

Revista

# Ciencias Agropecuarias

ISSN 2422-3484

Volumen 8 No. 2 • 2022

Facultad de Ciencias Agropecuarias





Universidad de  
**CUNDINAMARCA**

Revista Ciencias Agropecuarias - Volumen 8, Número 2

*Adriano Muñoz Barrera*

**RECTOR**

Universidad de Cundinamarca

*Víctor Hugo Londoño Aguirre*

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

Universidad de Cundinamarca

*John Alexander Moreno Sandoval*

**DECANO**

Facultad de Ciencias Agropecuarias

**EDITORES**

*Prof. Nelson Enrique Arenas Suárez*

Universidad Antonio Nariño

*Prof. Vilma Moreno Melo*

Universidad de Cundinamarca

**COMITÉ EDITORIAL**

*Prof. Juan Camilo Álvarez Mahecha*

Universidad de Cundinamarca

*Prof. Edwin Davier Correa Rojas*

Universidad de Cundinamarca

*Prof. Laura Inés Cuervo Soto*

Universidad Antonio Nariño

*Prof. Sandra Milena Coronado*

Universidad de Cartagena

*Dr. Juan Carlos Osma Roza*

Universidad Autónoma de Bucaramanga Fundación

Universitaria Monserrate

*Dra. Edna Rocío Cabrera Martínez*

Universidad del Cauca

*Prof. César Augusto Prías Márquez*

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

*Prof. Julie Rosseli Suárez Vera*

Corporación Universitaria Minuto de Dios CRS

*Prof. Diego Zanetti*

IFSULDEMINAS - Federal Institute of Education, Science  
and Technology of the South of Minas Gerais, Brasil

*Prof. Ayixon Sánchez Reyes*

Instituto de Biotecnología, UNAM, México

*Prof. Ramón Alberto Batista García*

Universidad Autónoma del Estado de  
Morelos, México

*Prof. María del Rayo Sánchez Carbente*

Universidad Autónoma del Estado de  
Morelos, México

*Dr. Amador Goodridge*

Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios  
de Alta Tecnología  
INDICASAT-AIP, Panamá

*Prof. Víctor Hugo Herrera Franco*

Universidad Nacional de Colombia,  
sede Medellín

*Prof. Benjamin Dias Osorio Filho*

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil

*Dra Daiane Moreira Silva*

IFSULDEMINAS - Campus Machado, Brasil

*Prof. José Camilo Torres Romero*

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

*Dr Víctor Manuel Acero Plazas*

Asociación Nacional de Médicos  
Veterinarios de Colombia (AMEVEC)



Editorial  
Universidad de  
**CUNDINAMARCA**



**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN**

Universidad de Cundinamarca

## CONTENIDO

**Editorial. Generación de energía renovable no convencional en sistemas de producción agropecuaria de Fusagasugá, Colombia / 1-4**

**Non-Conventional Renewable Energy Generation in Agricultural Production Systems in Fusagasugá, Colombia**

*Vilma Moreno-Melo, Yanoy Morejón Mesa, Jairo Enrique Granados Moreno, Diego Andrés Abril Herrera, Andrés Mogollón-Reina, Jhon Alexander Moreno-Sandoval, Mario Bernal-Ovalle, Luis Miguel Acosta-Urrego y Edier Fernando Ávila*

**1. Evaluación económica de un equipo de bombeo solar para el abastecimiento de agua para el ganado, en Cuba / 7-22**

**Economic evaluation of a solar pumping system for water supply to livestock in Cuba**

*Enmanuel Avila González, Arcadio Ríos Hernández, Yanoy Morejón Mesa y Amaury Rodríguez González*

**2. Unidad agroambiental El Vergel, campo de aprendizaje para la formación de profesionales en Ciencias Agrarias de la Universidad de Cundinamarca, vereda Mancilla, Facatativá: estudio de caso prepandemia / 23-47**

**Agro-Environmental Unit El Vergel, Learning Field for the Training of Professionals in Agricultural Sciences at the Universidad de Cundinamarca, vereda Mancilla, Facatativá: Pre-Pandemic Study Case**

*Carlos Alberto Calderón-Ricardo y Diego Alexander Hernández-Contreras*

**3. Estrategias para reducir las emisiones de metano entérico en rumiantes / 49-61**

**Strategies to reduce enteric methane emissions in ruminants**

*Diego Felipe Portela, Daniel Cervantes Gomez, José Carlos Escobar-España, Paulino Sánchez-Santillán y Karym Roberto Curzaynz*

**4. Flora vascular y líquénica asociada a especies simpátricas de Puya (Bromeliaceae) en el Parque Nacional Natural Chingaza (Colombia) / 63-71**

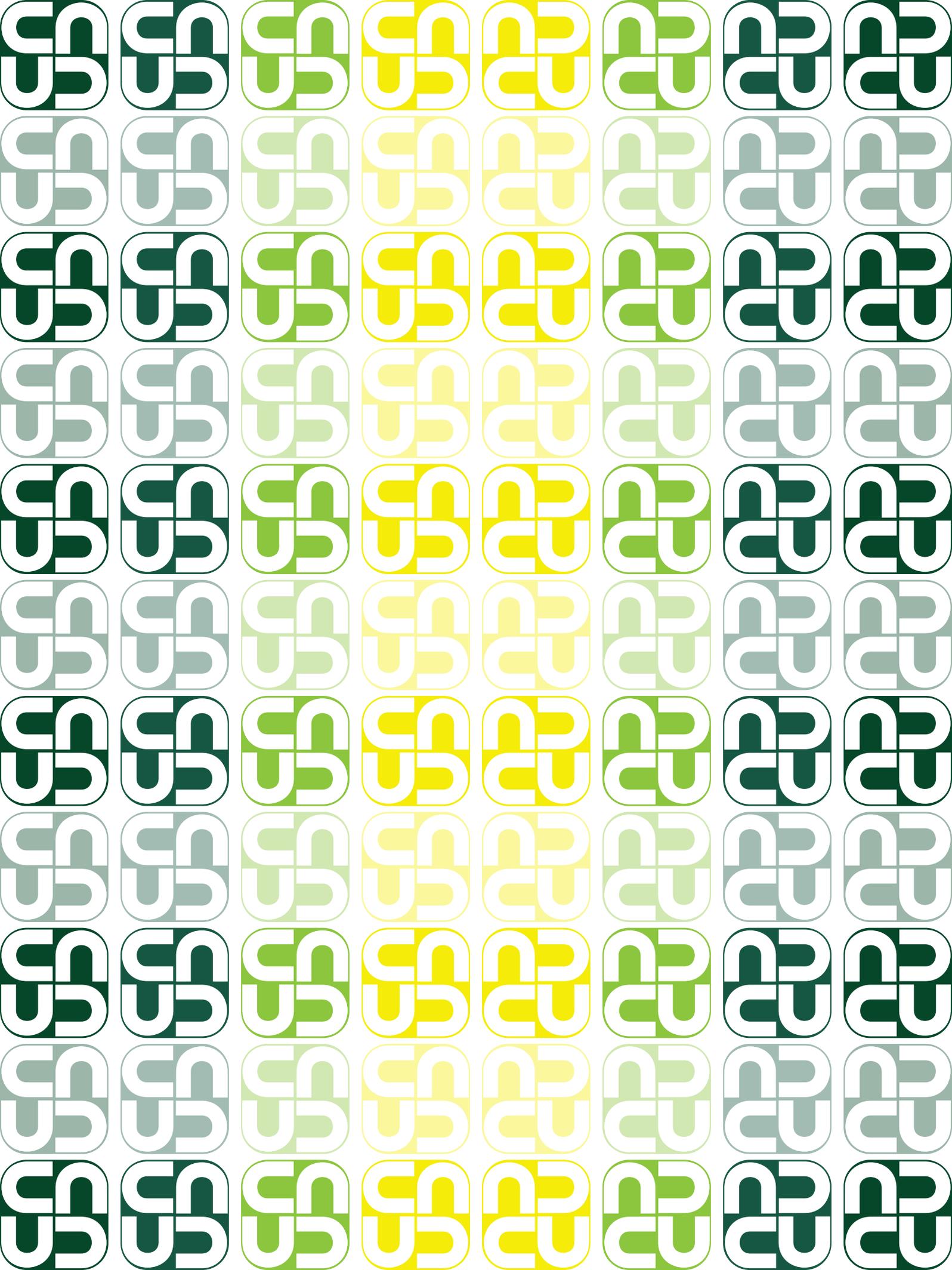
**Vascular and lichen flora associated with sympatric species of Puya (Bromeliaceae) in Chingaza National Natural Park (Colombia)**

*Rubén Darío González-Román, Luz Nancy Mateus-Vargas y Juan Daniel Beltrán-Quiñones*

**5. Aplicación de tecnologías disruptivas de manejo en alojamientos porcinos carentes de bienestar animal: evaluación productiva, conductual y económica / 73-80**

**Application of Disruptive Management Technologies in Pig Housing Lacking Animal Welfare: Productive, Behavioral and Economic Evaluation**

*Rodolfo Óscar Braun, Franco Alexis Ghiglione, María Verónica Muñoz y Santiago Dalla Vía*



**Generación de energía renovable no convencional  
en sistemas de producción agropecuaria de Fusagasugá,  
Colombia**

**Non-Conventional Renewable Energy Generation in Agricultural  
Production Systems in Fusagasugá, Colombia**

Vilma Moreno-Melo<sup>1</sup> , Yanoy Morejón Mesa<sup>2</sup> , Jairo Enrique Granados Moreno<sup>1</sup> ,  
Diego Andrés Abril Herrera<sup>1</sup> , Andrés Mogollón-Reina<sup>1</sup> , Jhon Alexander  
Moreno-Sandoval<sup>1</sup> , Mario Bernal-Ovalle<sup>1</sup> , Luis Miguel Acosta-Urrego<sup>1</sup> ,  
Edier Fernando Ávila<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia.

<sup>2</sup>Universidad Agraria de la Habana, Cuba

\*Autor de correspondencia: vilma@ucundinamarca.edu.co

**Recibido:** 09/10/2022 **Aceptado:** 23/11/2022 **Publicado:** 30/12/2022

**Cómo citar este artículo:**

Moreno-Melo, V., Morejón, Y., Granados, J., Abril, D., Mogollón-Reina, A., Moreno-Sandoval, J., Bernal-Ovalle, M., Acosta-Urrego, L. y Avial, E. (2022). Generación de energía renovable no convencional en sistemas de producción agropecuaria de Fusagasugá, Colombia. *Ciencias Agropecuarias*, 8(2), 1-4. <https://doi.org/10.36436/24223484.652>

El cambio climático experimentado a escala global es causado, principalmente, por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera y la contaminación de las aguas y los suelos. A partir de este cambio, la sociedad ha sido incentivada a evaluar cómo mitigar el impacto de sus acciones sobre el medio ambiente (1).

Como parte de la revisión para dicha mitigación, surge la necesidad de desarrollar, implementar e integrar tecnologías sencillas que permitan alcanzar un desarrollo sostenible y sustentable, que se vea reflejado en mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales y de las entidades vinculadas a la producción agropecuaria. Una de las soluciones inmediatas para contribuir a esta necesidad es el empleo de las fuentes de energías renovables o alternativas, las cuales están disponibles de forma gratuita durante todo el año y en todas las regiones del planeta; sin embargo, en algunos casos se requiere de un proceso de inversión que permita elevar sus bondades y su alcance. Existen distintas fuentes de energías renovables, de las cuales se pueden citar: la biomasa, la eólica, solar, hidráulica, entre otras (2).

Ahora bien, la forma más común de empleo de la energía generada por la biomasa, se da por la digestión anaerobia de desechos orgánicos. Entender su uso y manejo adecuado, junto con la instalación de tecnologías como los biodigestores, se puede derivar en la obtención de: I. Energía renovable (Biogás), para actividades tales como el calentamiento de lechones, actividades domésticas, entre otras; II. Bioabonos, como los biofertilizantes para cultivos de forrajes o para cultivos agrícolas; III. El mejoramiento de las condiciones sanitarias y ambientales, permitiendo el

control de la contaminación (olores, moscas, otros) y; IV. Un ingreso económico, derivado de la comercialización del bioabono.

La tecnología con la que se realiza la digestión anaerobia de desechos orgánicos, se denomina biodigestores o plantas de biogás, esta técnica es totalmente antropogénica, es decir, producida por la actividad humana. La planta de biogás se constituye por un reactor hermético con una entrada lateral para la materia orgánica, un escape en la parte superior por donde fluye el biogás, y una salida complementaria para la obtención de efluentes con propiedades biofertilizantes (3).

El uso de la fermentación anaeróbica de desechos orgánicos (biomasa) para la producción de energía renovable y el aprovechamiento de los efluentes, como abonos ricos en amoníaco —debido a la gran cantidad de nitrógeno que poseen—, es una oportunidad para utilizar un combustible alternativo en los sistemas de producción agropecuario rurales. Con ello, se podría resolver las necesidades de cocción, calentamiento, enfriamiento y alumbrado, entre otros. Siendo para la agricultura orgánica una alternativa económicamente factible y ecológicamente sustentable (4).

