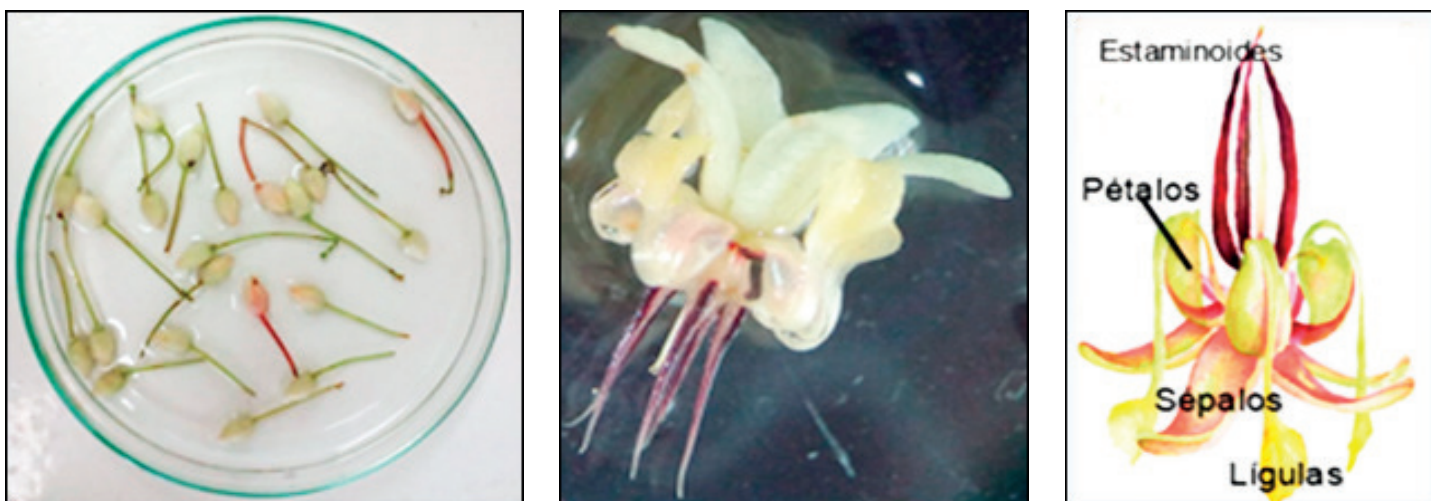


Figura 8

Colecta de botones florales en agua estéril fría

**Resultados y Discusiones****Propagación por estaca**

A los nueve días se observó solo brotación de yemas y una hoja (Figura 9). Al completar 30 días de establecidas las estacas, no se evidenció presencia de callo, por tanto, se procedió a dejar

las varetas al aire libre quedando expuestas al sol por un tiempo prolongado, lo que provocó la deshidratación y marchitez (Figura 10) con un porcentaje de sobrevivencia de las estacas del 5.70% y enraizamiento de un 2.85%. La sobrevivencia de las estacas no fue superior a las dos semanas (Figura 11), es posible que estas condiciones se hayan presentado por acción de auxinas, así como, a las inadecuadas condiciones de humedad relativa y temperatura.

Figura 9

Brotación de yemas (9 días)



Figura 10

Deshidratación



Álvarez Agudín (1997), explica que la acción de las auxinas se evidencia en dos etapas: la primera estimula el crecimiento eficaz en concentraciones mínimas de AIA, acelerando los procesos metabólicos en los explantes; mientras que, en caso contrario, las concentraciones elevadas de AIA provoca inhibición en el crecimiento y desarrollo de las varetas terminales, obteniendo un mayor número de explantes vegetativos no viables; en

Figura 11

Vareta contaminada no superior a dos semanas



la segunda etapa, reporta que las aplicaciones en alta dosis de auxinas en las varetas terminales ocasiona una baja viabilidad y/o mortalidad, debido a la producción elevada de etileno limitando su crecimiento. Hartman y Kester (1991), basados en una serie de experimentos sostienen que las hojas en la estaca proporcionan una acción estimulante sobre el rizogénesis lo que contribuye a la formación de las raíces.

Propagación por acodo

Por el método de propagación por acodo, se evidencio en el explante la formación de callo a partir de los 40 a 45 días respectivamente (Figura 12) y de color blanco crema. Posteriormente, durante el proceso de adaptación se evidenciaron en algunos acodos la presencia de raíces adventicias con una longitud de 0,5 cm y 5 cm respectivamente. Luego de 12 semanas del proceso de anillado, se observó un color café claro en los callos de los explantes (Figura 13) con una longitud mínima de las raíces de 12 mm; así como, múltiples raíces adventicias en los explantes (Figura 14).

Figura 12

Aparición de callos Masa callogineca crecimiento que incrementó en las áreas del explante que tuvieron mayor contacto con el medio de cultivo



Figura 13

Raíz con longitud de 12 mm



Figura 14

Mayor número de raíces



El proceso de aclimatación, documentado en la Figura 15, requiere de la preparación de cobertizo o una rama cubierta por plástico en la parte inferior cubriendo raíz, a través de injertos prendidos para su desarrollo por el espacio de dos a tres meses, antes de ser llevados al campo definitivamente.

Figura 15

A climatización



Este método permite que las ramas continúen con el proceso de fotosíntesis y genere proceso de división celular en la zona de anillado, posiblemente por la acumulación de auxinas que induce el enraizado, obteniendo mejores resultados que el método por estacas; debido a que las plantas reciben de manera

eficiente agua y nutrientes absorbidos por las raíces, translocándolas hasta el follaje. Moreno et al. (2020), mencionan que la muerte de acodos está asociada a diferentes problemas entre ellos tenemos la fragilidad de las ramas y el peso que ocasionan el quiebre de las mismas en la zona de anillado, por lo que se considera importante evitar retirar el anillo de la corteza; además, se deben realizar heridas superficiales en el área a acodar. Palacios (1951) identifica el mismo problema pero este le atribuye a la acción del viento; por lo que los acodos requieren para su adaptación condiciones óptimas de temperatura, humedad relativa, radiación solar y viento. El proceso de desarrollo y adaptación de los acodos durante seis (6) semanas, se obtuvo una proporción entre 7,7 a 21,4% de explantes enraizados y un ciento por ciento (100%) de acodos con división celular (formación de callos).

Propagación por *in vitro* embriogénesis somática

A las 12 semanas se observó una alta formación de callogénesis, de color cristalino y apariencia higroscópica para estaminodios (Figura 16). Durante esta fase de establecimiento *in vitro*, también se evidenció una masa de células no diferenciadas en los explantes (pétalos) a partir de las 2 semanas (Figura 17). Es importante resaltar que la formación de callos en los tejidos de cultivo *in vitro* depende de la formulación de medio de cultivo, la concentración de fitohormonas, temperatura y humedad

relativa. Estudio realizados por Hidalgo (2014) reportaron un alto porcentaje de formación de callos entre las semanas 4 a 6, respectivamente. Por otra parte, Quimbita (2011) menciona que el éxito del establecimiento *in vitro* de explantes de cacao depende del proceso de desinfección, la formulación del medio de cultivo y las condiciones atmosféricas.

Figura 16

Estaminodio con indicios de un posible embrión globular



Figura 17

Formación de callos en pétalos y estaminoides



Conclusiones

La selección de árboles de cacao mediante la propagación permite mejorar el proceso de multiplicación de plantas de cacao y la obtención material, para nuevas plantaciones. Se evidenciaron mejores resultados mediante la implementación del método de acodo, observándose la formación de callos en menor tiempo y por consiguiente de raíces.

Referencias bibliográficas

Acuña, H. O. C., & de Godoy, M. E. M. (2017). Micro propagación de variedades nativas de cacao (*Theobroma cacao*) mediante embriogénesis somática. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 6, 87-95.

Álvarez Argudín, J. (1997). *Propagación vegetativa de los árboles frutales*. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. https://books.google.com.co/books/about/Propagaci%C3%B3n_vegetativa_de_los_%C3%A1rboles.html?id=rAljcgAACAAJ&redir_esc=y

Buechel, T. (2021). Consejos para la propagación exitosa de plantas jóvenes. PRO-MIX. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/consejos-para-la-propagacion-exitosa-de-plantas-jovenes/>

Calderón Acuña, H. O., & Montes de Godoy, M. E. (2017). Micro propagación de variedades nativas de cacao (*Theobroma cacao*) mediante embriogénesis somática. *Producción agropecuaria y desarrollo sostenible*, 6, 87-95. <https://doi.org/10.5377/payds.v6i0.5721>

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (2019). Análisis de la cadena productiva del cacao en Colombia. <https://www.purdue.edu/colombia/partnerships/cacaoforpeace/docs/2019FinalCacaoReport-Spanish.pdf>

Chávez, H. M., Fuentes, C. J., Parada-Berrios,

F. A., Osegueda, E. V., & Lara, L. L. (2019). Evaluación de diferentes dosis de ácido indol butírico (AIB), en el enraizamiento de estacas de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) utilizando polipropagadores de madera. *Revista Agrociencia*, 3(14), 13-23.

Colombia Productiva. (2021). Maro. Obtenido de Producción Anual; Empleo; Ventas: <https://www.maro.com.co/apuesta-pdp/bienes/1>

Consejo Nacional Cacaotero CNC (2010)

Díaz-López, A. A., Salazar-Yamarte, E. G., Albarrán-Rincón, J. G., Marín, C., & Vegas-García, A. L. (2018). Efecto de diferentes reguladores de crecimiento sobre la embriogénesis somática en tres cultivares de cacao. *Agronomía Tropical*, 68(3-4), 137-152.

Elías, C. P. F. (2021). *Evaluación del efecto de tres hormonas naturales en el enraizamiento de estacas de cacao (theobroma cacao L.) Ccn-51, en el recinto zhucay, en la provincia del cañar*. [Tesis Doctoral]. Universidad Agraria del Ecuador.

Encina, C. L., López Granero, M., Regalado, J. J., Arana, A., Carmona, E., & Grícola, M. (2018). El cacao ("*Theobroma cacao*" L.) familia, especies, variedades y colecciones de germoplasma. DIALNET. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6434595>

Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO). (2020). Así quedó el Ranking de producción de cacao en Colombia. <http://https://www>

fedecacao.com.co/post/a%C3%B1o-cacaotero-2020-2021-el-de-mayor-producci%C3%B3n-de-cacao-en-la-historia-de-colombia

Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO). (2001). Fundamento para el establecimiento de cultivos de cacao de alta productividad. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología (PRONATTA). https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Fundamentos_para_el_Establecimiento_de_cultivos_de_cacao_de_alta_productividad.pdf

Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO). (2022). Economía nacional. <https://www.fedecacao.com.co/economianacional>

Gárate Navarro, M. A., Paz Urrelo, J. L., & Delgado Haya, H. (2020). Técnica de Propagación de Cacao (*Theobroma Cacao* L.). Biblioteca Nacional del Perú.

García, L. F. (2008). Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en Perú. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, Lima, Perú. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/estudio_caracterizacion.pdf

Gutiérrez Navarro, B. M., & Muños Collantes, L. (2017). Reserva de carbono en la biomasa aéreas de tres plantaciones de diferentes edades de (*Theobroma cacao* L.) en el centro de investigación Kapitari – Manacamiri, Perú. Universidad Nacional

de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/5428>

Hartman, H.T., Kester, DE. (1991). Propagación de plantas; principios y prácticas. Compañía Editorial Continental, México. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/45969/mod_resource/content/1/Propagacion%20de%20plantas.pdf

Hidalgo, C. (2014). Estudio preliminar para la obtención de explantes de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través de embriogénesis somática [Tesis - Ingeniería Agronómica]. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/6510>

Holdridge (1987) Holdridge, L. R. (1987). Ecología basada en zonas de vida (No. 83). Agroamérica.

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2020). ***Guía técnica para la propagación clonal del cacao***. Instituto Nacional de Innovación Agraria <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1142>

International Cocoa Organization (ICCO). (2022). Production of cocoa beans. https://www.icco.org/wp-content/uploads/Production_QBCS-XLVIII-No.-1.pdf

International Trade Centre (ITC). (2021). Trade Map. Obtenido de Lista de los productos exportados por Colombia. https://www.trademap.org/tradestat/Product_SelCountry_TS.aspx

- López-Báez, O; Moreno, J; Pacheco, S. (2001). Avances en Propagación de Cacao-Teobromacacao- por Embriogénesis Somática en México. *In Ingenic*. Proceedings of the Inter-national Workshop on new echnologies and Cocoa Breeding. Malaysia. Ingenic; p.163-176.
- Martínez, R. M., & Martínez, M. F. R. (2021). Variables que impiden incrementar las exportaciones de cacao en grano del estado de Tabasco. *Cimexus*, **15**(2), 63-81.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MINAGRICULTURA). (2021). Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas (SIOC). Obtenido de Cadena de Cacao: <https://www.minagricultura.gov.co/Paginas/Sisistemas-de-Informacion.aspx>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MINAGRICULTURA). (2022). Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) 2007-2019. Biblioteca Digital Agronet. https://www.agronet.gov.co/Lists/Boletin/Attachments/8689/EVAggr%C3%ADcola_SIPRA_AGRONET_2019.xlsx
- Moreno Ávila, G., Sánchez Vera, Z., Portillo Páez, E., Ramírez Villalobos, M., & Gómez, Ángel. (2020). Propagación asexual del Cacao Porcelana (*Theobroma cacao* L.) mediante la técnica de acodo aéreo / Asexual propagation of Porcelana cocoa (*Theobroma cacao* L.) through air layering technique. *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 37, 31-37. Retrieved from <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/32987>
- Moreno, G. M. (2021). *Estado del arte: análisis del impacto de la logística verde en los procesos productivos y de exportación del cacao proveniente de los cultivos de paz en Colombia*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/40071>.
- Murashige y Skoog (1962) Murashige T and Skoog F 1962 *Physiol. Plant.* 15 473-97
- Nieves, Y., Vega, C., Villanueva, S., & Henríquez, M. (2019). Artículo de divulgación: Bancos de germoplasma de *Theobroma Cacao*, definición e importancia. *Revistas Ciencias en Revolución*. 5 (15), 35-42.
- Observatorio de Complejidad Económica (OEC). (2019). The Observatory of Economic Complexity. Obtenido de Cocoa Beans in Colombia: <https://oec.world/en/profile/bilateral-product/cocoa-beans/reporter/col>
- Ordoñez-Espinosa, C.M., Suárez Salazar, J.C., Rangel-Churio, J.O., Saavedra mora, D. (2021). Los sistemas agroforestales y la incidencia sobre el estatus hídrico en árboles de cacao. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, v. 19, n. 1, 2021, p. 256-267. Doi: [https://doi.org/10.18684/BSAA\(19\)256-267](https://doi.org/10.18684/BSAA(19)256-267)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). <https://www.fao.org/about/about-fao/es/>

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2022). El cultivo protegido en clima mediterráneo. **Dirección de Producción y Protección Vegetal, Grupo de Cultivos Hortícolas**. <https://www.fao.org/3/s8630s/s8630s.pdf>
- Osuna-Fernández, H. R., Osuna-Fernández, A. M., & Fierro-Álvarez, A. (2017). Manual de propagación de plantas superiores. Universidad Autónoma Metropolitana. https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/manual_plantas.pdf
- Palacios, O. (1951). Ensayo de acodos sobre ramas de Theobroma cacao L., tratadas con hormonas. **Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas** (IICA). [Tesis maestría]. San José, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10709>
- Paz Urrelo, J. L., Delgado Haya, H., & Gárate Navarro, M. A. (2020). Guía técnica para la propagación clonal del cacao. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1142>
- Peña López, J. L. (2019). Propagación de plantas de cacao mediante injertos. **Kuxulkab**, 25(51), 33–40. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n51.2923>
- Quimbita, B. (2011). Efecto de la concentración de 2,4- D y el tipo de explante en la formación de callos embriogénicos en el cultivo in vitro de cacao (Theobroma cacao L.) [Tesis pregrado]. Universidad Técnica de Cotopaxi, Bayamo, Cuba.
- Santander Coronel, J.E. (2019). Acodos aéreos en cacao (Theobroma cacao L.) CCN-51, mediante el uso de las hormonas sintéticas ANA (Acido naftalenacetico) y AIB (Acidoindolbutico) [Tesis pregrado]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/f6549e50-0e14-4650-b255-841c2704311a>
- Suárez Padrón, I. (2020). Cultivo de tejidos vegetales. Ed. Fondo Editorial Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/800256e3-9997-4159-aae4-a0a2c5522852>
- Sukmawati, D., Arman, Z., Hasanah, R., Balqis, M., Setiawan, A., Tafrijiyyah, F., Sari, R., Supiyani, A., Prihantini, N. B., Husna, S. N. A., El Enshasy, H. A., & Dailin, D. J. (2021). Application of yeasts isolated from fermented cocoa beans for biocontrol of pathogenic mold in chocolate fruit. **Journal of physics. Conference series**, 1869(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012042>
- Valera, L. A., & Garay, V. E. (2017). **Producción Vegetal y Establecimiento de Plantaciones. 53 In Guía de apoyo docente**. Universidad de los Andes-Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales-Escuela de Ingeniería Forestal. <http://www.ula.ve/cienciasforestales-ambientales/indefor/wp-content/uploads/sites/9/2017/01/Tema-3-PVEP.pdf>

Artículo de investigación

Análisis de calidad de agua de acueductos rurales y su relación con la salud pública en el Valle del Cauca

Analysis of water quality of rural aqueducts and its relationship with public health in Valle del Cauca

Astrid Lili Puerta Monsalve¹, Julio Alexander Delgado², Juan Felipe Ríos Marín³

Resumen

La calidad del agua para consumo humano en Colombia se evalúa a través de la Resolución 2115 de 2007, la cual mide el Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA). En algunos acueductos rurales de Colombia este índice no se cumple, lo que evidencia inadecuadas condiciones de saneamiento básico. De allí la importancia de realizar estudios para verificar los sistemas de tratamiento, el cumplimiento de la normativa y el plantear alternativas de solución. Dado lo anterior, se plantea ¿Cuál es la calidad del agua de los acueductos del Valle del Cauca? y ¿Existe relación con los reportes de enfermedades asociadas al agua como la Enfermedad Diarreica Aguda (EDA)?; teniendo como objetivo analizar la calidad de agua de los acueductos del Valle del Cauca mediante los reportes de IRCA y EDA. Metodológicamente, se revisaron los reportes de IRCA y EDA de la Secretaría de Salud Departamental, a través del Sistema de Información para la Vigilancia del Agua (SIVICAP) y Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA) para los periodos 2007 - 2015 y 2015 - 2017, respectivamente. Esta información se analizó en Microsoft Excel, verificando que los datos de EDA existen a nivel municipal y de IRCA a nivel urbano, rural y municipal. Los municipios del Valle del Cauca con mayor reporte de EDA son La Cumbre, Yotoco, Trujillo, El Dovio y Ginebra y para el IRCA municipal los valores altos se observan en Ansermanuevo, Argelia, El Águila, El Cairo y Vijes. El IRCA rural presenta mayor valor que el IRCA urbano, y por tanto, mayor riesgo de contaminación. Este aspecto se analizó con la realización de encuestas en 17 acueductos del Valle del Cauca y muestreos de agua en dos acueductos rurales en un municipio seleccionado. Los resultados muestran

1. Centro Agropecuario de Buga. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA.

2. Institución Educativa Ateneo. Pradera Valle.

3. Centro de Diseño Tecnológico Industrial (CDTI). SENA Cali. Correo de correspondencia: alpuertam@misena.edu.co

Cómo citar:

Puertas Monsalve, A. L., Delgado, J. A., & Ríos Marín, J. F. (2024). Análisis de calidad de agua de acueductos rurales y su relación con la salud pública en el Valle del Cauca. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 9(1), 60-73.



que de acuerdo con la normativa, los acueductos rurales entrevistados y analizados no cumplen con las condiciones óptimas de saneamiento básico.

Palabras claves. Calidad del Agua, Índice de Riesgo de Calidad del Agua, Enfermedad Diarreica Aguda, Salud Pública, Acueductos.

Abstract

The quality of water for human consumption in Colombia is evaluated through Resolution 2115 of 2007, which measures the Water Quality Risk Index – IRCA. In some rural aqueducts in Colombia this index is not met, which shows inadequate basic sanitation conditions. Hence the importance of carrying out studies to verify treatment systems, compliance with regulations and propose alternative solutions. Given the above, the question arises: What is the quality of the water in the aqueducts of Valle del Cauca? and Is there a relationship with the reports of diseases associated with water such as Acute Diarrheal Disease - EDA?; aiming to analyze the water quality of the aqueducts of Valle del Cauca through IRCA and EDA reports. Methodologically, the IRCA and EDA reports of the Departmental Health Secretariat were reviewed, through the SIVICAP and SIVIGILA information systems for the periods 2007 - 2015 and 2015 - 2017, respectively. This information was analyzed in Microsoft Excel, verifying that EDA data exists at the municipal level and IRCA data at the urban, rural and municipal level. The municipalities of Valle del Cauca with the highest EDA report are La Cumbre, Yotoco, Trujillo, El Dovio and Ginebra and for the Municipal IRCA the high values are observed in Ansermanuevo, Argelia, El Águila, El Cairo and Vijes. The rural IRCA has a higher value than the urban IRCA and therefore a greater risk of contamination. This aspect was analyzed by carrying out surveys in 17 aqueducts in Valle del Cauca and water sampling in two rural aqueducts in a selected municipality. The results show that in accordance with regulations, the rural aqueducts interviewed and analyzed do not meet the optimal conditions for basic sanitation.

Key words: Water Quality, Water Quality Risk Index, Acute Diarrheal Disease, Public Health, Aqueducts.

Introducción

La calidad de agua hace referencia al conjunto de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que determinan el estado del recurso hídrico y su posible uso (Martínez, 2003). La dinámica de estos parámetros depende de la presencia o ausencia de sustancias químicas o biológicas indeseables, que, por contaminación orgánica e inorgánica, de procedencia natural o artificial, se presentan en los cuerpos de agua. En Colombia, la calidad del agua potable se regula mediante la resolución 2115 del 2007, la cual establece valores máximos permisibles permitiendo identificar si el agua es apta para el consumo humano. Este control de calidad de agua potable es importante, ya que el agua es un vehículo transmisor de enfermedades, que por la presencia de patógenos intestinales, bacterias, virus, protozoos o helmintos ocasionan contaminación microbiológica (Martínez, 2003) y favorecen la transmisión de gran cantidad de enfermedades, que en algunos casos pueden ser mortales. Enfermedades como el cólera, hepatitis, enfermedad diarreica aguda, gastroenteritis, entre otras; se asocian al manejo inadecuado del agua. La Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) constituye uno de los principales problemas de salud en la población infantil. Según Reyes-Gómez et al., (2018) esta representa la primera causa de muerte en niños de 1 a 5 años de edad, con 3,2 millones de muertes anuales a nivel mundial. En los países en vía de desarrollo, esta enfermedad

es uno de los problemas de salud pública más importantes con consecuencias que inciden en el terreno económico, social y político (Ávila de Navia & Estupiñán, 2012). Por lo anterior, el monitoreo de la calidad del agua potable se debe vincular a la vigilancia epidemiológica.