En razón de lo anterior, el caso de estudio “Innovación estratégica para el aprovechamiento energético-productivo sostenible de residuos agropecuarios en la generación y uso de energía renovable en zona rural de Fusagasugá”, enmarcado en el Proyecto I+D para el desarrollo tecnológico base biológica-Cundinamarca, tuvo como objetivo principal el aprovechamiento potencial de los residuos agropecuarios en la generación y uso de energía renovable (biogás), para los sistemas de producción rural de Fusagasugá, todo ello con la intención de: I. Generar un diagnóstico de

producción de la materia orgánica derivada de sistemas de producción agropecuaria en el municipio de Fusagasugá —susceptible de reutilización en producción de energía alternativa, a través de procesos de fermentación—; II. Evaluar el potencial de la producción de gas metano en diferentes protocolos de fermentación; III. Determinar los protocolos de uso de bioabono, con la metodología de aprovechamiento máximo y final del material orgánico dispuesto en la postproducción de biogás; IV. Generar estrategias de apropiación participativa de tecnologías desarrolladas durante la ejecución del proyecto, con apoyo de los actores intervinientes: la Corporación para la Energía y el Medioambiente Corpoema; la Universidad de Cundinamarca; la Universidad Agraria de la Habana y; al sector agropecuario a través de Comigan, Sumapaz. También se consideró dentro del proyecto la generación de biogás derivado de los residuos/desechos orgánicos agrícolas, forestales y animales bajo la estrategia de promover la eficiencia energética y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (5).

Para llevar a cabo estos objetivos, se propuso el diseño de una estrategia ecotecnológica que permitiera la transformación de los residuos de los procesos agroproductivos, dependiendo de su origen, como una alternativa para la obtención de biogás, al identificar la necesidad y el uso en el sistema de producción. Con ello, se daría la articulación de los componentes sociales, productivos e innovadores, a partir de los cuales se desarrollarían estudios diagnósticos, de factibilidad y validación técnica, económica y ambiental, permitiendo la transferencia efectiva de tecnologías a los productores y comunidad beneficiada con los resultados. Los impactos esperados de esta investi-

gación, compuestos por dos fases, se relacionaron con la generación de Ciencia, Tecnología e Innovación a corto plazo. La primera fase fue la generación de conocimiento basado en identificación y caracterización de la línea base, la selección de los sistemas de producción rural, los tipos de residuos y subproductos de desechos agropecuarios, la innovación y mejoramiento de la disponibilidad de información a través de los Sistemas de Información Geográfica [sig] y la caracterización energética del sector.

Para la segunda fase, se espera poder incluir tecnologías para implementar los biodigestores, según el contexto, para el procesamiento de la materia prima clasificada de “residuo/desechos”, la calidad como ingrediente en la alimentación del biodigestor. Por último, el proyecto permitirá la inclusión de buenas prácticas de producción agropecuaria y ambiental, a partir del acompañamiento y asistencia técnica a los productores, junto con la capacitación y formación en el consumo consciente, racional y eficiente de las energías alternativas en el sector rural. Esta propuesta responde a la demanda de la convocatoria, con el fin de generar un vínculo entre la universidad, las entidades de porte nacional e internacional, los productores agropecuarios, la educación media rural y profesional agropecuaria, encargados de la promoción, validación y sostenibilidad de los sistemas alternativos de energías en Fusagasugá, Cundinamarca.

El uso de energías renovables se ha incrementado durante los últimos años, entre ellas la biomasa obtenida de los residuos agropecuarios que, para el caso del estudio, estuvo compuesta por excretas porcinas y bovinas, material primordial para la producción de biogás. Esta fuente de energía renovable posee el mayor potencial de desarrollo en las áreas

rurales, considerando diversos factores como: la tecnología que existe; el costo de implementación de dicha tecnología —bastante menor comparada con otras energías alternativas como la eólica, solar, hidráulica, entre otras posibles—; menor impacto ambiental, es un recurso que se genera directamente en los sistemas de producción animal locales, facilitando procesos de implementación de biodigestores para la producción de biogás, utilizado en diversas labores del sistema de producción; minimización de riesgos de contaminación por traslados; la interacción de las instituciones de educación superior, especialmente de aquellas que cuentan con Facultades de Ciencias Agropecuarias, en la generación de proyectos que mejoren, no solamente la calidad de vida rural, sino también aspectos ambientales, sociales y económicos. Este último se puede lograr al obtener subproductos para comercializar como los bioles, generando un ingreso adicional a las familias rurales (6).

Finalmente, es importante resaltar el compromiso frente al cambio climático y la necesidad de la reducción de emisiones causadas por el uso de energías convencionales, que provienen de combustibles fósiles. Por ende, se requiere duplicar la generación de energía con fuentes de energía limpia y amigable con el medio ambiente, como compromiso ético, moral y de responsabilidad para con las generaciones futuras.

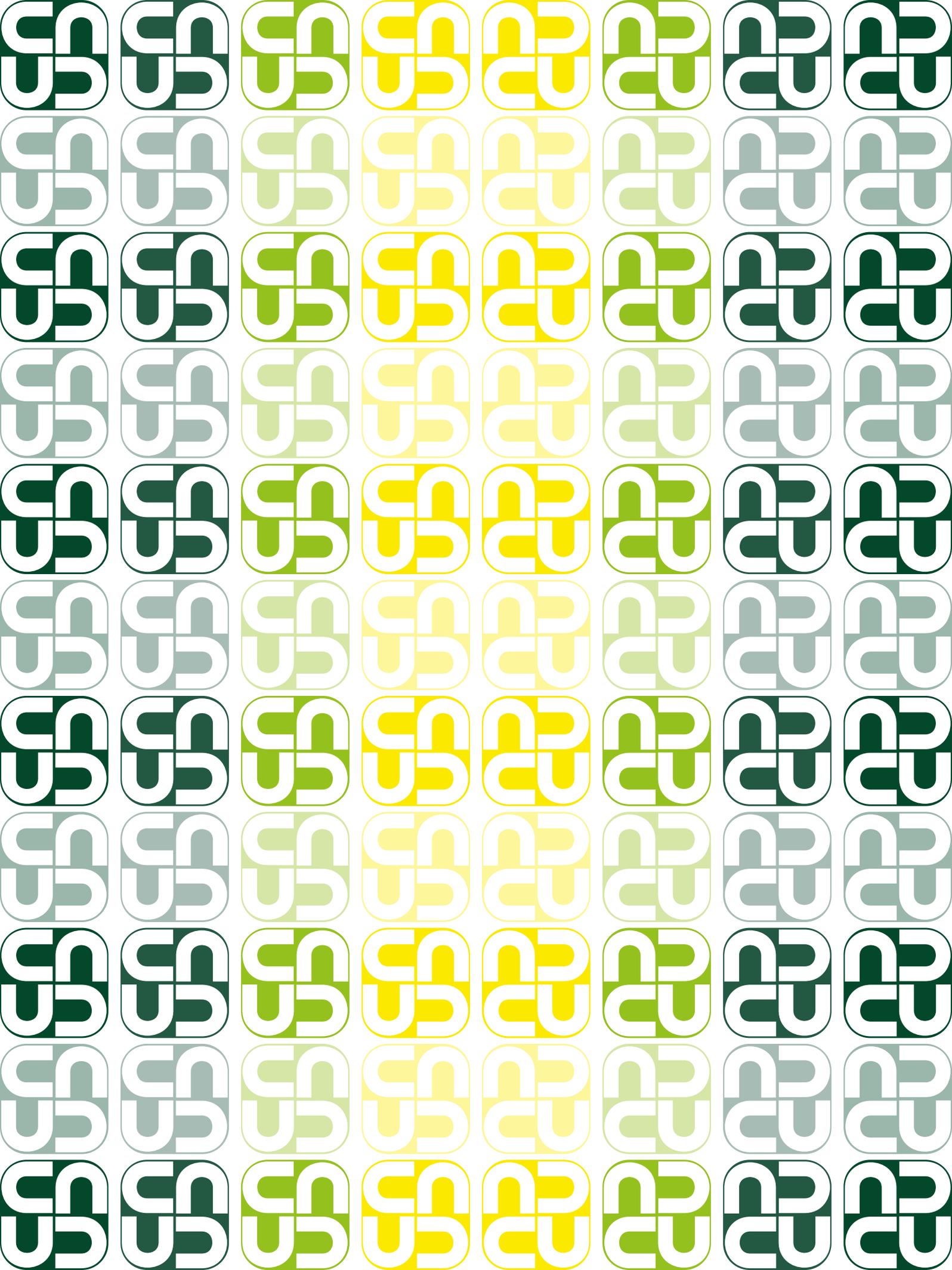
## Agradecimientos

A los productores del campo que atendieron a nuestro llamado, sacaron tiempo de sus labores y acompañaron el proyecto. A la Universidad Agraria de la Habana, a Comigan Sumapaz, Corpoema, al equipo de investigadores, estudiantes, docentes y en general, a la comunidad académica de la Universidad Ciencias Agropecuarias, 8(2), 2022, pp. 1-4

de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia. A Minciencias por la financiación del proyecto con registro: 66227 de la Convocatoria: 829-2018, en la Línea temática: investigaciones para la generación de energía renovable no convencional derivada de residuos.

## Referencias

- [1] Osman AI, Chen L, Yang M, Msigwa G, Farghali M, Fawzy S et al. Cost, environmental Impact, and Resilience of Renewable Energy Under a Changing Climate: a Review. *Environ. Chem. Lett.* 2023 abr;21(2):741-764. Epub 2022 oct. 28. Disponible en: [10.1007/s10311-022-01532-8](https://doi.org/10.1007/s10311-022-01532-8)
- [2] Dinesh, H., y Pearce, J. M. The Potential of Agrivoltaic Systems. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 2016;54:299-308. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
- [3] Obileke KC, Nwokolo N, Makaka G, Mukumba P, Onyeaka H. Anaerobic digestion: Technology for Biogas Production as a Source of Renewable Energy a Review. *Energy Environ.* 2021 mar;32(2):191-225. Epub 2020 may. 21. doi: <https://doi.org/10.1177/0958305X20923117>
- [4] Korberg AD, Skov IR, Mathiesen BV. The Role of Biogas and Biogas-Derived Fuels in a 100 % Renewable Energy System in Denmark. *Energy.* 2020 may. 15;199:117426. Epub 2020 abr. 1. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117426>
- [5] Pizarro-Loaiza CA, Antón A, Torrellas M, Torres-Lozada P, Palatsi J, Bonmatí A. Environmental, Social and Health Benefits of Alternative Renewable Energy Sources. Case Study for Household Biogas Digesters in Rural Areas. *J Clean Prod* 2021;297:126722. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126722>
- [6] Bermúdez CE, Arenas NE, Moreno Melo V. Caracterización socio-económica y ambiental en pequeños y medianos predios ganaderos en la región del Sumapaz, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* [Internet]. 2017, 30 jun;20(1):199-208. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/76>



# Evaluación económica de un equipo de bombeo solar para el abastecimiento de agua para el ganado, en Cuba

## Economic evaluation of a solar pumping system for water supply to livestock in Cuba

Enmanuel Avila González<sup>1</sup> , Arcadio Ríos Hernández<sup>1</sup> ,  
Yanoy Morejón Mesa<sup>2</sup> , Amaury Rodríguez González<sup>1</sup> ,

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba. <sup>2</sup> Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

\*Autor de correspondencia: ymorejon83@gmail.com

Recibido: 09/10/2022

Aceptado: 23/11/2022

Publicado: 30/12/2022

### Cómo citar:

Ávila, E., Ríos, A., Morejón, Y. y Rodríguez, A. (2022). Evaluación económica de un equipo de bombeo solar para el abastecimiento de agua para el ganado, en Cuba. *Ciencias Agropecuarias*, 8(2), 7-22. <https://doi.org/10.36436/24223484.688>

## Resumen

En los últimos años, se ha introducido en Cuba diversas bombas solares para potenciar energética y económicamente a varias empresas ganaderas en el abastecimiento de agua; su evaluación permite ver si son viables para estos fines en el país. El presente trabajo se desarrolló en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola durante el año 2020, con el objetivo de determinar la viabilidad económica de un sistema de abastecimiento animal empleando la Bomba Solar Lorentz PS2-150-C-SJ5-8. La metodología consistió en diseñar el sistema de abastecimiento animal, calcular su volumen de bombeo, determinar la cantidad de animales que puede abastecer y evaluarlo económicamente. Los resultados arrojaron una potencia de 0,30 kWp, una altura de 20 m, un caudal de 1,90 m<sup>3</sup>/h, un volumen de 11,40 m<sup>3</sup>/día que puede abastecer en cuatro variantes: solo a 42 vacas; o a 507 cerdos; o a 1 267 ovinos; y combinado: a 14 vacas, a 169 cerdos y a 422 ovinos. Económicamente, la variante más atractiva fue la de solo a vacas, con una relación beneficio-costos [B/C] de 2,85 y un tiempo

de recuperación de 0,43 años. Se concluyó que, en la Estación Experimental, la bomba solar se puede utilizar solamente para el abastecimiento de agua al ganado vacuno.

**Palabras clave:** energías renovables, inversión, costos de explotación, ingresos, rentabilidad.

## Abstract

In recent years, various solar pumps have been introduced in Cuba to boost energy and economically several livestock companies in the water supply; their evaluation allows us to see if they are viable for these purposes in the country. The present work was developed at the Experimental Station of the Agricultural Engineering Research Institute with the objective of knowing the economic viability of an animal supply system using the Lorentz PS2-150-CSJ5-8 Solar Pump. The methodology consisted of designing the animal supply system, calculating its pumping potential, determining the number of animals it can supply and evaluating it economically. The results showed a power of 0,30 kWp, a height of 20 m, a flow of 1,90 m<sup>3</sup>/h, a potential of 11.40 m<sup>3</sup>/day that can supply in four variants only 42 cows, or 507 pigs, or 1 267 sheep and combined to 14 cows, 169 pigs and 422 sheep; economically, the most attractive variant was that of only cows, with a Benefit-Cost ratio of 2,85 and a recovery time of 0,43 years. It was concluded that at the Experimental Station the solar pump can only be used for water supply to cattle.

**Keywords:** renewable energy, investment, operating costs, income, profitability.

---

## Introducción

El agua como recurso natural renovable y limitado requiere de planificación para garantizar su preservación, en armonía con el desarrollo económico y social sostenible. Las limitaciones de agua hacen necesaria la introducción de tecnologías que propicien un empleo eficiente de las mismas para su empleo en la agricultura (1, 2), ya que, del agua dulce disponible en el mundo, la agricultura utiliza el 70 % y,

el 30 % de esta se dirige a la producción ganadera (3-5). Además, el bombeo de agua es una de las actividades que requiere de mayor demanda energética, razón por la cual es necesario que se emplee de la forma más eficiente posible (6). En años recientes, los principales problemas que se han vinculado al uso de la energía para el bombeo de agua son a los altos costos, la escasez de fuentes de suministro, la seguridad energética, hídrica y alimentaria (7, 8).

También, desde el punto de vista de los gastos de electricidad —en un contexto más global— se estima que los costos totales de operación en los servicios de agua y alcantarillado en el mundo son de entre el 5 % y el 30 %, e incluso, en algunos casos, pueden llegar a alcanzar un 40 %, según lo exponen Liu (2012) y Ferrer et al. (2017) (9, 10).

Asimismo, Parganiha y Pathak (2016), afirman que, para generar electricidad, existe un uso excesivo de los combustibles fósiles tales como el petróleo, el carbón y el gas, los cuales causan la contaminación de la atmósfera y el efecto invernadero (11). Por lo que el aprovechamiento de las energías renovables para este fin ha crecido mundialmente y de manera importante en los últimos años, pues el aumento de los precios de los combustibles convencionales, así como la lucha contra el cambio climático y la búsqueda de nuevas oportunidades de negocio han sido algunos de los factores que han impulsado este crecimiento. Se estima que a finales de 2019 se alcanzó una capacidad instalada para la generación de electricidad a partir de energías renovables —cerca a los 2537 GW a nivel mundial—, destacando la solar como la más abundante en el mundo, además de ser amistosa con el medioambiente (12-14). La energía solar fotovoltaica es fácil de diseñar, es respetuosa con el medio ambiente, de implementación asequible y muy económica en costos de operación y mantenimiento, la solución solar tiene muchas ventajas programáticas y atrae cada vez más a actores humani-

tarios, así como a comunidades de usuarios y donantes (15, 16).

En la actualidad, los sistemas de bombeo solar de agua son una innovación que permite extraer y transportar este preciado líquido a lugares aislados de las líneas de energía eléctrica. La energía solar ha demostrado ser ideal para elevar tanto el agua que se va a beber, así como alzar los tanques de almacenamiento y mantener el saneamiento, el riego y los abrevaderos de los animales siempre llenos. Las bombas solares o de corriente directa han estado presentes desde el año de 1980 y se han expandido alrededor de todo el mundo desde entonces (17, 18). Del mismo modo, las tecnologías que utilizan energía solar para alimentar eléctricamente a las bombas de agua son cada vez más comunes y ofrecen ventajas competitivas sobre los generadores tradicionales de combustible (19). Por ejemplo, los generadores eléctricos de gasolina y diésel usados para bombeo; según Cambio Energético (2016), suelen estar sometidos a condiciones de trabajo bastante duras, por lo que tienen un costo más alto en mantenimientos y reparaciones que los sistemas de bombeo solar (17).

El desarrollo económico de Cuba establece entre sus prioridades el uso eficiente de la energía, para lo cual, se han elaborado programas que consideran el incremento del empleo de fuentes renovables tales como la energía eólica, hidráulica y solar (20). Por lo que, en el país, se han introducido diversas

bombas solares en la agricultura para el abastecimiento de agua de los animales. Su evaluación es una necesidad que permite la toma de decisiones para su posible introducción en el país. El objetivo del presente trabajo fue determinar, a través de un diseño y simulación, el volumen de bombeo diario de agua y la viabilidad económica de un sistema de abastecimiento animal, empleando la Bomba Solar Lorentz PS2-150-C-SJ5-8.

### Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en la Unidad Científico Técnica del IAgriC, en el poblado de Pulido, municipio Alquizar, con coordenadas 22°46' 49,2" de Latitud Norte y los 82° 36' 06,69" de Longitud Oeste.

### Materiales para el trabajo de campo

Referente al equipo de bombeo solar que se seleccionó para realizar el análisis de la relación beneficio-costos, a través del diseño del sistema de abastecimiento de agua para los

ganados bovino, ovino y porcícola, como se muestra en la Figura 1, la bomba Lorentz modelo PS2- 150 C-SJ5-8 —que se muestra más adelante en la Figura 2—, fue la seleccionada y se caracterizó por tener una potencia nominal de 0,30 kW, que alcanza una carga máxima de 20 m.c.a, un caudal máximo de 4,60 m<sup>3</sup>/h y una eficiencia del 92 %. Además de lo anterior, tiene un regulador de voltaje PS2- 150 con 0,30 kW de potencia, alimentado energéticamente por dos paneles solares Sharp de 0,28 kW cada uno, conectados en paralelo.

Según las características del equipo, es un sistema de baja potencia que consta de un generador fotovoltaico, compuesto por dos paneles fotovoltaicos —como se observa en la Figura 1—, marca Sharp, cada uno con un área de 1,66 m<sup>2</sup> (1,66 m largo x 1 m ancho) que fueron interconectados en paralelo para conformar una unidad generadora de corriente continua [cc]; los parámetros técnicos de los mismos se muestran en la Tabla 1.



**Figura 1.** Ganados bovino, ovino y porcino (de izquierda a derecha) en la Unidad Científico Técnica del IAgriC  
Fuente: elaboración propia.

**Tabla 1.** Parámetros técnicos de los paneles solares marca Sharp

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Potencia Máxima [P <sub>máx</sub> ]	W	275
Voltaje de circuito abierto [V <sub>oc</sub> ]	V	38,50
Corriente de cortocircuito [I <sub>sc</sub> ]	A	9,38
Voltaje en el punto de Potencia Máxima [V <sub>mpp</sub> ]	V	31,40
Corriente en el punto de Potencia Máxima [I <sub>mpp</sub> ]	A	8,76

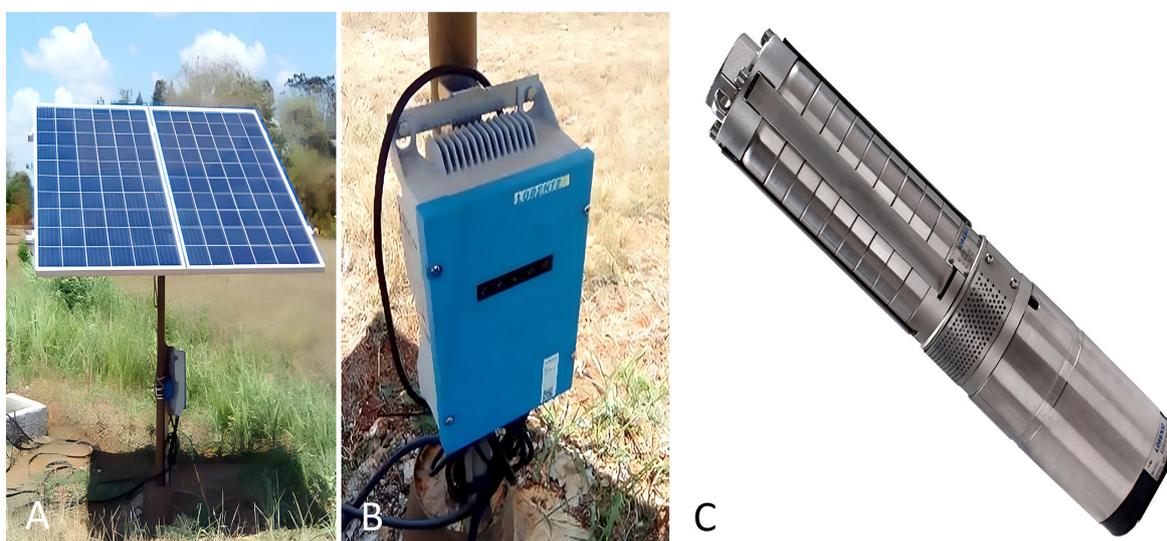
Condiciones estándar de prueba: Irradiación = 1 000 W/m<sup>2</sup>, AM = 1,5 y la T = 25 °C.

Fuente: ENF Solar - Empresas y Productos de la Industria de la Energía Solar (21).

En la Figura 2 se muestran las partes que componen el equipo de bombeo solar de la Bomba Solar Lorentz PS2-150 C-SJ5-8.

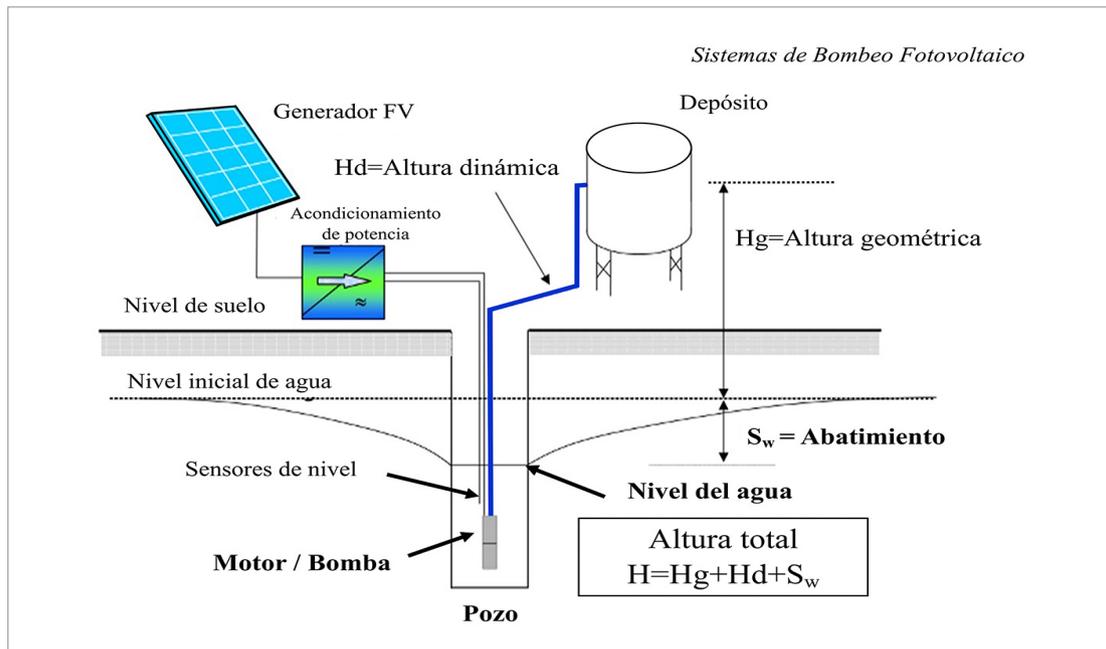
En cuanto a los animales a los que se les va a abastecer de agua a través del sistema de bom-

beo solar, la Estación Experimental de Pulido cuenta con un grupo de animales pertenecientes a los ganados bovino, ovino y porcino, los cuales se abastecieron mediante un esquema de bombeo solar con tanque de reserva, como se muestra en la Figura 3.



**Figura 2.** Equipo de bombeo solar Lorentz modelo PS2- 150 C-SJ5-8

Fuente: Irena (14).