Los acueductos rurales enfrentan desafíos en términos de saneamiento básico cuya calidad del agua en muchas regiones del país, no es la mejor. Principalmente en las zonas rurales, donde los recursos son limitados y se carece de adecuadas condiciones financieras, técnicas y de infraestructura. Sumado a la falta de personal capacitado, y a las condiciones geográficas para acceder a las fuentes de abastecimiento (Mejía, Castillo & Vera, 2016). Ordoñez (2020) afirma que la mala calidad del agua es debido a los problemas de contaminación que generan conflicto por su uso; además, la contaminación hídrica que limita el uso del agua, también causa elevados costos para la salud pública. Estudios como el de Briñez et al., (2012) evidencian la situación epidemiológica y las malas condiciones de saneamiento básico que se presentan en los acueductos. En el caso del Valle del Cauca, los acueductos rurales presentan debilidad técnica y financiera que dificulta el cumplimiento de los requisitos legales (UESVALLE, 2013). Por lo anterior, el objetivo de este artículo es analizar la calidad del agua de 17 acueductos rurales a partir de los reportes de Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA) y EDA en el Valle del Cauca, así como identificar las

variables que inciden en los resultados mediante la validación de la información de dos acueductos rurales de un municipio del departamento.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en tres (3) fases: la primera fase consistió en realizar un análisis de calidad de agua para el departamento del Valle del Cauca con la información suministrada en las bases de datos de SIVICAP y SIVIGILA, la segunda fue desarrollar encuestas y visitas a 17 acueductos priorizados, y en la tercera se seleccionaron dos acueductos para verificar y analizar la calidad de agua mediante los parámetros pH, turbiedad, cloro residual, alcalinidad, coliformes totales, fecales y dureza; con los resultados obtenidos se procedió a calcular el IRCA.

Área de Estudio

El departamento del Valle del Cauca situado al suroccidente del país está dividido en 42 municipios y 88 corregimientos, los cuales cuentan con sistemas de abastecimiento de agua urbanos y rurales administrados por empresas privadas, públicas o comunitarias. La vigilancia y supervisión de estos acueductos está a cargo de la Secretaría de Salud, la Unidad Ejecutora de Saneamiento (UES) y la Autoridad Ambiental Regional. En la primera fase se analizaron los datos de IRCA de los 42 municipios del Valle del Cauca (Figura 1). Posteriormente, se priorizaron

6 municipios (Fase 2) y se eligieron de 2 a 4 corregimientos por municipio (Tabla 1), para un total de 17 acueductos analizados. Finalmente, en la Fase 3 se priorizaron 2 acueductos rurales del municipio de Guacarí, en los corregimientos de Santa Rosa de Tapia y El Placer. Lo anterior, lo determinó el presupuesto con el que se financió y ejecutó el proyecto en el marco de una convocatoria de investigación.

Recolección de información secundaria para el Valle del Cauca (Fase I)

Se consultó en la web, los reportes de IRCA y EDA para todos los municipios del Valle del Cauca en la base de datos de la Secretaría de Salud Departamental, en los sistemas SIVICAP y SIVIGILA para el periodo 2007 - 2015 y 2015 - 2017, respectivamente. La información se analizó en Microsoft Excel y se realizó un análisis de correlación entre el IRCA y EDA municipal. Partiendo de la hipótesis que en los municipios donde se registra mayor IRCA se registrarán mayores reportes de EDA.

Visitas a los acueductos priorizados y encuesta a los usuarios (Fase II)

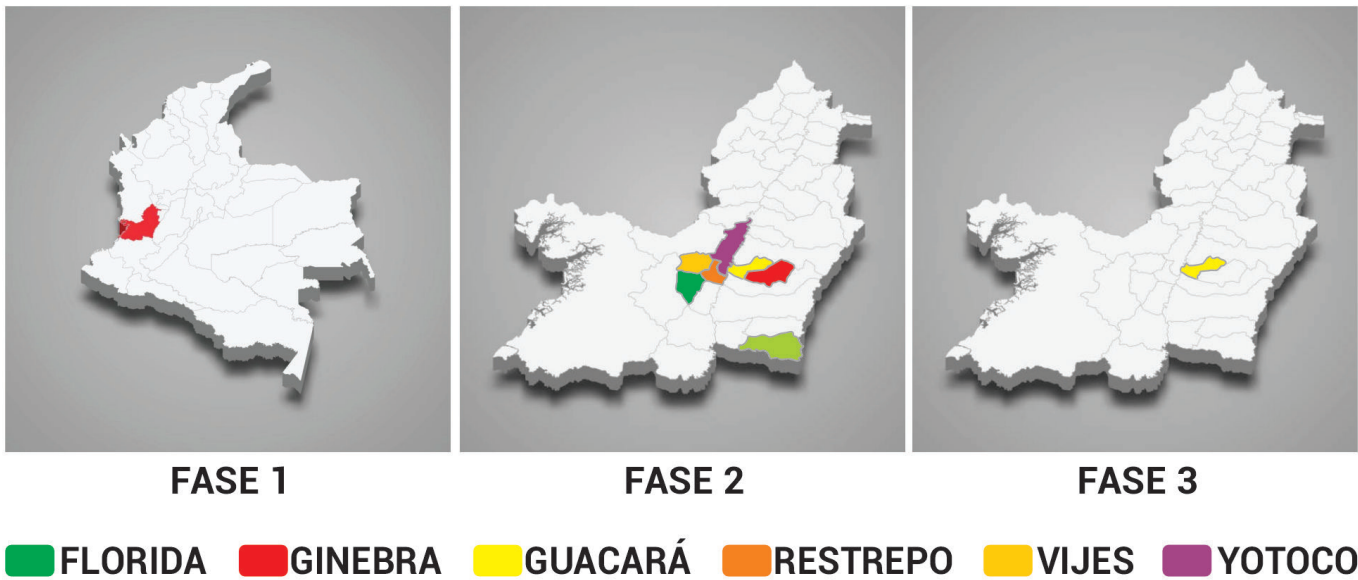
En los seis (6) municipios priorizados se realizaron visitas y encuestas a los acueductos y usuarios (Tabla 1), con el fin de evaluar el funcionamiento del acueducto y la calidad del servicio. Para la selección de los corregimientos, se estableció contacto con los líderes de juntas

de acción comunal de las diferentes alcaldías municipales. Se diseñaron dos instrumentos: el primero se aplicó al operario del acueducto rural para conocer las condiciones en las que operaba el Sistema de Tratamiento de Agua Potable

(STAP) y el segundo se aplicó al 10% del total de los usuarios del servicio en cada corregimiento (170 de 1700 usuarios). La muestra se calculó mediante un muestreo estratificado. La información colectada se sistematizó y analizó.

Figura 1

Área de estudio para las Fases I, II y III.



Toma de muestras en campo como ejercicio de validación (Fase III)

Para la validación de la información secundaria se seleccionaron dos acueductos rurales del municipio de Guacarí, ubicados en los corregimientos de Santa Rosa de Tapias y El Placer. Se realizaron 3 visitas en los meses de marzo, mayo y agosto de 2017, se tomaron muestras puntuales de agua en la bocatoma, tanque de almacenamiento del acueducto y una

vivienda escogida aleatoriamente, con el fin de evidenciar los cambios en la calidad del agua a lo largo del proceso de tratamiento. Otros, estudios realizados muestran que diversos factores intervienen en la calidad del agua durante el abastecimiento, en este caso se refiere a la captación y conducción (Méndez, 2020).

Tabla 1

Acueductos rurales del Valle del Cauca seleccionados en la Fase II.

Municipio	Corregimiento o Vereda	Cuenca de Abastecimiento	Fuente de Abastecimiento	Entidad Administradora
Guacarí	El Placer	Sonsito	Quebrada La Chimba	Acueducto El Placer
	Santa Roda de Tapias	Sonso	Quebrada Tapias	Acuatapias
	Puente Rojo	Guabas	Quebrada La Cocuya	Acueducto El Placer
Yotoco	Calimito	Paramillo	La cristalina	Acueducto Calimito
	Las Delicias	Alpes	Los Alpes	Acueducto Las Delicias
Restrepo	San Pablo	Alta Mira de Villa Vista	Quebrada San Pablo	Acueductos de San Pablo
	San Antonio de Piedras	Piedras	San José y Leticia	Acueducto de San Antonio de Piedras
Ginebra	Patio Bonito	Poporrinas	Quebrada Poporrinas	Acueducto Patio Bonito
	La Cuesta	Sabaleta	Rio Sabaleta	JAC La Cuesta
	Costa Rica	Venegas	Quebrada Venegas	Asuelcan
Vijes	Valledupar	El Diamante	El Diamante	Acueducto La Novillera
	Fresneda	La Aurora	Fresneda	Acueductos Fresneda
	Cachimbal	La Secreta	Cachimbalito	Acueducto Cachimbal
	Carbonero	La María	Carbonero	Acueducto Carbonero
Florida	Pavitas	Pavitas	Río Pavitas	Acueducto La Pavita
	San Francisco – El Llanito	La Paz de las Cañitas	Quebrada del Adán	Acueducto San Francisco
	El Pedregal	Frayle	Frayle	Acueducto El Pedregal

Análisis de muestras en laboratorio
(Fase III)

Para la determinación de Coliformes Totales y de *Escherichia coli*, se implementó el método de filtración por membrana en Agar Endo (IDEAM, 2014), la turbiedad fue valorada mediante un turbidímetro modelo ORION AQ4500 marca THERMO FISHER SCIENTIFIC. Cloro total, color aparente; magnesio, fósforo, sulfatos, hierro, zinc y molibdeno fueron analizados mediante la

absorbancia con un espectrofotómetro modelo ORION AQUAMATE 8000 UV-VIS marca THERMO FISHER SCIENTIFIC con sus respectivas curvas de calibración y los reactivos establecidos para la determinación de cada una de estas variables. El pH se determinó con el medidor Multiparamétrico modelo ACCUMET XL600 de la marca FISHER SCIENTIFIC, el oxígeno disuelto con el medidor marca YSI 5100. La alcalinidad, dureza cálcica, dureza total, cloruros y magnesio se determinaron

por titulación como lo indica el Standard Methods con las curvas de calibración establecidas. Los datos se procesaron y se calculó el IRCA.