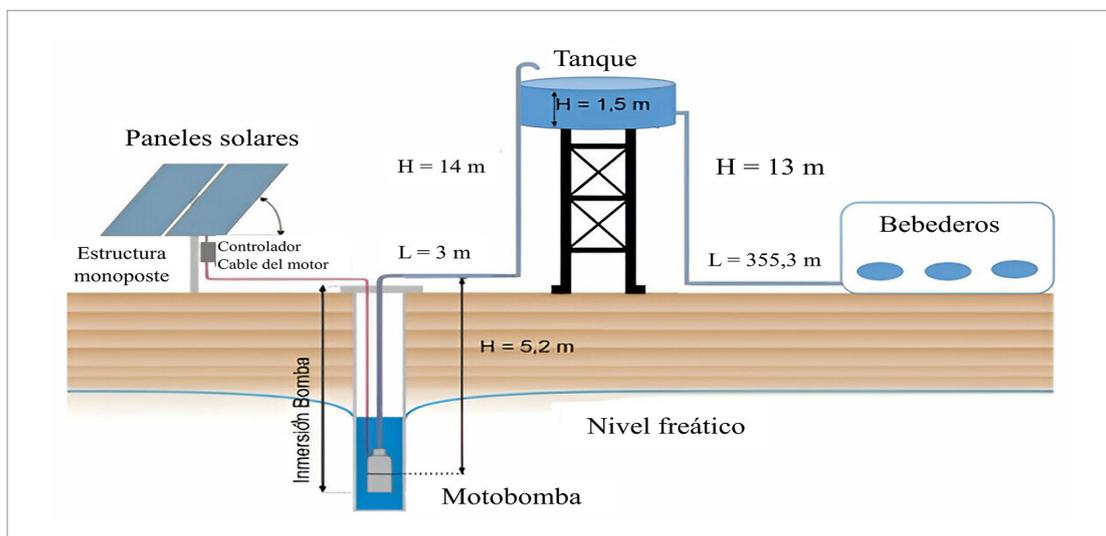


**Figura 3.** Esquema para el equipo de bombeo solar con tanque de reserva  
Fuente: elaboración propia.

**Metodología en el diseño del sistema de abastecimiento animal**

Para diseñar el sistema de abastecimiento de agua animal, primero se planteó el esquema

de diseño del Sistema de Bombeo Solar + Depósitos de Almacenamiento de agua + Aplicación de Abastecimiento Animal, en este se definieron cada uno de los componentes que los forman, como se muestra en la Figura 4.



**Figura 4.** Esquema del equipo de bombeo solar con tanque y bebederos para el ganado  
Fuente: elaboración propia.

Luego de lo anterior, se procedió al cálculo de la altura hidráulica de bombeo del sistema, que se refiere a la presión efectiva que debe vencer la bomba, el cual se realiza a través de la expresión matemática 1 (ver ecuación 1) establecida por Alonso (2010) (22):

$$H_{\text{Total}} = H_g + H_d + S_w \quad (1)$$

Donde  $H_{\text{Total}}$  es la altura total en m;  $H_g$  es la altura geométrica en m;  $H_d$  es la altura dinámica en m;  $S_w$  es el abatimiento en m.

En un sistema de bombeo, la altura geométrica es la altura física a la que debe bombearse el agua para alcanzar los puntos de consumo. La altura geodésica es la distancia vertical entre la bomba y el punto de agua o entre el punto de suministro y la aspiración de la bomba.

La altura estática o geométrica ( $H_g$ ) es la distancia geométrica desde el nivel del agua en el pozo, hasta el punto más elevado que debe bombearse el agua.

### Pérdidas de Cargas

El roce que se produce al interior de las tuberías, producto del paso del agua, se conoce

como pérdidas de carga. Hay que considerar que a mayor velocidad del agua y menor diámetro de tubería es mayor el roce, es decir reduce la energía del agua, la cual es entregada por la bomba.

Para el cálculo de pérdidas de cargas se utilizará la fórmula 2 de Hazen-Williams (ver ecuación 2), debido que es aplicable a diferentes tipos de tuberías:

$$hf = (10,667 / D^{4,871}) (Q / C)^{1,852} * L \quad (2)$$

Dónde Q es el caudal expresado en m<sup>3</sup>/s; D es el diámetro interior de la tubería en m; L es la longitud total de tubería en m; C es la constante que depende del material de la tubería (Tabla 2); hf es la pérdida de carga en metros de columna de agua [m.c.a.]

### Pérdidas Singulares

Las pérdidas singulares totales del sistema es la suma de todas las pérdidas singulares que se encuentran en la línea de la tubería, por ejemplo, codos, válvula, Te, etc. (ver ecuación 3).

**Tabla 2.** Constante para diferentes materiales de tuberías

Material	Constante C	Material	Constante C
PVC	150	Acero nuevo	120
PE	150	Acero usado	110
Fibrocemento140	140	Fundición nueva	100

Fuente: Tecnología y Materiales Sustentables [TMS] | Paneles solares y Bombas Solares (23).

$$h_s = \sum (K / 2g) (4Q / \pi D^2)^2 \quad (3)$$

Donde K es la constante del accesorio (Tabla 3); Q es el caudal expresado en m<sup>3</sup>/s; g en la constante de la gravedad equivalente a 9,81 m/s<sup>2</sup> y D es el Diámetro interior del accesorio expresado en m.

Después de calculada la carga total, se determinó el caudal al que trabaja la bomba solar a partir de la potencia calculada en la evaluación del sistema de bombeo solar.

Método de cálculo del volumen de bombeo de agua diario y la determinación de la cantidad de animales

Para calcular el volumen de bombeo de agua diario ( $V_B$ ) de la bomba solar Lorentz, dado en m<sup>3</sup>/día, se empleó la expresión número 4 (ver ecuación 4), donde Q es el caudal de la bomba para la carga correspondiente, dada en m<sup>3</sup>/h; y el tiempo de bombeo ( $T_B$ ) es de 6 horas diarias. Para determinar la cantidad de animales a los que se les puede suministrar agua con el volumen de bombeo, se utilizó la expresión

número 5 (ver ecuación 5), en la que, según las *Normas de Abasto a la ganadería*, en la Gaceta Oficial de la República de Cuba del año 2020, el consumo de agua diario (NC) para las vacas, los cerdos y los ovinos es de 0,180; 0,015 y 0,006 m<sup>3</sup>/día, respectivamente, y ( $\alpha$ ) es el coeficiente de seguridad de la reserva de agua, que es 1,50 (24).

$$V_B = Q * T_B \quad (4)$$

$$CA = V_B / (NC * \alpha) \quad (5)$$

### Metodología económica

Los indicadores económicos utilizados en las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 (ver ecuaciones 6-9) serán determinados a partir de las relaciones utilizadas por Martínez y Cisneros (2016) (25):

$$UNAI = Bbt - Ct \quad (6)$$

$$UNDI = UNAI * (100 - I) / 100 \quad (7)$$

$$B/C = Bbt / Ct \quad (8)$$

$$TR = Inv. / UNDI \quad (9)$$

**Tabla 3.** Constante K de los accesorios

Accesorios	Constante K	Accesorios	Constante K
Codo 90°	0,90	Válvula Pie	2,50
Te sin reducción	0,60	Curva 180°	2,20
Codo 45°	0,42	Codo cuadrado	1,80
Te con reducción ½	0,90	Contracción d/D-¼	0,42
Codo 90° suave	0,75	Contracción d/D-½	0,32
Curva 90°	0,60	Contracción d/D-¾	0,19

Fuente: Tecnología y Materiales Sustentables [TMS] | Paneles solares y Bombas Solares (23).

Donde UNAI son las Utilidades Netas Antes de Impuesto, expresada en CUP; UNDI son las Utilidades Netas Después de Impuesto, dadas en CUP; Bbt son los Ingresos brutos por venta de productos agrícolas, dados en CUP; Ct son los Costos totales de explotación del bombeo solar para abastecimiento de agua a los animales ( $SBSFV + \text{Abastecimiento animal}$ ), dado en CUP; I es el Impuesto por utilidades (5 %); e Inv. es la Inversión inicial total.

## Resultados y discusión

### Resultados del diseño del sistema del abastecimiento animal

Para el diseño del sistema de abastecimiento de agua animal con la bomba solar Lorentz modelo PS2-150 C-SJ5-8, se tuvo en cuenta las características principales que brinda el fabricante, dentro de las cuales se tiene que, el conjunto del sistema está integrado por dos paneles solares, un controlador, la bomba y los sensores de seguridad. Dicha bomba solar fue diseñada para aplicaciones de abastecimiento de agua potable, abrevaderos o riego; es sumergible, se emplea en pozos de 4", la altura a la que transporta el agua es de hasta 20 m y su caudal máximo es de hasta 4,60 m<sup>3</sup>/h. Ésta se ubicó en la Estación Experimental del IAgric con el objetivo de mejorar las condiciones de abastecimiento de agua animal a partir de la energía solar fotovoltaica, donde se añadieron al diseño tuberías de PE PN4 (40 mm) y PEAD (63 mm), depósitos de agua con su torre de elevación y los bebederos de las

instalaciones agropecuarias de bovinos, porcinos y ovinos y luego, se procedió al cálculo de los elementos del sistema:

Para determinar la potencia a la que debe trabajar la bomba del sistema se consideró la del arreglo Solar Fotovoltaico, que es de 550 Wp, ya que los paneles solares son de 275 Wp y están conectados en paralelo. Además, se tuvo en cuenta que, según Flores y Domínguez (2017), el rendimiento de la instalación solar fotovoltaica para las condiciones de campo es de un 60 %, por lo que la potencia real estimada se aproxima a 300 Wp (0,30 kWp) en su explotación (26).

La altura de bombeo que se seleccionó fue la de 20 m, ya que la bomba tiene que vencer una altura total de 19,40 m.c.a. en tuberías de PE PN4 con 40 mm de diámetro, para llenar los depósitos del sistema de abastecimiento animal.

Una vez calculados la potencia y la altura total de bombeo, se procedió a plotear el valor del gasto dado por el fabricante en la Figura 2, correspondiente a la potencia de 0,30 kW y a la altura de 20 m, resultando 1,90 m<sup>3</sup>/h (0,527 l/s).

### Resultado del cálculo del volumen de bombeo

De este modo, si el horario solar pico promedio de la Estación Experimental del IAgric es de 6 horas, entonces el volumen de bombeo diario, en el que se pueden llenar los depósi-

tos, es de 11,40 m<sup>3</sup>/día. Por tanto, si se tiene en cuenta reservar la tercera parte de éste como medida de seguridad, entonces la capacidad real de abastecimiento de agua para los animales es de 7,60 m<sup>3</sup>/día.

Gracias a la gravedad, el agua que se encuentra en los depósitos desciende con un caudal de 7,20 m<sup>3</sup>/día (2 l/s), a través de una tubería de PEAD, con 63 mm de diámetro, a una altura de 13 m y una longitud de 355,30 m, con solo 5,14 m.c.a. de pérdidas por fricción, restándole 7,86 m.c.a. para la distribución del agua en los bebederos.

#### Resultado de la determinación de la cantidad de animales

En el cálculo de la cantidad de animales a los que se les puede abastecer con 7,60 m<sup>3</sup>/día, se consideraron 4 variantes o grupos de animales, donde el primero es solo vacas de ordeño, el segundo es solo cerdo en etapa de ceba, el tercero solo ovino en etapa de ceba y una cuarta variante que está compuesta por vacas, cerdos y ovinos. En la Tabla 4 se muestran los resultados.

#### Resultados de la evaluación económica del sistema del abastecimiento animal con el bombeo solar fotovoltaico

Para la evaluación económica del sistema de abastecimiento animal con la bomba solar Lorentz modelo PS2-150 C-SJ5-8, se tuvo en cuenta que el pozo de la bomba y las instalaciones agropecuarias ya estaban construidas, por lo que los costos de estas no se tuvieron en cuenta en los costos de inversión inicial del sistema, pues fueron pagadas en años anteriores.

Para obtener los resultados económicos del sistema de bombeo solar, dígame análisis B/C y Tiempo de Recuperación de la inversión [TR], fue necesario conocer el monto total de la inversión inicial del sistema, los Costos de explotación y los ingresos obtenidos a partir de las condiciones de producción ganadera.

En cuanto a la inversión inicial [Inv.] del sistema, fue determinada según las partidas y procedimientos que se encuentran en la Tabla 5.

**Tabla 4.** Resultados de la cantidad de animales que se pueden abastecer con 7,60 m<sup>3</sup>/día

Carga (m)	Volumen de bombeo (m <sup>3</sup> /día)	Cantidad de animales					
		Vacas (Lactantes)	Cerdos (Ceba)	Ovino (Ceba)	Vacas-Cerdos-Ovino (Lactante-Ceba-Ceba)		
20	11,40	42	507	1 267	14	169	422

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.** Partidas y procedimientos para el cálculo de la Inversión inicial total del sistema de abastecimiento de agua a los animales de la Estación Experimental

Partidas	Procedimientos
Inversión del Sistema de bombeo solar Lorentz PS2-150 C-SJ5-8	El precio del equipo fue de 2 019,00 €, se convirtió a USD por la tasa de cambio de la fecha de compra (1,00 € = 1,12 USD) y, asimismo, se convirtió a CUP (1,00 USD = 24 CUP); la inversión inicial del equipo fue de 54 271 CUP.
Inversión en la tubería de agua (desde la bomba hasta los depósitos de agua)	El costo de la tubería de PE PN4 de 40 mm (1,82 USD/m) x la longitud de la tubería (22,20 m) x 24 CUP (equivalente a 1 USD)
Inversión en la tubería de agua (desde los depósitos hasta los bebederos)	El costo de la tubería de PEAD de 63 mm (1,82 USD/m) x la longitud de la tubería (355,30 m) x 24 CUP (equivalente a 1 USD)
Depósitos de agua	Cantidad de depósitos de agua de 2 100 l (5) x Precio de los depósitos (2 800 CUP)*
Torre de los depósitos de agua	Precio total de los depósitos x coeficiente (1,30).
Costos por instalación del sistema de bombeo solar (Inst.)	Se estimó como un 7 % de la inversión inicial (Inv.) dado en CUP.

\*Precios según Juventud Rebelde (2016)

Fuente: elaboración propia.

Para obtener los costos totales de explotación fue necesario determinar cada uno de los costos que lo integran, dígame los costos por mantenimiento y operación del sistema ( $C_{MO}$ ), los costos por depreciación del equipo ( $C_D$ ), los costos de bombeo de agua de bebida para los animales ( $C_B$ ), los costos del pago salarial a los obreros agropecuarios ( $C_S$ ), los cos-

tos de alimentación de los animales ( $C_A$ ), los costos de bombeo de agua para la higienización de los animales y las instalaciones agropecuarias ( $C_H$ ) y los costos para garantizar la sanidad animal y la atención veterinaria ( $C_V$ ). Los costos de explotación fueron determinados en CUP, a partir de las siguientes partidas y procedimientos en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Partidas y procedimientos para el cálculo de los costos de explotación

Partidas	Procedimientos
Costos por mantenimiento y operación del sistema	Se calculó a partir del 5 % del salario del obrero encargado de esta tarea (4 410 CUP) x 12 meses.
Costos por depreciación del sistema de abastecimiento	Valor de los activos (5 127,48 CUP) / tiempo de vida útil del activo (20 años).
Costos de bombeo de agua de bebida para los animales	Las necesidades diarias de agua de los animales (11,40 m <sup>3</sup> /día) x 365 días x la tarifa de bombeo de agua (7 CUP/m <sup>3</sup> ).
Costos del pago salarial a los obreros agropecuarios	Salarios de los obreros (2 660 CUP/mes) x cantidad de obreros agropecuarios x 12 meses.
Costos de alimentación de los animales	Consumo total de alimento de los cerdos hasta el momento del sacrificio, con 90 kg de PV (263,84 kg de pienso*) x cantidad de animales (27 cerdos) x precio del pienso (3 CUP/kg). El pastoreo de los ganados vacuno y ovino es libre en el campo, a dichos campos de pastoreo no se les aplica riego ni fertilización, por lo que su costo es 0.
Costos de bombeo de agua para la higienización de los animales y las instalaciones agropecuarias	Cantidad de agua empleada en limpieza (6 m <sup>3</sup> /día) x 365 días x la tarifa de bombeo de agua (7 CUP/m <sup>3</sup> ).
Costos para garantizar la sanidad animal y la atención veterinaria Cantidad de cabezas de ganado x costo anual estimado de atenciones veterinarias.	
*Según el Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina (IIP, 2015)	

Fuente: elaboración propia.

Los ingresos monetarios de la producción de leche de vaca, carne de cerdo y carne de carnero fueron determinados según las siguientes partidas y procedimientos de la Tabla 7.

**Tabla 7.** Partidas y procedimientos para el cálculo de los ingresos monetarios

Partidas	Procedimientos
Leche de vaca	Cantidad de vacas en producción x producción de leche (6 l/día) x 365 días x precio de la leche (4,50 CUP/L <sub>Leche</sub> ) <sup>1</sup> .
Carne de cerdo	Cerdos con 90 kg de PV para sacrificio x peso de la canal (63 kg) x precio de la carne (22,72 CUP/kg) <sup>2</sup> .
Carne de ovino	Cantidad de ovinos x peso vivo (45 kg) x Porcentaje de la canal (45 %) x precio de la carne (29,54 CUP/kg) <sup>3</sup> .

<sup>1</sup>MFP (2021). <sup>2</sup>Directorio cubano (2021). <sup>3</sup>El Estado como tal (2021).

Fuente: elaboración propia.

Por lo que, según los resultados de la Inversión inicial, los Costos de Explotación y los Ingresos monetarios de la producción, se pueden obtener los valores de UNDI, la relación B-C y el Tiempo de recuperación de la Inversión, los cuales se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Resultados de los indicadores económicos del sistema de abastecimiento animal

Variantes	Inversión (CUP)	Costos Totales (CUP)	Ingresos (CUP)	UNAI (CUP)	UNDI (CUP)	B/C	TR (Años)
Vacas	109 728	145 260	413 910	268 650	255 217	2,85	0,43
Cerdos	109 728	650 427	725 700	75 272	71 509	1,12	1,53
Ovinos	109 728	513 740	757 900	244 160	231 952	1,48	0,47
Vacas-Cerdos-Ovinos 109 728		404 069	632 304	228 234	216 823	1,56	0,51

Fuente: elaboración propia.

Por lo que puede observarse en la Tabla 8, todas las variantes de abastecimiento de agua animal resultaron ser rentables con relaciones de B/C y TR de la inversión diferentes entre sí,

donde se distingue la variante que es solo de abasto a las vacas como la más atractiva y la de abasto a los cerdos como la menos atractiva.

Se recomienda utilizar en la Estación Experimental del IAgriC, la bomba solar Lorentz PS2-150-C-SJ5-8 para el abastecimiento de agua preferentemente al ganado vacuno y a la combinación de vacas, cerdos y ovinos por ser los de mayor relación v/c.

## Conclusiones

En el diseño del sistema de abastecimiento animal la potencia fue de 0,30 kWp; la altura total de bombeo fue de 20 m; y el caudal determinado fue de 1,90 m<sup>3</sup>/h (0,527 l/s). El volumen de bombeo diario fue de 11,40 m<sup>3</sup>/día y la capacidad real de abastecimiento fue de 7,60 m<sup>3</sup>/día.

En el diseño, con el volumen de 11,40·m<sup>3</sup>/día, se puede abastecer en la variante de solo vacas a 42; en la variante de solo cerdos a 507; en la de solo ovino a 1 267; y en la variante de combinación, a 14 vacas, 169 cerdos y 422 ovinos.

En la evaluación económica del sistema de abastecimiento, la variante más atractiva es la de solo a vacas, con una relación v/c de 2,85 y un tiempo de recuperación de 0,43 años. La variante menos atractiva fue la de solo a cerdos, con una relación v/c de 1,12 y un tiempo de recuperación de 1,53 años.

## Referencias

1. Cruz D. Estudio del ahorro mediante bombeo solar, [tesis de maestría, digital]. [Andalucía]: unia; 2011. 78 p. Tesis de maestría Universidad Internacional de Andalucía, España. Disponible en: [https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1807/0126\\_Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1807/0126_Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
2. Mola B, Bonet C, Rodríguez D, Guerrero P, Avilés G, Martínez C. Tecnologías para el uso eficiente de los recursos hídricos en fincas ganaderas. IAgriC. 2021 jul.-sept.;11(3):61-66. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586267422009/html/>
3. Rogério A, Brown O, Mujica A, Mata C, Osorio I. Riego por goteo con energía solar para el tomate en Cavaco, Benguela, Angola. Rev Cie Téc Agr [en línea]. 2015 abr.-jun.;24(2):11-17. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93234170002>
4. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [fao]. World Livestock. Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. Rome: fao; 2018. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca1201en>.
5. Publitec.com [Internet]. Argentina: Ganadería y manejo sustentable del agua [actualizado 2022 ag. 30; citado 2023 en. 8]. Disponible en: <https://www.publitech.com/wp-content/uploads/GANADERIA-Y-MANEJO-SUSTENTABLE.pdf>
6. Pérez D, Vázquez A, Pérez OG, Pérez T, Hernández A. Estudio energético del sistema de bombeo en el Instituto de Ciencia Animal, Cuba. Rev Cie Téc Agr [en línea]. 2016 sep.;25(3):65-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.15663.94886>.
7. Bhattacharyya SC. Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance. Londres: Springer-Verlag. 2011. Disponible en: [https://nibme-hub.com/opac-service/pdf/read/Energy%20Economics%20\\_%20concepts-%20issues-%20markets%20and%20governance.pdf](https://nibme-hub.com/opac-service/pdf/read/Energy%20Economics%20_%20concepts-%20issues-%20markets%20and%20governance.pdf)

8. Ferro G, Lentini E. Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado. Serie Recursos Naturales e Infraestructura. cepal. 2015 en.:(170):7-67. issn 1680-9017. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/69f0e-ffb-45e4-4fbb-8f71-0566b2ccabb8/content>
9. Liu F, Ouedraogo A, Manghee S, Danilenko A. A Primer on Energy Efficiency for Municipal Water and Wastewater Utilities [reporte técnico]. Washington, D.C.: Banco Internacional de Reconstrucción y Desarrollo / Grupo del Banco Mundial, 2012. 62 p. Preparado para el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (esmap). Disponible en: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/256321468331014545/pdf/682800ESMA-POWP0WWU0TR0010120Resized.pdf>
10. Ferrer J, Aguado D, Barat R, Serralta J, Lapuente E. Huella energética en el ciclo integral del agua en la comunidad de Madrid. [Informe final Fundación Canal]. iama. Universitat Politècnica de València, 2017. 6 p.
11. Parganiha A, Pathak R. Implementation of Efficient Energy Consumption on Photovoltaic Cell Using matlab Programming. IRJET. 2016 ag.8;3:770-774. Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V3/i8/IRJET-V3I8140.pdf>
12. REN21. Energías Renovables 2016. Reporte de la situación mundial. REN21. Red de Políticas en Energía Renovable para el siglo 21. 2016. 31 p. Disponible en: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21\\_GSR2016\\_Key-Findings\\_sp\\_05.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GSR2016_Key-Findings_sp_05.pdf)
13. Rodríguez JS, Espinoza E, Rosenbuch J, Ortega HO, Martínez M, Cedano KG, et al. La Industria Solar Fotovoltaica y Fototérmica en México. [Primera Edición]. Ciudad de México: ProMéxico, Cooperación Alemana. 2017. 23-26 p. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La\\_industria\\_solar\\_fv\\_y\\_ft\\_en\\_M\\_xico-compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_M_xico-compressed.pdf)
14. Irena. Renewable capacity statistics. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency [Irena]. 2020. 50 p. Disponible en: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf)
15. Chilundo RJ, Mahanjane US, Neves D. Design and performance of photovoltaic water pumping systems: comprehensive review towards a renewable strategy for Mozambique. JPEE. 2018 jul.;6(7):32-63. DOI: <https://10.4236/jpee.2018.67003>
16. Evain C, Lapègue J. Bombeo Solar. Pautas para el diseño del sistema eléctrico en la instalación de bombas solares. París: ACF-IN. 2020. 37 p. Disponible en: <https://thesolarhub.org/wp-content/uploads/2020/10/2020-ACF-Bombeo-Solar-BD-SP.pdf>
17. Cambio Energético [Internet]. Bombeo solar, ventajas e inconvenientes. 2016 my. 9. Disponible en: <https://www.cambioenergetico.com/blog/bombeo-solar-ventajas/>
18. Soletto V. Gecko Solar. [Internet]. Las ventajas de un sistema de bombeo de agua solar. 2023 dic. 16. Disponible en: <https://geckosolarmexico.mx/bomba-de-agua-sumergible/>
19. Ávila-González E, Ríos-Hernández A, Morejón-Mesa Y, Campos-Cuní B. Evolución histórica de las fuentes energéticas empleadas en el abasto de agua y riego agrícolas. IAgriC, 2021 en.-mzo.;11(1):47-57. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368008/html/>
20. Bonet PC, Abad CA, Guerrero PP, Rodríguez CD, Mola FB, Avilés MG. Propuesta de estrategia energética para abasto de agua en la ganadería. Ing. agríc. (La Habana). 2019 jul.-sept.;9(3):23-28. ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761. Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgriC/article/download/1139/1910/4623>
21. ENF Solar - Empresas y Productos de la Industria de la Energía Solar. Directorio de Paneles / ND-AC275 Sharp Energy Solutions Corporation (sesj). [Online].; 2021 [citado 2021 en. 3]. Disponible en: <https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/42762>.

22. Alonso M, Chenlo F. Sistemas de bombeo fotovoltaico, Máster en Energías y Mercado Energético, Energía Solar Fotovoltaica, Escuela de Organización Industrial, Departamento de Energías renovables, CIEMAT, 2010.
23. Tecnología y Materiales Sustentables [tms] | Paneles solares y Bombas Solares. Bomba solar sumergible Lorentz PS2-150 C-SJ5-8[Online].; 2021 [citado 2021 en. 4]. Disponible en: [https://www.tmsmx.com/bomba-solar-sumergible-lorentz-ps2-150-c-sj5-8/?srsltid=AfmBOopeFOMKx5JjF\\_3qcZ7GkShH5x1FaloG-VVNqQTqe63DPxW04jRZN](https://www.tmsmx.com/bomba-solar-sumergible-lorentz-ps2-150-c-sj5-8/?srsltid=AfmBOopeFOMKx5JjF_3qcZ7GkShH5x1FaloG-VVNqQTqe63DPxW04jRZN).
24. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Cuba. Anexo V. Abasto a la ganadería. Resolución 17/2020 (GOC-2020-557-O61). [Gaceta Oficial de la República de Cuba - Edición Ordinaria]. Ministerio de Justicia (minjus). 2020 ag.20;(61):1978.
25. MartínezVarona R, Cisneros Zayas E. Viabilidad económica del riego localizado en el cultivo del café. Rev Cie Téc Agr, 2016 abr.-jun.;25(2):44-50. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542016000200007&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000200007&lng=es&nrm=iso)
26. Flores-Hernández DA, Luviano-Juárez A, Lozada-Castillo N, Gutiérrez-Frías O, Domínguez C, Antón I. Optimal strategy for the improvement of the overall performance of dual-axis solar tracking systems. Energies, 2021 nov.22;14(22):7795. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14227795>

**Unidad agroambiental El Vergel, campo de aprendizaje para la formación de profesionales en Ciencias Agrarias de la Universidad de Cundinamarca, vereda Mancilla, Facatativá: estudio de caso prepandemia**

**Agro-Environmental Unit El Vergel, Learning Field for the Training of Professionals in Agricultural Sciences at the Universidad de Cundinamarca, vereda Mancilla, Facatativá: Pre-Pandemic Study Case**

Carlos Alberto Calderón-Ricardo<sup>1</sup> , Diego Alexander Hernández-Contreras<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Facatativá, Cundinamarca, Colombia.