Resultados y Discusión

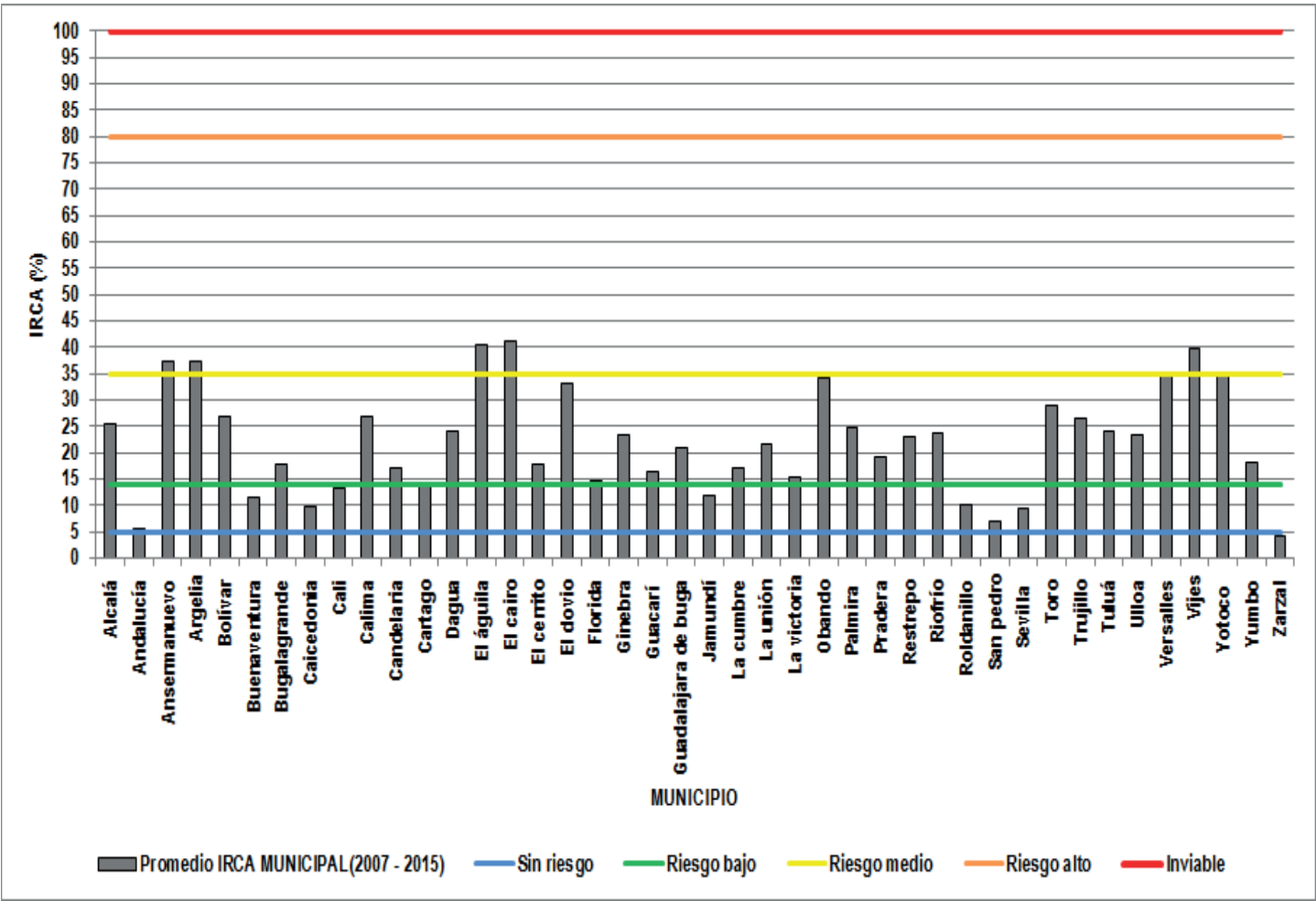
Análisis de IRCA y EDA Municipal en el Valle del Cauca

La Figura 2 presenta el IRCA para el periodo 2007 - 2015 de los 42 municipios del Valle del Cauca, mostrando que los acueductos

de Ansermanuevo, Argelia, El Águila, El Cairo y Vijes representan un riesgo alto para la población. En el caso de EDA, los que reportan más casos son La cumbre, Yotoco, Trujillo y El Dovio. Considerando este panorama y las condiciones de los acueductos se seleccionaron municipios con valores de IRCA alto, medio y bajo para establecer la relación con los reportes de EDA. Los municipios fueron Florida, Guacarí, La cumbre, Restrepo, Ginebra, Yotoco y Vijes.

Figura 2.

IRCA (2007 - 2015) y EDA (2015 - 2017) para los municipios del Valle del Cauca.



La revisión de la información suministrada por los entes de control (Instituto Nacional de Salud y Ministerio de Salud y Protección Social) a través de las plataformas SIVIGILA y SIVICAP muestran claramente que existe una brecha entre la calidad de agua de la zona rural y urbana. En el año 2013 el IRCA promedio de la zona urbana en el Valle del Cauca fue de 4,4% mientras que en la rural fue de 41,7%; sólo tres de los 42 municipios del Valle en su zona rural consumían agua apta para consumo humano. Por su parte, en el mismo año se reportaron 280.916 casos de EDA y 2 muertes por esta enfermedad, atribuyéndose el consumo de agua de mala calidad como una de las posibles causas de esta problemática. Además, la revisión de la información permitió establecer que de los 22 parámetros que incluye el IRCA, los acueductos rurales en su mayoría no cumplen con el color, turbiedad, cloro residual, hierro, coliformes totales y coliformes fecales, los cuales corresponden al 77,5% del puntaje total de riesgo (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social, 2007). También, la normativa asociada al sector de agua potable establece que de acuerdo con el número de usuarios, se establece el número de muestreos, actividad que no se cumple en la zona rural por la dificultad de acceso y por el número de acueductos presentes en el departamento, haciendo que el seguimiento no sea eficiente.

Correlación IRCA – EDA en los municipios objeto de estudio

La Figura 4A muestra el comportamiento del IRCA y EDA promedio de los 6 municipios para periodos que oscilan entre el 2007 y el 2016. Esta información refleja la necesidad de diagnosticar los problemas y necesidades de cada acueducto. No se encontró correlación entre IRCA y EDA ($R^2=0,3$). Esta situación puede deberse a que los usuarios no reportan a las entidades de salud las enfermedades que padecen. Además, en algunas ocasiones, las personas en sus viviendas, con el fin de disminuir el riesgo que esta representa, realizan otras actividades para tratar el agua como instalación de filtros, ozonizadores, tamices o hervir el agua. Que sin un manejo adecuado o limpieza en un tiempo determinado puede terminar afectando la calidad del agua suministrada. Por lo anterior, en este estudio no se establece una relación directa entre la calidad del agua para consumo humano y las enfermedades diarreicas agudas.

Análisis de las encuestas

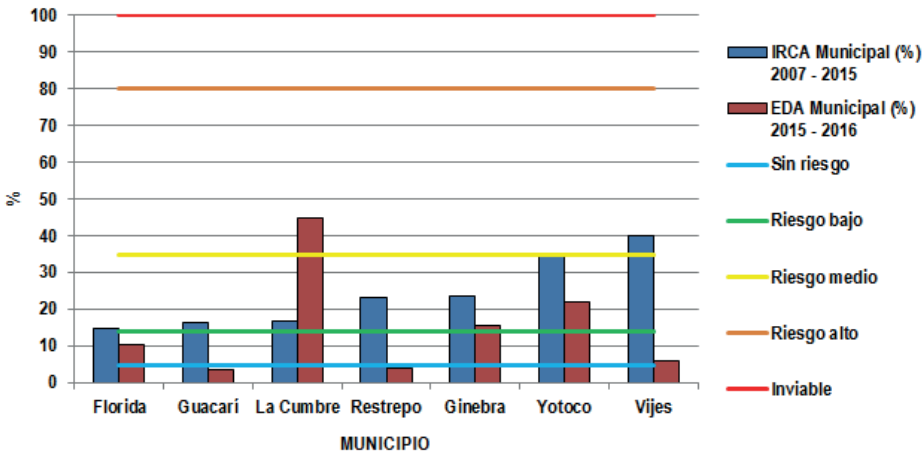
Las 277 encuestas realizadas a los usuarios se distribuyeron así: Guacarí (25), Yotoco (26), Florida (56), Restrepo (25), Vijes (27) y Ginebra (118); considerando el número de personas que habitan en la vivienda por cada encuestado, se consolidó un total de 1030 personas en los seis municipios para el respectivo análisis. La

información analizada permitió verificar que el 2,5% de las personas afirman haber presentado enfermedades relacionadas con el agua. La figura 4B muestra la cantidad de personas consideradas para el análisis por municipio y los casos de enfermedades que reportaron. Los municipios con mayor reporte son Ginebra, Florida y Vijos

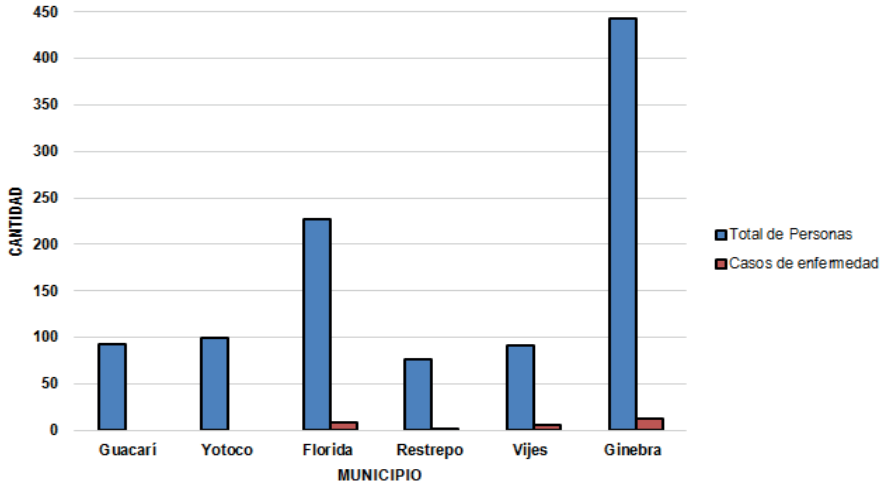
con 12, 8 y 5 casos, respectivamente. El 52% de los encuestados reportan que han tenido interrupción ocasional en el servicio de acueducto, información que coincide con lo notificado por los operarios del mismo, donde un 53% afirmó la suspensión del servicio por mantenimiento, el cual puede demorar en promedio 7 horas.

Figura 4
Relación EDA – IRCA.

a)



b)



Nota. A) Relación EDA - IRCA en municipios objeto de estudio. B) Personas encuestadas y número de casos de enfermedad reportados.

Por su parte, las encuestas realizadas a los operarios de los 17 acueductos mostraron que todos se abastecen de fuentes de agua superficial, las cuales hacen parte de las cuencas hidrográficas de los ríos Sabaletas, Sonso y Guabas. Además, se verificó que la fuente de donde se abastecen el 30% de los acueductos presentan descargas de aguas arriba de la bocatoma. Se confirmó que de todos los acueductos estudiados, ninguno cuenta con datos de turbiedad mínimo y máximo de operación. El 88% de los acueductos cuenta con la concesión de agua y realizan el pago de la respectiva tarifa. El porcentaje restante no tiene claridad sobre esta información. Los acueductos operan con un caudal promedio mínimo de 0,5 l/s. La mayoría de los acueductos rurales son administrados por las Juntas de Acción Comunal, Juntas Administradoras de Agua o Asociaciones de Agua. El 50% de los acueductos están a cargo de personas con conocimientos empíricos sobre el tema y el resto son manejados por personas que se formaron en temáticas ajenas al agua y al saneamiento básico. En este estudio, se verifica que en el Valle del Cauca, el sistema de tratamiento más común es el Sistema de Tratamiento Básico (STB) con un 38,1%, cuyo sistema consta de bocatoma, desarenador, desinfección y tanque de almacenamiento. Con un 28,6% le sigue el Sistema de Tratamiento por Filtración (STF), el cual tiene como unidades la

bocatoma, desarenador, filtración, desinfección y tanque de almacenamiento. El 19% de los acueductos utilizan Sistemas de Tratamiento Convencional (STC) caracterizados por tener bocatoma, desarenador, floculación, coagulación, sedimentación, filtración, desinfección y tanque de almacenamiento. El 14,3% de los acueductos cuentan con un Sistema de Tratamiento Mínimo (STM) que consiste en una bocatoma, desarenador y tanque de almacenamiento.