\*Autor de correspondencia: calbertocalderon@ucundinamarca.edu.co

**Recibido:** 25/09/2022

**Aceptado:** 18/12/2022

**Publicado:** 30/12/2022

**Cómo citar:**

Calderón-Ricardo, C. A. y Hernández-Contreras, D. A. (2022). Unidad agroambiental El Vergel, campo de aprendizaje para la formación de profesionales en Ciencias Agrarias de la Universidad de Cundinamarca, vereda Mancilla, Facatativá: estudio de caso prepandemia. *Ciencias Agropecuarias*, 8(2), 23-47. <https://doi.org/10.36436/24223484.698>

**Resumen**

Este aporte es una introspección sobre las ventajas académicas de que, una institución de educación superior posea una propiedad rural, y el significado de dicha propiedad como recurso pedagógico para la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Cundinamarca [UCundinamarca], sede Facatativá. En este artículo se presenta el análisis de un estudio de caso bajo las funciones sustantivas de la institución: Formación y Aprendizaje; Ciencia, Tecnología e Innovación [CTel]; e Interacción Social Universitaria [ISU]. La inauguración de la Unidad Agroambiental [UAA] El Vergel se realizó en 2019 y permitió a los estudiantes tener un espacio

idóneo para sus prácticas académicas, dado a que en esta finca se han desarrollado un total de 146 Proyectos Integradores Semestrales [PIS], bajo la tutoría de los docentes.

**Palabras clave:** agroecosistemas, agronomía, comunidad académica, desarrollo sostenible, proyecto de investigación.

## Abstract

This contribution is an Introspection on the Academic Advantage of having a Rural Property, and its Meaning as Pedagogic Resource for the Agronomic Engineering Program, at Universidad de Cundinamarca [UCundinamarca], Facatativá. In this Paper we present a Case Study and its analysis, at the Light of the Institutional Substantive Functions: Training and Learning, Science, Technology and Innovation, and University Social Interaction. The opening of the Agro-Environmental Unit El Vergel in 2019, Allowed the Students to have an Ideal Place to Develop their Academic Practices, and Around 146 Biannual Integrative Projects [PIS], have been executed, Under Professors' Guidelines.

**Keywords:** Academic Community, Agroecosystems, Agronomy, Research Project, Sustainable Development.

## Introducción

La Universidad de Cundinamarca [UCundinamarca] es una entidad pública que tiene como propósito formar profesionales con capacidades académicas, científicas y humanas, formados en los aspectos fundamentales del conocimiento posmoderno y coherentes con el contexto socioeconómico nacional y global. En este sentido, las funciones sustantivas de esta institución se enmarcan en tres pilares: la Formación y el Aprendizaje; la CTEI; y la ISU.

Ahora bien, el Modelo Educativo Digital Transmoderno [Medit], de la Universidad de

Cundinamarca, plantea que la formación es un proceso mejorado que se logra en un campo de aprendizaje Multidimensional (1, 2) y traza la necesidad de comprender, particularmente, el proceso de aprendizaje en las Ciencias Agropecuarias, más allá del aula de clase, conformando procesos de interacción, acción y transformación (3).

De modo que, para el año de 2018, la universidad adquirió la UAA El Vergel, que fue inaugurado en febrero de 2019. Ubicado en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá, este espacio se enmarca en los procesos de mejoramiento y potencialización de la calidad

en las prácticas académicas de los programas de pregrado y posgrado de la universidad, ofertados en la Extensión Facatativá. La institución pretende fortalecer el proceso de aprendizaje fuera de las aulas, en un espacio práctico que articule la Formación y el Aprendizaje; la ctei; y la isu. Mediante el Acuerdo 000009 del 07 de mayo de 2019 (4), se creó el Centro de Estudios Agroambientales de la Universidad de Cundinamarca “Agroucundinamarca”, que se define como:

un campo de aprendizaje que funciona como centro de práctica, creación y apropiación del conocimiento, en el que integra las dimensiones económicas, social, cultural, ambientales y técnico productivo, a través de la Ciencia, la Innovación, la Formación y el Aprendizaje, y la Interacción Universitaria, para contribuir con el avance de la investigación formal, aplicada y formativa y el mejoramiento de la calidad de vida de la región (4).

El Centro de Estudios Agroambientales se compone de Unidades Agroambientales [UAA], entendidas como espacios físicos ubicados en tres municipios de Cundinamarca: La Esperanza, en el municipio de Fusagasugá; El Tibar en Ubaté; y El Vergel en Facatativá (4), su funcionamiento y reglamentación se rige por la Resolución 000003, del 10 de julio de 2019, la cual pretende apoyar la ejecución de los ejes misionales institucionales en las UAA (4) y fortalecer el modelo educativo institucional desde la participación activa de la comunidad académica en las regiones (2).

Es así como desde la inauguración de la UAA El Vergel se han desarrollado múltiples ejercicios

prácticos en los frentes misionales. Respecto a la Formación y el Aprendizaje, los docentes y estudiantes de los programas de Ingeniería Agronómica y Ambiental desarrollan, en las instalaciones adquiridas, la estrategia pedagógica denominada Proyecto Integrador Semestral [PIS], en la que los estudiantes diseñan una pregunta de investigación que se desarrolla en términos prácticos con el uso de organismos modelo que, por lo general, son especies vegetales de ciclo corto, como las hortalizas y algunos cultivos perennes. En cuanto al eje de ctei, este se ha enfocado hacia la formulación y ejecución de proyectos de investigación que se llevan a cabo desde la participación de los profesores en convocatorias de financiación internas o externas, así como iniciativas propias desarrolladas por semilleros de investigación. Otras actividades incluyen la realización de pasantías en aspectos técnico-administrativos de la UAA.

Por otra parte, el eje de isu tiene como propósito acercar la institución a las comunidades, desde el diálogo y la transferencia de conocimiento (2), factores importantes para el desarrollo del programa de Ingeniería Agronómica, pues se han ejecutado proyectos como *Territorio, paz y vida como estrategia de Ecoaprendizaje*, que tuvo como objetivo vincular a la comunidad del municipio de Facatativá con la academia, mediante la socialización de herramientas metodológicas que permitieran a las nuevas generaciones enfrentar los desafíos del siglo XXI —como el posconflicto colombiano o el cambio climático— con herramientas

de sostenibilidad y protección del entorno natural. Algunas de las actividades desarrolladas incluyeron talleres de recolección de semillas, siembras de árboles nativos, agrónomo por un día, entre otras. Sin embargo, hasta el momento no se ha realizado un análisis descriptivo inicial sobre cuál ha sido el impacto de la UAA en las actividades del programa de Ingeniería Agronómica, es por ello que, el objetivo de este trabajo fue describir los procesos misionales que el programa de Ingeniería Agronómica desarrolló en la UAA El Vergel, en el período pre-pandémico [2019-2020] como estrategia pedagógica clave para la formación de nuevos profesionales en el área de las Ciencias Agrarias.

## Metodología

### Área de trabajo y datos descriptivos

El abordaje metodológico del presente trabajo se realizó mediante un estudio de caso de tipo descriptivo, desarrollado en la UAA El Vergel. Los datos e información descriptiva se obtuvieron de fuentes académicas e institucionales, en un periodo de descripción de dos años. Los datos descriptivos que determinaron las áreas de infraestructura y las medidas de las parcelas productivas fueron tomadas por los autores en el campo, mediante el decámetro [50 m] y la cartografía se construyó con Google Earth [Figuras 1 y 2].

La recopilación sistemática de información sobre las actividades desarrolladas en la UAA El Vergel, por parte de los estudiantes y docen-



**Figura 1. Infraestructura:** A. Salones de clase. B. Bodega y almacén. **Distribución Parcelas UAA:** Parcela (1). 1246 m<sup>2</sup>. (2). 1202 m<sup>2</sup>. (3). 1074 m<sup>2</sup>. (4). 865 m<sup>2</sup>. (5). 618 m<sup>2</sup>. (6). 414 m<sup>2</sup>. (7). 495 m<sup>2</sup>. (8). 619 m<sup>2</sup>. (9). 358 m<sup>2</sup>. (10). 1100 m<sup>2</sup>. (11). 1010 m<sup>2</sup>. (12). 1050 m<sup>2</sup> y (13). 1015 m<sup>2</sup>

Nota. Fotografía tomada con drone, cortesía de Robledo D, [2021]

Fuente: elaboración propia.

tes, durante los períodos académicos del primer y segundo semestre de 2019 y el primer semestre de 2020 [pre-pandemia] se estructuró con base a lo realizado en los siguientes campos de aprendizaje [materias]: Introduc-



**Figura 2.** Estudiantes realizan trazados y aplicación de herbicida en los lotes, bajo la capacitación que les ofrece el técnico agrícola de la UAA, Libardo Cabrera Garzón

Fuente: elaboración propia.

ción a los Sistemas de Producción Agrícola [ISPA]; Fisiología vegetal; Fisiología de cultivos y semillas; Propagación y producción de viveros, y Nutrición vegetal. Lo anterior, se realizó para determinar qué labores implementaron los estudiantes en las parcelas asignadas para el componente práctico en los campos de aprendizaje.

### Proyecto Integrador Semestral [PIS]

Se elaboró una matriz de datos en Excel con la información contenida en los títulos de los PIS realizados por los estudiantes, que contaron con la asesoría de los docentes de cada campo de aprendizaje. Esta información se obtuvo de las guías de presentación de PIS, elaboradas por en 2019 por Padilla y García (5), y en 2020 por García (6, 7). En este análisis se tuvieron en cuenta tres períodos semestrales: primer Período Académico de 2019 [IPA-2019], segundo Período Académico de 2019 [IIPA-2019] y el primer Período Académico de

2020 [IPA-2020]. Los resultados se presentan mediante estadística descriptiva.

Se identificaron 47 palabras clave de los títulos para obtener los siguientes datos de los cultivos sembrados en la UAA El Vergel, en cada uno de los períodos académicos: 1. Número de PIS desarrollados. 2. Especies vegetales cultivadas. 3. Tipo de cultivos sembrados según las categorías identificadas de cultivos —aromáticas, follaje, frutales, granos, hongos, hortalizas, nativas, ornamentales y tubérculos—.

Se realizó un análisis independiente para los PIS de sexto semestre, toda vez que la metodología abordada por los docentes de los campos de aprendizaje de dicho semestre se enfocó en reconocer problemáticas socioeconómicas de agroecosistemas diferentes a los establecidos en El Vergel, es decir, aquellos PIS que fueron ejecutados en diferentes veredas del municipio de Facatativá y de Cundinamarca.

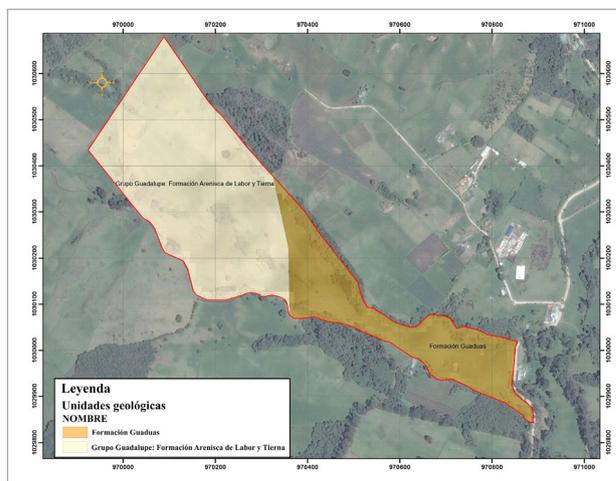
## Resultados y discusión

### Caracterización de la UAA El Vergel

La vereda Mancilla se ubica al costado norte del municipio de Facatativá y colinda al oriente con las veredas: Cuatro Esquinas y Prado; al occidente con San Rafael y La Selva y; al sur, con el casco urbano (8). Cuenta aproximadamente con 2464.07 hectáreas [ha] de extensión, donde se ubica la cuenca de la quebrada homónima de esta vereda (8).