Análisis de calidad de agua en dos acueductos rurales del municipio de Guacarí

Con relación a los parámetros analizados se encontró que los acueductos en cuestión no cumplen con lo reglamentado en las variables manganeso, magnesio, fosfatos, hierro, molibdeno, *Coliformes* y *Escherichia coli*. El nivel de riesgo para la población oscila entre medio y alto, siendo no apta para el consumo humano (Tabla 2). En el acueducto de Santa Rosa de Tapia, el nivel de riesgo aumenta de 46 a 54% durante el proceso de conducción y distribución. Estos resultados de IRCA pueden deberse a la falta de mantenimiento y abandono de las unidades de tratamiento, además, de la falta de capacitación a los fontaneros. Sin embargo, es necesario continuar con el seguimiento y monitoreo del sistema de acueducto para evaluar con detalle las problemáticas existentes y proponer alternativas de mejora a los acueductos.

Tabla 2

Resultados de IRCA para los dos acueductos rurales.

Acueducto	Sitio de Muestreo	IRCA (%)	Nivel de Riesgo	Calificación
Santa Rosa de Tapia-Guacarí	Bocatoma	46,0	Alto	No apta para consumo
	Tanque de Almacenamiento	50,3	Alto	No apto para consumo
	Vivienda	54,1	Alto	No apto para consumo
El Placer - Guacarí	Bocatoma	66,7	Alto	No apto para consumo
	Tanque de Almacenamiento	23,0	Medio	No apto para consumo
	Vivienda	19,6	Medio	No apto para consumo

Conclusiones

Abordar las problemáticas de los acueductos rurales no solo en el Valle del Cauca, sino en Colombia, requiere de un enfoque integral, que involucre inversiones de infraestructura, control de las fuentes de contaminación, programas de educación y formación para los operarios de los acueductos, y participación de la comunidad, con el fin de generar sentido de pertenencia y apropiación por los acueductos y los sistemas de saneamiento básico en los entornos rurales. La calidad del agua de los acueductos depende de la fuente de abastecimiento y las variables externas que inciden en su calidad.

Generalmente las quebradas o fuentes de abastecimiento a través de su paso por el suelo se cargan de sustancias contaminantes como materia orgánica, compuestos inorgánicos y/o metales pesados, afectando gravemente la calidad y restringiendo su uso, lo que

implica contar con un adecuado sistema de tratamiento que mejore las condiciones para el consumo humano. Sin embargo, de acuerdo a lo diagnosticado en los acueductos rurales del Valle del Cauca esta situación conlleva al incremento de los costos de potabilización, y el presupuesto que manejan los acueductos no es suficiente para mejorar la calidad del agua, ni para aplicar medidas de protección y conservación de la cuenca aguas arriba.

En la mayoría de los acueductos se desconocen los aspectos ambientales que afectan a los procesos de captación y que inciden directamente en la eficiencia de los procesos de potabilización y la salud de las personas. Es evidente que la calidad del agua que suministran los acueductos rurales incide en la salud pública, a pesar de no encontrarse correlación con los reportes de EDA. Se considera que en la mayoría de los casos, las personas no reportan

las enfermedades asociadas y los controles que realiza la secretaría de salud a los acueductos, no son riguroso ni frecuentes. Aunque la Resolución 2115 de 2007 establece un control de los acueductos, en la mayoría de los rurales esta legislación no se cumple. Finalmente, este estudio encontró falencias en la administración, vigilancia y supervisión de los acueductos rurales y considera importante plantear estrategias de monitoreo eficiente a nivel de salud pública.

Agradecimientos

A los acueductos rurales del Valle de Cauca, especialmente sus fontaneros y juntas administradoras por la información suministrada. Al programa SENNOVA del Servicio Nacional de Aprendizaje, quien a través de la financiación de proyectos permitió el desarrollo de la presente investigación.

Referencias bibliográficas

Ávila de Navia. S.; Estupiñan. S. (2012). Calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la zona urbana y rural del municipio de Guatavita, Cundinamarca, Colombia. *Rev Cubana Hig Epidemiol*, 50 (2), 163-168. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032012000200004&lng=es&tln=es.

Briñez A., K. J., Guarnizo G., J. C., & Arias V., S. A. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Revista Facultad Nacional De Salud Pública*, 30(2), 175-182. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.11679>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2014). Estudio Nacional de Agua. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua>

Instituto Nacional de Salud. (2014). Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua Para Consumo Humano <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2015%20Estado%20de%20la%20vigilancia%20de%20la%20calida%20del%20agua%202014.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social (2007). Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007. Por medio de la cual se señalan

características, instrumentos básicos y frecuencia del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>

Martínez Rodríguez, J. B. (2003). El concepto de garantía en las redes de suministro de agua potable. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Editorial Universitaria de la Republica de Cuba. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GAL+E%7CA146273554&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=16800338&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E77438804&aty=open-web-entry>

Mejía, A., Castillo, O., & Vera, R. (2016). *Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina. Agua para el desarrollo, Bogotá*. CAF - Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/918>

Méndez, J. O. M. (2020). Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia. *Revista de ingeniería*, (49), 28-37.

Ordóñez, J. I. (2020). El agua y el sector rural en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (49), 10-17. <https://doi.org/10.16924/revinge.49.3>

Reyes-Gómez, U., Reyes-Hernández, K. L., Santos-Calderón, L. A., Luévanos-Velázquez, A., Guerrero-Becerra, M., Martínez-Arce, P.

A., de-Lara-Huerta, J., Santamaría-Arza, C., Quero-Hernández, A., & López-Cruz, G. (2018). Enfermedad diarreica aguda en niños. Revista Salud Quintana Roo Gob, 11(40), 34-41. <https://salud.qroo.gob.mx/revista/images/revista40/5.%20ENFERMEDAD%20DIARREICA%20AGUDA.pdf>

SuazaArboleda, U. A., García Álvarez, J. A., & Amaya Ospina, C. F. (2017). Los acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales en Colombia (Doctoral dissertation, Posgrado).

Unidad ejecutora de Saneamiento del Valle del Cauca (UESVALLE) (2013). Informe de gestión sobre el Estado de la Calidad del Agua del Valle del Cauca 2012 - 2013. Santiago de Cali. Colombia. Disponible en: http://www.uesvalle.gov.co/INFORM_GESTION_2013.PDF.

Artículo de investigación

Análisis de la variabilidad temporal de propiedades físicas y químicas del suelo en el Espinal - Tolima

Analysis of the temporary variability of physical and chemical properties of the soil in the Espinal-Tolima

Milton Freddy Alarcón Jimenez¹, Cindy Carolina Gámez Avila¹,
Sandra Milena Lozano Triana¹, Javier Andrés Quintero Jaramillo¹

Resumen

Los cultivos de arroz y de algodón son de gran importancia para Colombia especialmente para la zona del Tolima, en la cual se tienen grandes extensiones de suelos para su cultivo. En el Centro Agropecuario La Granja, del SENA Regional Tolima ubicada en el municipio del Espinal, se cuenta con un lote que tiene una extensión de 4,89 hectáreas (ha) para el cultivo rotatorio de arroz y algodón. En este lote, se realizaron tomas de muestras de suelos disturbadas en dos años consecutivos 2016 y 2017, para determinar su variabilidad temporal. También se definió una malla de 50 metros por 50 metros (m), compuesta por 20 puntos de muestreo. Cada punto fue georreferenciado, se tomó una muestra general con el barreno a una profundidad máxima de 15 centímetros (cm). A cada punto se les determinó propiedades físicas y químicas tales como textura, densidad real, densidad aparente, porosidad, pH, carbono orgánico, materia orgánica. Se evaluó la variabilidad espacial, covarianza y correlación de Pearson de estas propiedades y se analizó su comportamiento por medio de mapas de contorno. En los resultados obtenidos se pudo evidenciar los cambios temporales producidos en el suelo por efecto del manejo agrícola, ya sea por maquinaria o por presencia de animales, afectando la compactación y el aumento de la intensidad de encharcamiento.

Palabras clave. Suelo, compactación, Impacto, Manejo Agrícola, Mapa de Contorno, Variabilidad, correlación.

1. Centro Agropecuario La Granja Senagrotic, regional Tolima. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. Correo de correspondencia: malarconj@sena.edu.co

Cómo citar. Alarcón Jiménez, M. F., Gámez Ávila, C. C., Lozano Triana, S. M., & Quintero Jaramillo, J. A. (2022). Análisis de la variabilidad temporal de propiedades físicas y químicas del suelo en el Espinal – Tolima. Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura, 9(1), 74-86.



Abstract

Rice and cotton crops are of great importance for Colombia, especially for the Tolima region, which has large expanses of land suitable for their cultivation. At the Agricultural Center La Granja, part of the SENA sectional Tolima located in the municipality of Espinal, there is a plot covering an area of 4.89 hectares (ha), that it designated for the rotational cultivation of rice and cotton. Soil samples were taken from this plot in two consecutive years (2016 - 2017) to determine temporal variability. A grid measuring 50 meters by 50 meters (m) was established, comprising 20 sampling points. Each point was georeferenced and a general sample was taken with a soil auger to a maximum depth of 15 centimeters (cm). Physical and chemical properties such as texture, real density, bulk density, porosity, pH, organic carbon, and organic matter were determined at each point. The spatial variability, covariance, and Pearson correlation of these properties were evaluated, their behavior was analyzed through contour maps. The results revealed temporal changes in the soil due to agricultural management, whether through machinery or the presence of animals, affecting compaction and increased waterlogging intensity.

Keywords. Soil, compaction, Impact, Agricultural Management, Contour map, Variability, correlation.

Introducción

La zona del Tolima es uno de los mayores productores de arroz en Colombia (Chica, 2016). Esto debido a su clima y a las grandes extensiones de tierra para ser cosechados. El éxito de los cultivos radica entre otras cosas, en el uso de la maquinaria agrícola, la calidad de los insumos, el manejo de los suelos y las propiedades físico-

químicas de los mismos. Dichos parámetros no son estables en el tiempo, se alteran por procesos naturales, condiciones del cultivo, variabilidad climática y por el manejo agrícola del suelo (Cantú & Becker, 2007). El conocimiento del suelo se vuelve fundamental para el agricultor, debido a que le permitirá tomar buenas decisiones con su cultivo, ya sea para mejorar la cosecha, optimizar los procesos y disminuir el consumo de

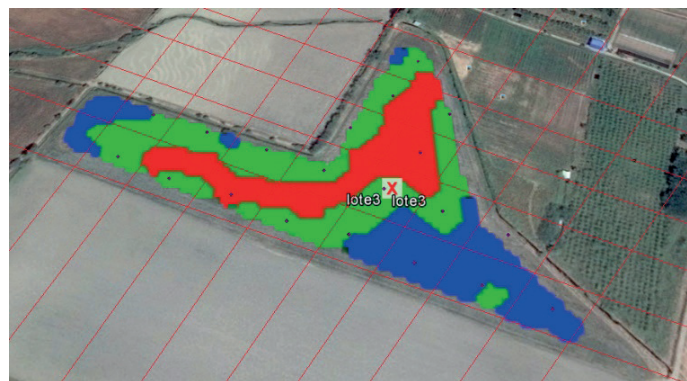
insumos agrícolas, pero sobretudo para conocer el comportamiento de los parámetros del suelo en donde se realiza la cosecha (Asencio, 2022). En los estudios de suelos se pueden analizar toda una cantidad de variables, desde las más básicas como la densidad real, densidad aparente y color, así como parámetros físicos más avanzados como la textura. En cuanto a variables químicas sin duda la más importante es el pH (Julca et al., 2006). Este parámetro de medición directa puede indicar indirectamente problemas de fertilidad, o la presencia de metales, como también es útil para definir la necesidad o no, de insumos de ajuste de pH como la cal. Existen otros análisis más especializados, por ejemplo, la determinación de la materia orgánica, el contenido de minerales como el silicio, aluminio, hierro potasio, calcio, magnesio y sodio, entre otros. Entre tanto, si cada agricultor pudiera conocer de manera exacta estos parámetros y tuvieran el conocimiento preciso de qué hacer con esta información, los costos de producción disminuirían y la calidad de las cosechas mejoraría. En el Centro Agropecuario La Granja, en el marco de la formación a aprendices se les enseña la importancia de realizar análisis de suelos, y conocer y analizar la variabilidad de parámetros de los mismos. Este trabajo se desarrolló como investigación apoyado con los programas de formación de mecanización agrícola. El objetivo fue evaluar la variabilidad de parámetros fisicoquímicos en puntos definidos y cómo esta variabilidad afecta la calidad de los suelos mediante el uso de mapas de contorno.