La vereda se caracteriza por tener un relieve quebrado, con una altitud entre los 2600 a 3000 m s. n. m., temperatura media del 12°C y una humedad del 80 % (9, 10). La vegetación presente se encuentra entre bosque natural primario y de sucesión secundaria (10), además se caracteriza por contar con áreas de producción agropecuaria intensivas y semi-intensivas con sistemas de producción ganadero, agrícola intensivo y tradicional, entre otros (9). La UAA El Vergel es un predio que cuenta con una extensión de 20 ha, ubicado en la vereda Mancilla, a una distancia de aproximadamente 6 km del campus de la Universidad de Cundinamarca Extensión Facatativá (8). La estructura geológica en el paisaje de la finca se compone de unidades lito-estratigráficas de los períodos cretácico superior y cuaternario, con una topografía irregular a lo largo del predio (10). Además, se ha reportado que este predio presenta dos tipos de unidades geológicas: “Formación Guaduas y grupo Guadalupe” (10, p. 26), caracterizada

por la formación de arenisca tierna y de labor [Figura 3].



**Figura 3.** Unidades geológicas UAA El Vergel. Facatativá, Cundinamarca

Fuente: Acosta (10).

Según el Plan de Ordenamiento Territorial [POT] (8) de la Secretaría de Urbanismo del municipio de Facatativá, el suelo de la UAA El Vergel está clasificado como rural, con dos tipos de suelo: por un lado, el suelo de tipo 6b —un suelo de uso agropecuario tradicional, con actividades agropecuarias convencionales— y, por otra parte, un suelo dirigido hacia actividades forestales protectoras y productoras —cercas vivas y barreras rompevientos, así como sistemas agrosilvopastoriles—. Además, la Secretaría ha establecido que el 20 % del área como mínimo, debe dedicarse para uso forestal productor-protector (8, 10).

En términos administrativos, la UAA El Vergel se divide en dos unidades [Figura 4]. La unidad A contiene 14 ha y se encuentra en arriendo a un tercero —habitante de la vereda

y se dedica a la producción ganadera extensiva de doble propósito a pequeña escala—. Esta unidad presenta un sistema de pastoreo tecnificado con uso de suplemento alimenticio que depende el ciclo y la edad de los animales, y la rotación de potreros en función de la demanda animal. El sistema de producción es de tipo “agrícola familiar”, según lo expuesto por Calderón-Ricardo (9).



**Figura 4.** División Administrativa de la UAA El Vergel

Fuente: Composición integrada por fotografías de dron, por Robledo, DA y fotografía traspuesta de Google maps (11).

La unidad B, está compuesto por 6 ha destinadas a los procesos de Formación y Aprendizaje y de ctei, de los programas de pregrado de la UCundinamarca Extensión Facatativá. Su función es generar un campo de aprendizaje que garantice los procesos misionales y la formación de profesionales al servicio de la comunidad que, para el caso puntual de la Ingeniería Agronómica, se espera generar un acercamiento de la academia con los pobladores rurales y a los sistemas de producción que en ellos se generan.

La UAA cuenta con dos espacios construidos: el primero, tiene un área de 150 m<sup>2</sup> aprox. y se utiliza como bodega de herramientas e insumos agropecuarios; el segundo espacio es de 230 m<sup>2</sup> aproximadamente y equivale a una casa con dos plantas, adecuada para oficinas y aulas de clase. Además, cuenta con espacio de parqueadero y áreas de pradera para la recreación. Según los reportes de visitantes a la UAA, en el primer semestre del 2019 hubo una asistencia de 1403 visitantes y para el segundo semestre del mismo año, la cifra fue cercana a 1800 visitantes entre los que se cuentan estudiantes, profesores y administrativos.

#### ***Distribución de lotes agrícolas pedagógicos***

En el espacio a campo abierto, los estudiantes de primero a noveno semestre, del programa de Ingeniería Agronómica, cuentan con zonas delimitadas en las que, guiados por los docentes, desarrollan ejercicios prácticos de clase enmarcados en el pis. Con el inicio de cada período semestral el comité técnico de la UAA El Vergel establece la distribución y dimensiones de los lotes asignados para cada núcleo temático [Figura 1], lo cual permite organizar las labores a realizar semanalmente.

#### ***Labores de adecuación de la unidad B***

En promedio, cada grupo recibe, por semestre, un área de 800 m<sup>2</sup> aproximadamente. La primera labor asignada para cada grupo fue el control de la cobertura vegetal para una posterior mecanización. El control fue efectuado



**Figura 5. Mecanización del suelo**

Fuente: elaboración propia.

con el uso de herbicida de amplio espectro, en una dosis de 50 gr por cada 20 litros de agua. En cada lote fue aplicado en promedio 100 litros de solución con bomba de espalda en horas de la mañana, siguiendo los protocolos de bioseguridad [Figura 2].

La actividad seguida al trazado y al control de la cobertura vegetal fue la mecanización. Esta labor se llevó a cabo mediante el contrato de un tercero, el cual empleó un tractor con tres implementos: rotovator, cincel vibratorio y surcadora [Figura 5].

Los implementos fueron utilizados en el orden mencionado con el propósito de adecuar los lotes para la siembra de las especies vegetales

dispuestas en cada campo de aprendizaje. El levantamiento de camas, siembra y establecimiento de ejercicios de clase estuvo a cargo de equipos compuestos por los estudiantes y docentes asignados a cada parcela [Figura 6].

#### **Formación y Aprendizaje [Casos]**

##### **Caso 1. Fisiología vegetal, Fisiología de cultivos y Semillas, propagación y producción de viveros y Nutrición vegetal**

El contexto de cambio climático global, con lluvias irregulares, episodios extremos de sequía y disminución continua de los recursos hídricos (12) proyecta necesario reconocer y manejar los factores que pueden afectar o



**Figura 6. Adecuación del suelo y siembra de plantas**

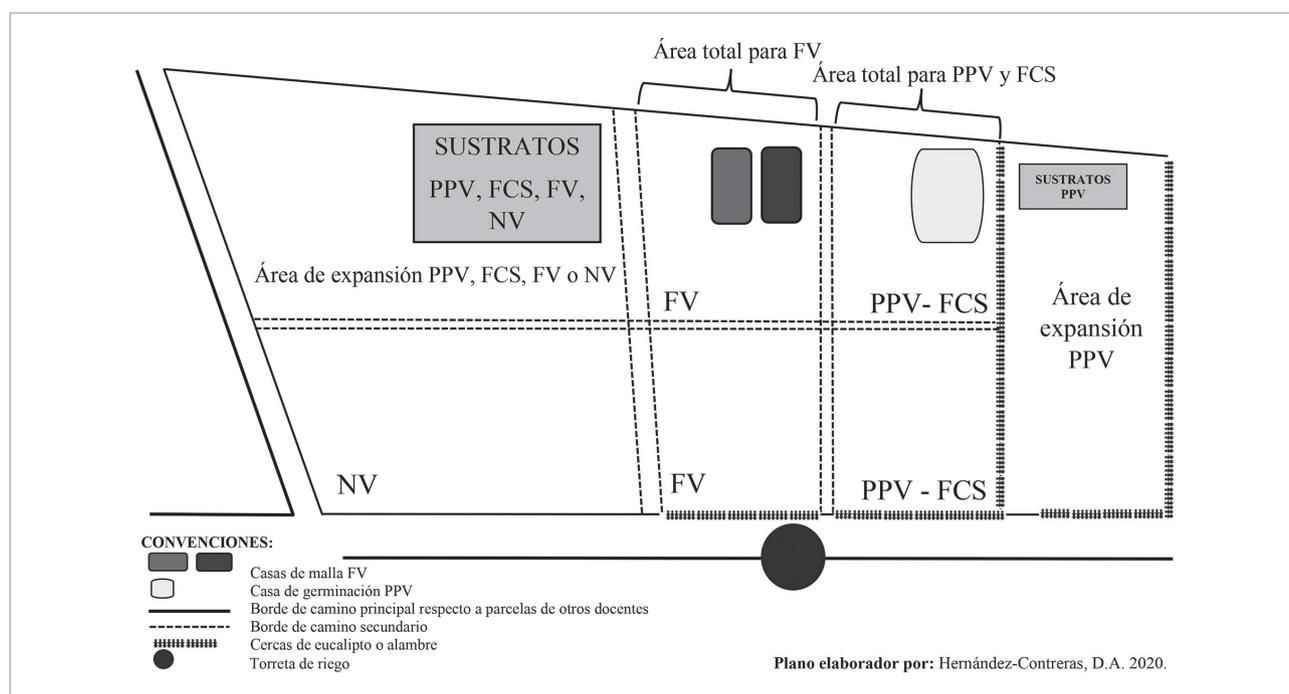
Fuente: elaboración propia.

potenciar la morfo-fisiología de las plantas en condiciones de estrés hídrico (13), lumínico (14) y con acumulación de  $\text{CO}_2$  (12). De este modo, la línea de contenidos disciplinares para la formación de ingenieros agrónomos de la UCundinamarca, proyecta como fundamental el entendimiento del funcionamiento y fenología de las plantas para la generación de capacidades técnico-científicas en el manejo de agroecosistemas.

En este sentido, los sistemas agrícolas de hoy requieren un mayor control de las condiciones de estrés que afectan los rasgos agronómicos de las plantas —incluyendo la simulación de factores abióticos que inciden en su capacidad fotosintética, la fijación de carbono y el de nitrógeno atmosférico (15)—, factores que

son determinantes en la productividad de los cultivos (13, 16). Por lo anterior, es que la UAA El Vergel es un laboratorio agroambiental idóneo para que los estudiantes puedan simular y experimentar con condicionantes bióticos y abióticos las diferentes respuestas fisiológicas de las plantas.

A continuación, se presentan la distribución de los campos de aprendizaje en el lote 5, el cual tiene un área total de 5618 mts<sup>2</sup> [Figura 7] y se encuentra físicamente delimitado en las áreas de trabajo para cada curso. Esta distribución del suelo se presenta a los estudiantes al inicio del semestre, lo que ha resultado en una óptima organización de los espacios de trabajo, así como en armonía y respeto entre ellos.



**Figura 7.** Plano de lote 5 en UAA El Vergel. Cursos orientados: NV=Nutrición Vegetal; FV=Fisiología Vegetal; FCS=Fisiología de Cultivos y Semillas; PPV=Producción y Propagación de Viveros

Fuente: elaboración propia.

Una de las actividades desarrolladas en el lote 5 fue la construcción de la casa de germinación —realizada durante los períodos IPA-2019 e IIPA-2019—. Esta casa se construyó con el fin de tener un lugar apropiado para el almacenaje y propagación de plántulas —ornamentales, nativas y hortalizas—, ya que cuando la UAA inició operaciones no se tenían espacios de este tipo y algunas plántulas se almacenaban al aire libre [Figura 8A.] o en el almacén de herramientas. Se elaboraron soportes para germinadores cónicos con el fin de realizar prácticas de germinación de semillas forestales [Figura 8F.].

En el campo de aprendizaje de Fisiología vegetal se llevaron a cabo otras labores como

la construcción de dos casas de polisombra, con poros de malla al 50 % y al 80 %, para realizar experimentos de control de factores abióticos y fenología de las plantas [Figura 9].

Este tipo de experimentos, de respuesta de las plantas a la luz, son necesarios para que los ingenieros agrónomos en formación comprendan cómo la tasa fotosintética, la asimilación de la luz y la clorofila pueden modificar las funciones reguladoras, el crecimiento, la productividad y la adaptación vía plasticidad fenotípica de las plantas como respuesta al cambio climático (15, 17).

También se inició la construcción de una torre de riego con soportes de guadua, como una



**Figura 8.** *Actividades de construcción de espacios de trabajo en campos de aprendizaje de Propagación y Producción de Viveros y Fisiología de Cultivos y Semillas. A. Disposición de material vegetal al aire libre. B-F. Interior de casa de germinación con plántulas a propagar y germinadores cónicos —caja azul con soportes en madera—*

Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Construcción de dos casas de malla en el lote 5, por los estudiantes del campo de aprendizaje de Fisiología vegetal

Fuente: elaboración propia.

contribución al futuro sistema de riego que se instalará en la UAA El Vergel [Figura 10].

En los campos de aprendizaje o cursos orientados se realizan labores de siembra en los lotes asignados, aplicando en este proceso las etapas del método científico, según las hipótesis que plantean para los PIS [Figura 11].

Los PIS se han ejecutado en conjunto con las asignaturas y según el semestre en el que se encuentren los estudiantes, entre estas se encuentran: Bioestadística, Diseño expe-

rimental, Topografía, Hidráulica, Riegos y drenajes, Biología molecular, Microbiología, entre otras.

### **Caso 2. Introducción a los Sistemas de Producción Agrícola [ISPA]**

El núcleo de ISPA se encontraba —y se sigue encontrando— en el primer semestre del pensum académico y su objetivo consistía en presentar una visión del funcionamiento de los sistemas de producción agrícola a nivel local, regional y nacional.



**Figura 10.** Inicio de construcción de torreta de riego de los estudiantes de Fisiología de Cultivos y semillas en el período IIPA-2019

Fuente: elaboración propia.



**Figura 11.** Labores de adecuación de camas, siembra y monitoreo agronómico de diferentes especies vegetales, por parte de los estudiantes

Fuente: elaboración propia.