Materiales y métodos

La unidad experimental contó con un área de uso agrícola con cultivo de arroz. Se estableció una malla de 50 m por 50 m, compuesta por 20 puntos de muestreo. Cada punto fue georreferenciado y se tomó una muestra general con el barreno a una profundidad máxima de 15 cm (Figura 1).

Figura 1

Ubicación espacial del lote de estudio, SENA La Granja, lote 3.



Nota. Foto del SENA 2016.

En cada punto de la malla, se tomó una muestra de suelo disturbada hasta 0,15 m de profundidad mediante el barreno Eijkelkamp. También se tomaron muestras alteradas para la determinación de las propiedades físico-químicas tales como textura, densidad aparente, pH, carbono orgánico y materia orgánica. Se realizó un muestreo antes de la preparación del terreno en el año 2016 y otro después de la cosecha de arroz en el año 2017.

Las muestras de los dos muestreos fueron llevadas al Laboratorio de Suelos del Centro Agropecuario La Granja en donde se realizaron los análisis. Para la determinación de textura se utilizó el método de Bouyoucos. Para la determinación de la densidad real y la densidad aparente se utilizaron los métodos del picnómetro y del terrón parafinado, respectivamente. Con estas dos densidades se calculó la porosidad. La medición de pH se realizó con el multiparámetro Consort 50. Para hallar el carbono orgánico y la materia orgánica se trabajó con la metodología Walkley & Black (1934).

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos, se realizó el análisis estadístico descriptivo con el programa SPSS V.20 para determinar la media, mediana, límite máximo, límite mínimo, coeficiente de variación (CV), asimetría y curtosis. De esta manera se verificó tanto empírica como numéricamente el ajuste a la normalidad para cada variable, para mejores predicciones cuando se asocia a técnicas geoestadísticas (Diggle & Ribeiro, 2000). En cuanto al análisis del CV se consideró el criterio de Warrick & Nielsen (1980), autores que definen variabilidad baja para CV menores de 12%, variabilidad media entre 12 y 60% y variabilidad alta para CV mayores a 60%.

Resultados

Tabla 1

Propiedades físicas.

Variables	% Ar	% Arc	% L	DR	DA	PT	pH	CO (%)	MO (%)
Media	61.6	16.96	21.45	2.54	1.95	23.26	6.89	0.62	1.06
	64.44	11.48	24.09	2.49	1.82	27.13	7.02	0.95	2.02
Mediana	60	13.4	24	2.53	1.89	24.39	6.9	0.59	1.01
	63.00	11.70	25.50	2.49	1.85	26.55	7.01	0.85	1.45
Desv. típ.	10	8.83	12.69	0.18	0.25	10.47	0.35	0.24	0.41
	8.91	3.88	7.45	0.20	0.12	7.59	0.32	0.32	1.43
CV	16.24	52.06	59.19	7.24	12.65	45.01	5.11	38.56	38.51
	13.82	33.80	30.94	8.02	6.54	28.00	4.58	33.95	70.61
Asimetría	1.35	1.54	-0.35	0.48	1.04	-0.54	-0.11	0.75	0.75
	.53	-1.21	-.32	.12	-.32	.36	-.15	.38	2.28
Curtosis	3.48	1.61	-1.17	0.65	0.47	-0.11	-1.82	0.16	0.18
	-.30	2.88	-.93	1.08	-.50	-.85	-.93	-1.19	5.50
Mínimo	45.9	5.2	2	2.22	1.6	1.74	6.42	0.26	0.44
	52.00	0.10	9.00	2.05	1.56	16.00	6.41	0.52	0.89
Máximo	91.9	39.6	40.6	2.94	2.51	40.2	7.3	1.17	2.01
	83.00	18.00	35.00	2.94	2.01	41.07	7.52	1.56	6.66

Nota. Textura; Densidad Real, Dr (g Cm-3); Densidad Aparente, Da (g Cm-3); Porosidad Total, PT (%) y químicas: (pH); MO (%) y CO (%) de 0 a 15 cm del lote 3. Años 2016/2017.

La Densidad aparente (DA) se ha definido como un parámetro que da indicios de la presencia de zonas endurecidas y compactadas ya que la reducción del espacio poroso presente en el suelo acarrea un aumento en la Da (Hernanz et al., 2000; Ramírez et al., 2008; Júnior et al., 2006). En general la porosidad varía dentro de los siguientes límites: < 30 Muy baja; 30 – 40 Baja; 40 – 55 Media; > 55 Alta, en este suelo la porosidad presenta un valor promedio de 23.26 %, indicando valores muy bajos. Cruz et al., (2010) indica que las propiedades que más afectan la porosidad del suelo son la Da y Dr.

Análisis de variabilidad espacial

Los resultados muestran variedad en los modelos, excepto para el contenido de pH que presentó un efecto pepita puro (EPP) en el segundo muestreo indicando carencia de correlación espacial entre las observaciones de una variable (Giraldo, 2002). Para las demás propiedades predomina el modelo gaussiano se presenta paridad entre modelos con valores de R² medio de 0.79 y 0.89, respectivamente. En cuanto al grado de dependencia espacial (GDE), se observó que en la mayoría de los atributos estudiados se obtuvo valores superiores al 0.84 y 0.95 para las observaciones, los resultados de la interpolación se obtuvieron mediante Kriging ordinario.

Tabla 2

Parámetros semivariogramas obtenidos de las variables de las propiedades físicas y químicas del suelo.

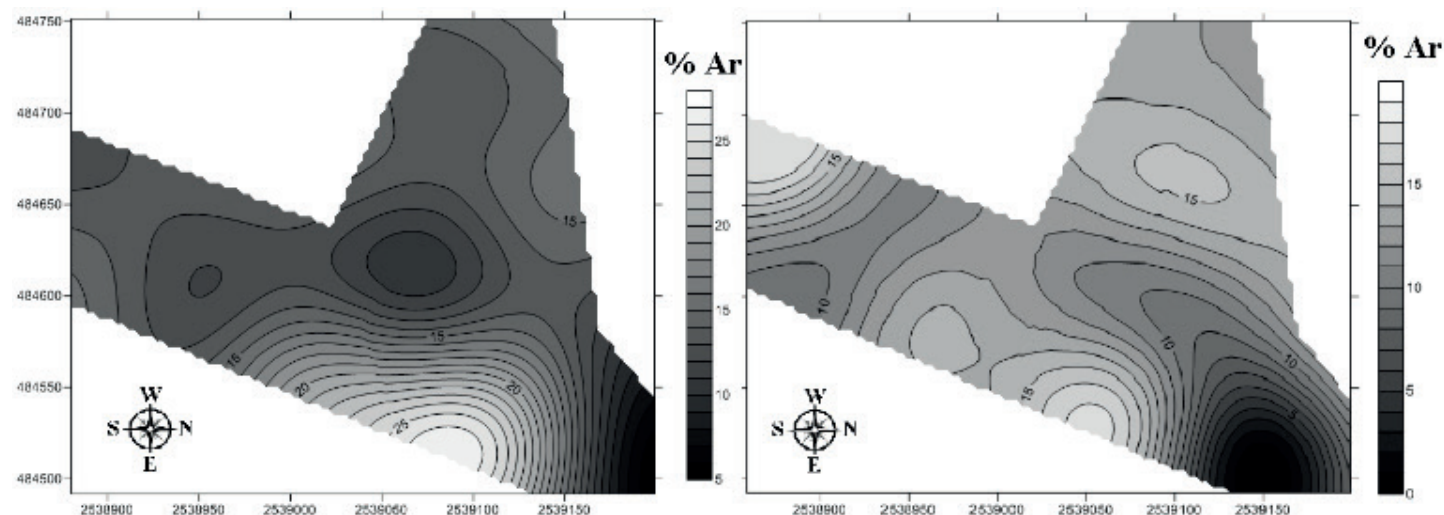
Atributo	Modelo	Co	C + Co	Rango, m	GDE	R ²
% A	Gausiano	3.7	98.4	197.62	0.96	0.99
	Gausiano	0.1	91.2	211.14	0.99	0.93
% Ar	Gausiano	0.01	18.21	126.44	0.99	0.74
	Gausiano	0.01	13.51	112.24	0.99	0.93
% L	Esférico	28.4	123	152.8	0.76	0.85
	Gausiano	0.1	53.62	157.62	0.99	0.77
DR	Gausiano	0.00001	0.028	103.92	1	0.91
	Gausiano	0.0001	0.038	89.37	0.99	0.90
DA	Gausiano	0.0027	0.046	165.41	0.94	0.98
	Esferico	0.0067	0.019	286.83	0.64	0.91
PT	Gausiano	54.5	213.4	511.65	0.74	0.97
	Gausiano	0.1	64.98	153.63	0.99	0.79
pH	Gausiano	0.0001	0.106	88.16	0.99	0.98
% CO	Exponencial	0.0001	0.064	540	0.99	0.74
	Gausiano	0.0001	0.147	203.34	0.99	0.94
% MO	Exponencial	0.0001	0.247	533.1	1	0.66
	Gausiano	0.01	3.65	200.57	0.99	0.92

La densidad aparente es alta en las dos profundidades (1.95 g cm^{-3} y 1.81 g cm^{-3}) estando los valores más bajos en la zona sur del lote estudiado. Por otro lado, la mayor PT se

encuentra en esta misma zona (Figura 8), con valores medios (23 y 27 %) (Tabla 1); muy baja de oxígeno para las plantas.

Figura 2

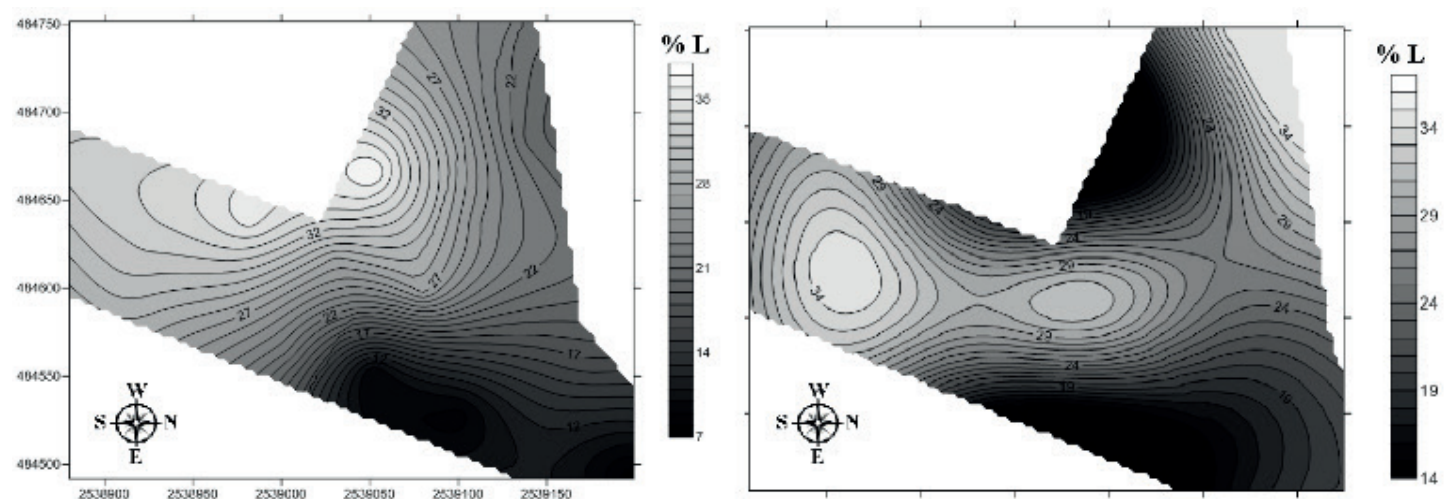
Mapas de contorno del contenido de Arcilla (Ar) del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 3

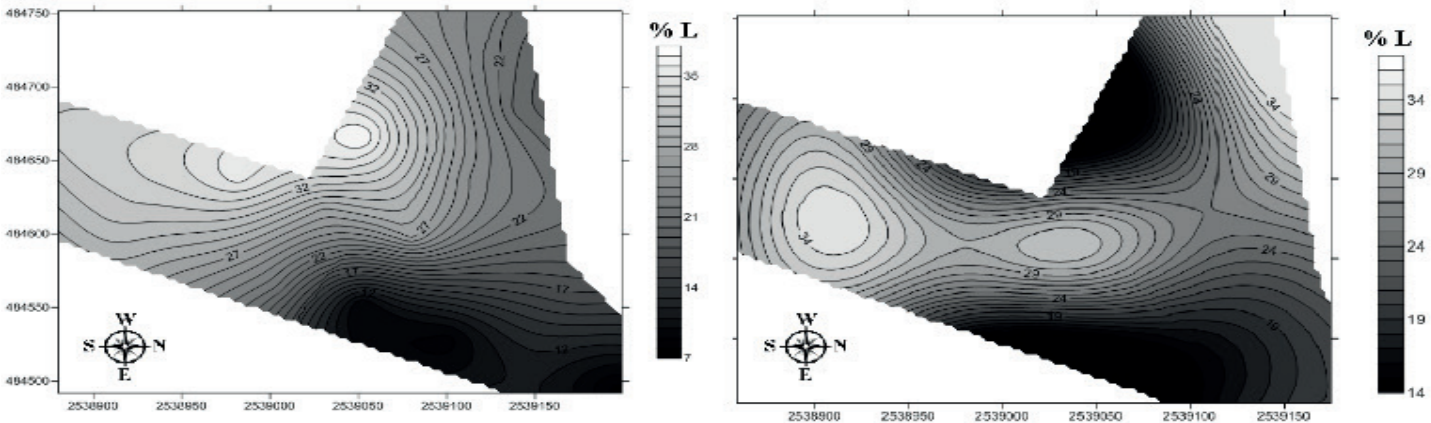
Mapas de contorno del contenido de Arena (A) del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 4

Mapas de contorno del contenido de Limo (L) del suelo; Izquierda antes de la siembra y Derecha después de la cosecha del lote 3.



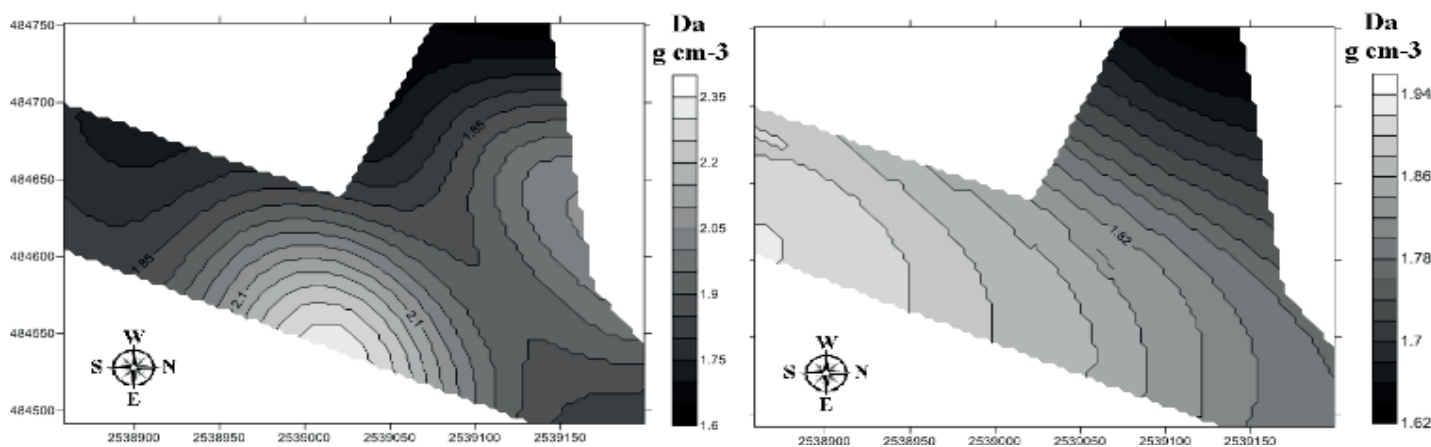
Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Los contenidos de Ar y L en los dos muestreos muestran valores bajos en la mayoría del mapa exceptuando una pequeña área en la zona central del lote (Figura 2 y 4); por el contrario, los altos contenidos de A (61 y 64 %) (Tabla 2), se encuentran en la parte norte - este del plano dando como resultado en el triángulo textural:

texturas Franco Arenosas (FA). Esto tiene relación directa con la pendiente del terreno, la cual tiene un gradiente de 3 a 5%, influyendo en los niveles de concentración de elementos químicos a lo largo del terreno, siendo común encontrar concentraciones mayores en las zonas arcillosas.

Figura 5

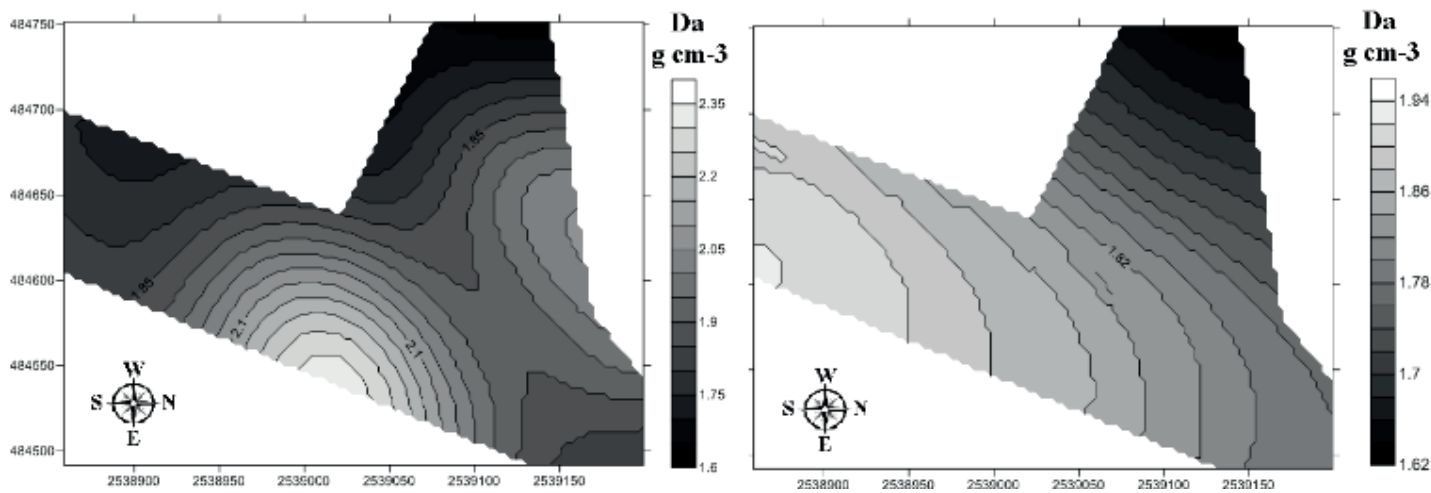
Mapas de contorno del contenido de CO del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 6

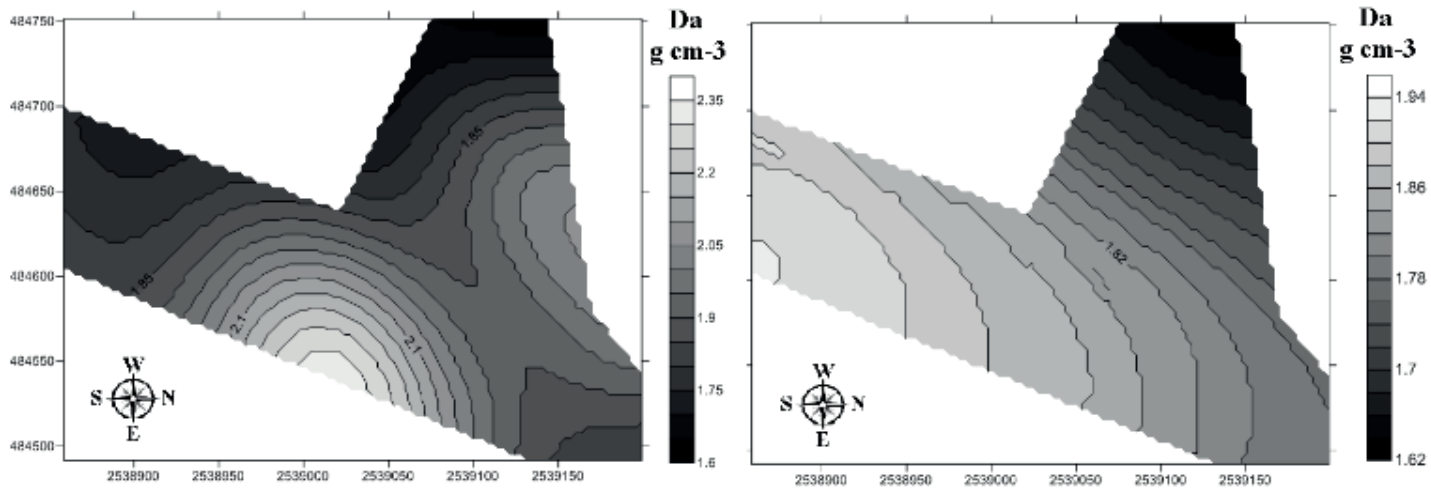
Mapas de contorno de la Densidad Real (D_r) del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 7

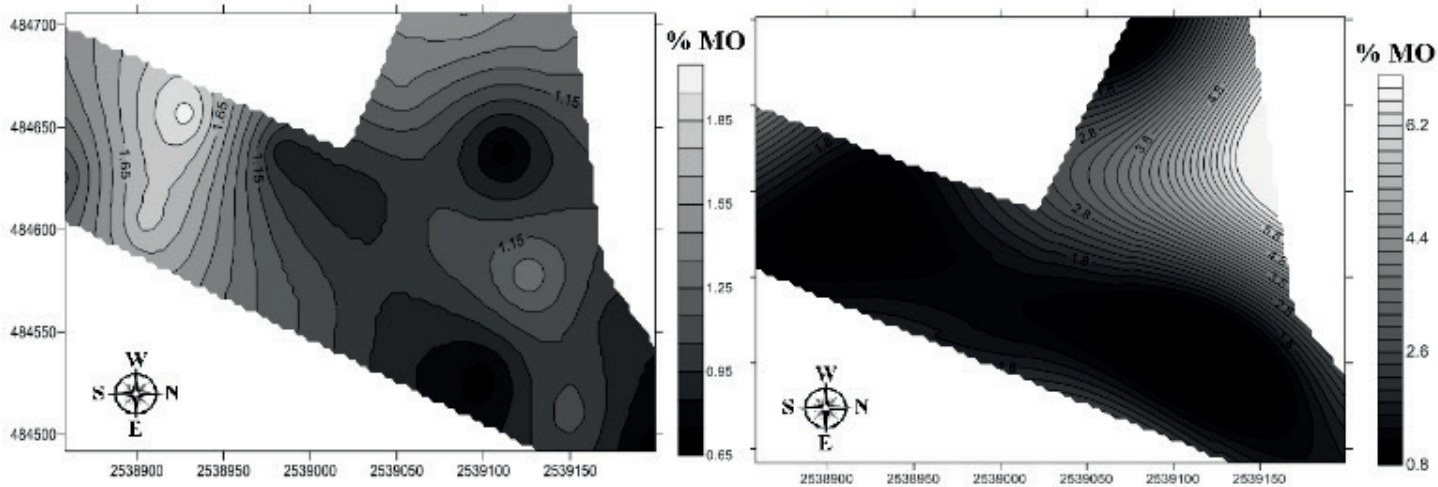
Mapas de contorno de la Densidad Aparente (D_a) del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 8

Mapas de contorno de la Porosidad (PT) del suelo.

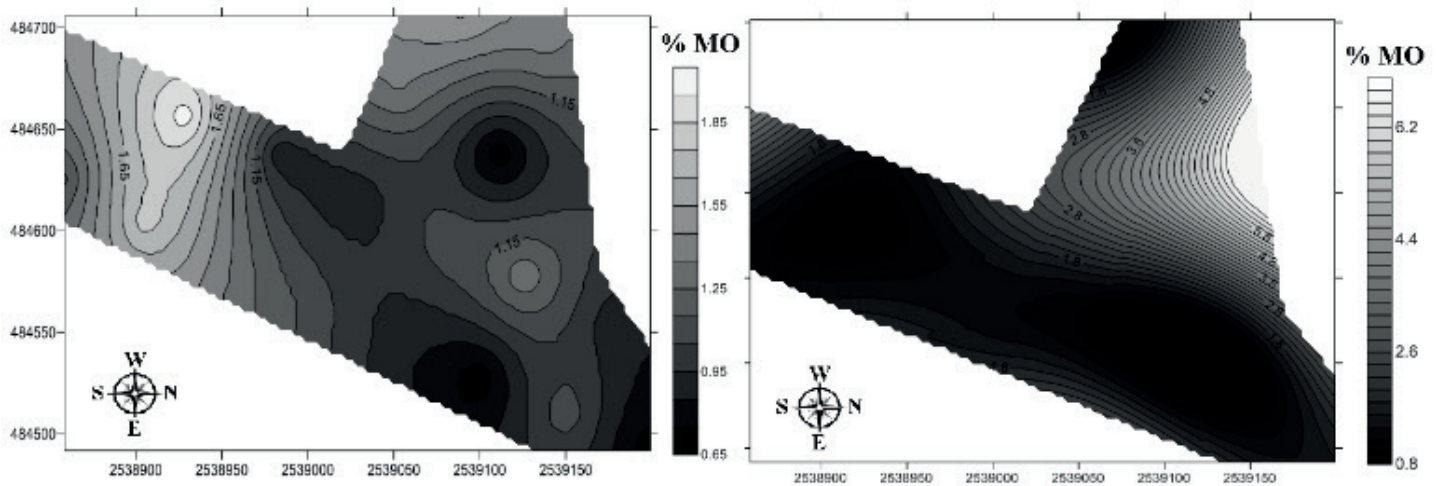


Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

La zona norte del mapa presenta una reducción de MO con una tasa media de 1.06 % en primer muestreo y 2.02 % en el segundo muestreo; el pH es básico en los dos muestreos entre 6.89 y 7.02. El pH permanece con una reacción neutra para este tipo de suelo.

Figura 9

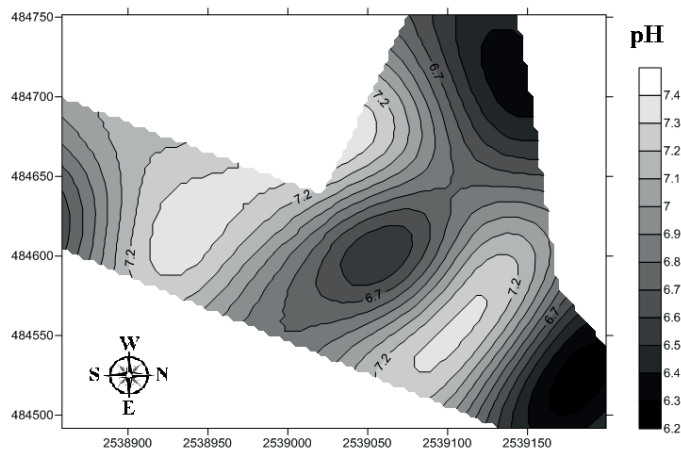
Mapas de contorno de la MO del suelo.



Nota. Antes de la siembra (izquierda) y después de la cosecha del lote 3 (derecha).

Figura 10

Mapas de contorno de la pH del suelo.



Nota. Antes de la siembra del lote 3.

Coefficiente de Correlación Método de Karl Pearson. La covarianza interpreta el signo de la correlación. Si la covarianza es negativa se obtiene un coeficiente de correlación negativa y por el contrario si la covarianza es positiva se obtiene un coeficiente de correlación positiva (Salinas, 2012). En este caso la covarianza en la mayoría de los atributos investigados es positiva excepto el pH en donde se identificó una correlación negativa. Y sí el valor es igual o muy próximo a 0, por tanto, no existiría una relación lineal entre las dos variables, lo que se observó en los atributos Dr, Da, pH y CO cercanos a cero.

Tabla 3

Covarianza y Coeficiente de Correlación Método de Karl Pearson de las variables de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Atributo	Covarianza	COEF. r
A	50.409	0.596
Ar	2.522	0.078
L	40.531	0.451
DR	0.004	0.191
DA	0.0043	0.321
PT	20.599	0.267
pH	-0.031	-0.261
CO	0.0054	0.108
MO	0.155	0.252

El coeficiente de correlación de Karl Pearson $r=-0.261$ se encuentra dentro del rango (-0,01 a - 0,39), por lo tanto, la correlación es negativa muy baja (Suárez, 2014), esto implica que la dependencia de la variable de pH tomada en el año 2016, incide de manera inversa sobre la variable pH tomada en el año 2017.

Discusión

La densidad aparente muestra valores de hasta 1.92 g/l lo que advierte una capa compactada en el suelo. Aggarwal et al., (1995) encontraron que esta capa compactada aumenta con el incremento de la intensidad de encharcamiento. Para tres tratamientos de riego, la densidad aparente de 15-20 cm de capa de suelo franco arenoso, mostró una Da de 1.76 g/l con baja formación de charcos, 1.79 g/l con el encharcamiento medio y 1.83 g/l con alta formación de charcos. En cuanto a la densidad

real (Dr) está ligada con el tipo y cantidad de constituyentes minerales y orgánicos del suelo y la velocidad de sedimentación de las partículas (Henao, 2010; Orjuela et al., 2011). El alto valor de Dr promedio fue de 2.54 g/l, valores muy similares reportados por Alarcón et al., (2015) en un suelo en la altillanura colombiana. Esta Dr está estrechamente ligado con la PT y puede verse afectado por el manejo del suelo, ya sea por maquinaria o por presencia de animales (Souza & Alves, 2004).

Conclusiones

En cuanto al contenido de MO en clima cálido los valores mayores de 0.2 se consideran altos, es el caso de este suelo en el Espinal con valores promedios de 1.06 %. En este estudio la covarianza en la mayoría de los atributos

investigados es positiva, excepto en el pH que mostró una correlación negativa. De igual manera la covarianza nos indica la inexistencia de relación lineal entre los atributos Dr, Da, pH y CO. En general, en los mapas de contorno se puede observar que la zona sur del Lote 3 presentó mejores condiciones físicas y químicas en el suelo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Suelos del Centro Agropecuario La Granja del Sena Regional Tolima por su invaluable colaboración para la toma y análisis de muestras.

Referencias bibliográficas

- Asencio Beltran, L. S. (2022). Diseño de un modelo predictivo de aprendizaje automático supervisado para determinar precios dinámicos de insumos Agrícolas de la región costa del Ecuador [Tesis de maestría]. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas-Carrera de Ingeniería Civil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/63093>
- Aggarwal, G. C., Sidhu, A. S., Sekhon, N. K., Sandhu, K. S., & Sur, H. S. (1995). Puddling and N management effects on crop response in a rice-wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*, 36(3-4), 129-139.
- Alarcón-Jiménez, M. F., Camacho-Tamayo, J. H., & Bernal, J. H. (2015). Management zones based on corn yield and soil physical attributes. *Agronomía Colombiana*, 33(3), 373-382.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Soil quality evaluation using indicators and indices. *Ciencia del Suelo* 25(2):173-178 Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672007000200008&lng=es&nrm=iso.
- Chica, J., Tirado, Y. C., & Barreto, J. M. (2016). Indicadores de competitividad del cultivo del arroz en Colombia y Estados Unidos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 16-31.doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.49>.
- Cruz, J. S., Assis Júnior, R. N. D., Matias, S. S. R., Camacho-Tamayo, J. H., & Tavares, R. D. C. (2010). Spatial analysis of physical attributes and organic carbon from yellow-red alfissol with sugarcane crop. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 271-278.
- Diggle, P.J. y J.R. Ribeiro, J.R. (2000). *Model Based Geostatistics*. 1ed. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística. Springer. https://books.google.com.co/books/about/Model_based_Geostatistics.html?id=qCqOm39OuFUC&redir_esc=y
- Giraldo, H.R. (2002). *Introducción a la Geoestadística: Teoría y aplicación*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Henao, M. *Prácticas de laboratorio métodos de análisis de suelos (Versión 4)*. 2010. Colombia: Universidad Nacional de Colombia–Facultad de Agronomía.
- Hernanz, J. L., Peixoto, H., Cerisola, C., & Sánchez-Girón, V. (2000). An empirical model to predict soil bulk density profiles in field conditions using penetration resistance, moisture content and soil depth. *Journal of Terramechanics*, 37(4), 167-184.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006).

La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia*, 24(1). <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>

Orjuela-Matta, H. M., Rubiano-Sanabria, Y., & Camacho-Tamayo, J. H. (2011). Spatial variability of hydrodynamic parameters in the native savanna of the Colombian Eastern plains. *Agronomía Colombiana*, 29(1), 83-90.

Salinas, P. (2012). Metodología de la investigación científica. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/34398>

Souza, Z. M. D., Marques Júnior, J., Pereira, G. T., & Moreira, L. F. (2004). Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 34, 1763-1771.

Suárez, M. (2014). Correlación y regresión empleando Excel y Graph. <https://www.studocu.com/en-us/document/politecnico-grancolombiano/estadistica/correlacion-y-regresion-empleando-excel-y-graph/6047500>

Ramírez-López, L., Reina-Sánchez, A., & Camacho-Tamayo, J. H. (2008). Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colombia. *Engenharia Agrícola*, 28, 55-63.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.

Warrick, A. W., & Nielsen, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. En *Applications of Soil Physics*. In: Hillel, D., Ed., *Applications of Soil Physics*, Academic Press, New York. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3>

Júnior, V. V., Carvalho, M. P., Dafonte, J., Freddi, O. S., Vázquez, E. V., & Ingaramo, O. E. (2006). Spatial variability of soil water content and mechanical resistance of Brazilian ferralsol. *Soil and Tillage Research*, 85(1-2), 166-177.



Centro de
Formación Agroindustrial
La Angostura