Los temas tratados dentro del núcleo transitaban desde aspectos generales como manejos agronómicos de cultivos; la definición de la Ingeniería Agronómica y su importancia en el abastecimiento de alimentos; la historia de la agricultura, los problemas ambientales de la producción agropecuaria, la comercialización y la distribución de la producción, entre otros.

Para los estudiantes que integraron el IPA del 2019, en la clase de ISPA, el PIS representó el primer espacio de aproximación a la producción agrícola y al abordaje científico de la experimentación.

### **Campos de Aprendizaje Integrados en el PIS**

Expuesto lo anterior, al grupo ISPA le correspondió la mitad de la parcela número 1, con aproximadamente un área de 600 m<sup>2</sup> [Figura 12] y se establecieron 6 grupos de trabajo, con el objetivo de comparar dos métodos de fertilización —química y orgánica— y un tratamiento testigo, sin fertilización.

La primera labor asignada a todo el grupo fue el control de la cobertura vegetal y disponer el terreno para labores de adecuación mecánica. Se efectuó una aplicación del herbicida sistémico de amplio espectro, con una dosis



**Figura 12.** Efectos de aplicación de herbicida en pradera de kikuyo [*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.]

Fuente: elaboración propia.



**Figura 13.** Parcela mecanizada ISPA

Fuente: elaboración propia.

de 50 gramos en cada 20 litros de agua. Los efectos de la aplicación se evidenciaron una semana después, la pastura inició con el amarillamiento del follaje y posterior secamiento del área foliar [Figura 12].

Posterior al control de la pradera, se procedió a mecanizar la parcela. La mecanización tuvo como propósito triturar e incorporar los residuos de material vegetal [Figura 13], por lo que se utilizó un rotovator —como implemento del tractor— para obtener un suelo en condiciones óptimas y susceptible a preparación y levantamiento de camas.

Cada grupo estuvo conformado por tres integrantes a quienes les fue asignado un espacio

de terreno de 4 m de ancho por 14 m de largo. Luego de la mecanización, la labor consistió en retirar los restos de raíces de mayor tamaño y disponerlos fuera de la parcela. Seguido de esto, se delimitaron las camas con el uso de cuerda y estacas de madera. Finalmente, en este espacio, los estudiantes levantaron tres camas de 1 metro de ancho por 14 metros de largo y espacios entre camas [caminos] de 20 centímetros [Figura 14].

Sumado a lo anterior, se llevó a cabo el establecimiento de los tratamientos y la siembra de las especies vegetales. En este caso, el material vegetal se obtuvo de propagadoras de la zona en estado de plántulas; todos los



**Figura 14.** Limpieza y levantamiento posterior a la mecanización de camas ISPA

Fuente: elaboración propia.

grupos sembraron plantas hortalizas, de las especies: Brócoli [*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck], Espinaca [*Spinacia oleracea* L.], Lechuga Crespa [*Lactuca sativa* var. *crispa* L.], Lechuga Morada [*Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam], Apio [*Apium graveolens* L.] y Coliflor [*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.].

En cada cama fueron sembradas un número de plántulas según la especie y se comparó el desarrollo del grupo de plantas en función al tipo de fertilizantes: Tratamiento 1 [T1]: aplicación de 3 Kg de fertilizantes, químico triple [15-15-15] por cama. T2: aplicación de 3 Kg de fertilizante orgánico [Biofort] y, T0: tratamiento testigo sin ninguna aplicación. Semanalmente, los estudiantes de cada grupo tomaron los datos de dos tipos de muestreos, teniendo en cuenta las siguientes variables: altura de la planta, número de hojas –muestreos no destructivos– y peso de la planta –muestreos destructivos– [Figura 15].

### Descripción general de PIS IPA-IIPA-2019 e IPA-2020

Los estudiantes del programa de Ingeniería Agronómica, entre los periodos IPA-2019, IIPA-

2019 e IPA-2020, realizaron en la UAA El Vergel un total de 146 proyectos tipo PIS, bajo la tutoría de los docentes a cargo de cada núcleo temático [Tabla 1].

**Tabla 1.** Relación por período académico y por cada semestre de los PIS desarrollados por los estudiantes del programa de Ingeniería Agronómica Extensión Facatativá en 2019 y 2020

Relación de PIS por período académico				
Semestre	IPA-2019	IIPA-2019	IPA-2020	Total PIS por semestre
I	10	4	8	22
II	12	14	9	35
III	11	10	6	27
IV	7	0	12	19
V	7	7	9	23
VI	9	5	6	20
TOTAL	56	40	50	146

Fuente: elaboración propia.

Se evidenció que, el período académico con un mayor número de proyectos fue el IPA-2019 y el período con menor número de proyectos fue el IIPA-2019, lo cual se explica porque los estudiantes de cuarto semestre no lograron consolidar un PIS, pues las condiciones de sequía en la vereda Mancilla, entre los



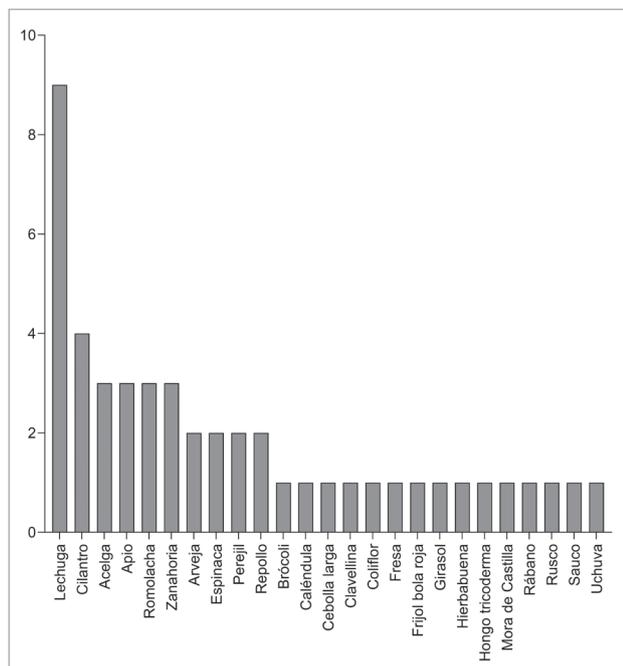
**Figura 15.** Muestreos en plántulas de variables seleccionadas en camas ISPA

Fuente: elaboración propia.

meses de agosto a septiembre de 2019, afectaron significativamente la fisiología y morfología de los cultivos establecidos durante dicho período de tiempo.

**Especies vegetales cultivadas en la UAA El Verge [Períodos IPA e IIPA-2019] por estudiantes de la V semestre**

Se determinó que, en la UAA, en el período IPA-2019, del total de 56 PIS realizados por los estudiantes, 47 realizaron labores de siembra en dicha unidad [Figura 16].



**Figura 16.** Número de proyectos que sembraron diferentes especies vegetales en la UAA durante el período IPA-2019

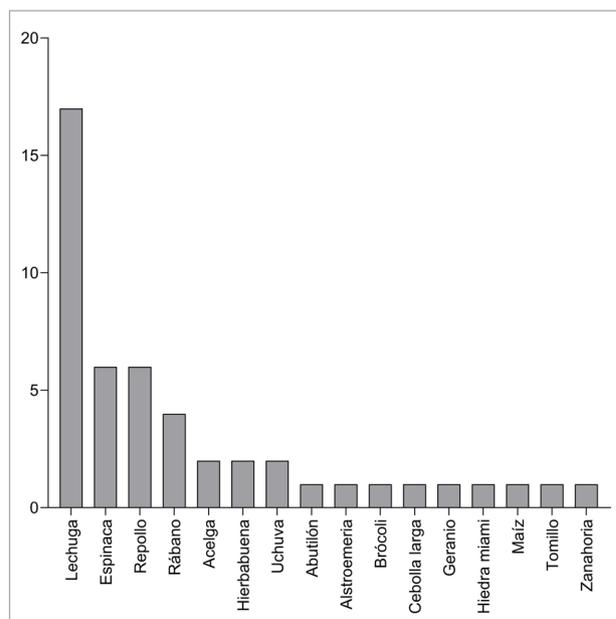
Nota. En total se contabilizaron 48 especies sembradas, porque en dos proyectos se cultivaron dos especies diferentes.

Fuente: elaboración propia.

En este listado no se contabilizó un proyecto enfocado en la identificación de microorganismos presentes en el agua utilizada para el riego de los cultivos de la UAA, pues en este no

se realizaron labores de siembra. Del total de PIS, en 9 se sembró alguna variedad de lechuga; en 4 cilantro; en 12 proyectos se sembraron zanahoria, acelga, remolacha o apio. 8 proyectos se centraron en la siembra de arveja, espinaca, repollo o perejil y otro grupo, de 15 proyectos, sembró diferentes tipos de cultivos de plantas aromáticas, frutales, hongos, hortalizas, nativas y ornamentales.

En el segundo semestre de 2019 se realizaron 40 PIS, pero en este caso varios de los proyectos no manejaron necesariamente una sola especie vegetal, sino que se centraron en comparar los efectos de diferentes tratamientos, en un mayor número de especies por proyecto, por esta razón se contabilizaron 46 especies vegetales sembradas en la UAA durante el IIPA 2019 [Figura 17].



**Figura 17.** Número de proyectos que sembraron diferentes especies vegetales en la UAA durante el período IIPA-2019

Nota. En total se contabilizaron 46 especies sembradas. Fuente: elaboración propia.

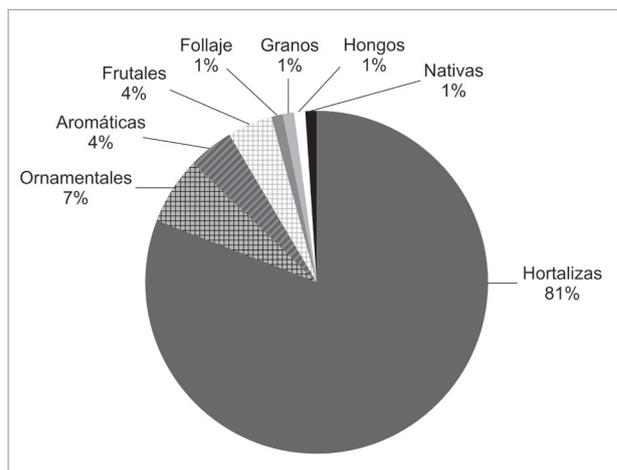
Durante el IIPA 2019, en 17 proyectos la siembra de lechuga predominó como la principal elección de los estudiantes. La espinaca y el repollo se sembraron en 6 proyectos cada una; el rábano en 4 proyectos; y la acelga, la hierbabuena y la uchuva en 2 proyectos cada una estas. Por último, hortalizas como el brócoli, la cebolla larga y la zanahoria, los granos como el maíz y las plantas ornamentales como el abutilón, geranio, hiedra miami y alstroemeria se sembraron en un proyecto cada una.

#### **Tipo de cultivos sembrados en la UAA El Vergel [Períodos IPA e IIPA-2019] por estudiantes de I a V semestre**

Se encontró que los procesos pedagógicos que requieren la siembra de plantas en la UAA están asociados en su mayoría a la siembra de hortalizas, con un 81 % de los proyectos enfocados a la siembra, mantenimiento las labores culturales y la evaluación de los diferentes tratamientos que aprenden los estudiantes en cada campo de aprendizaje [Figura 18].

En segundo lugar, están las plantas ornamentales con un 7 % de siembra, en tercer y cuarto lugar se encuentra la siembra de especies frutales y aromáticas, con un 4 %. Por último, las especies nativas y aquellas usadas para follaje y granos, representan el 1 % de los PIS.

Cultivos y temáticas evaluados por estudiantes de VI semestre en PIS [períodos IPA-2019, IIPA-2019, IPA-2020] en diferentes municipios de Cundinamarca



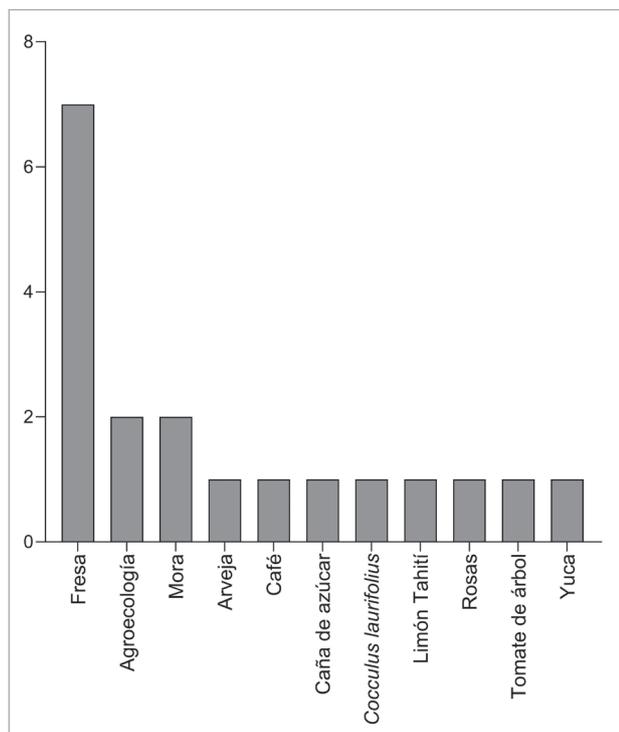
**Figura 18.** Relación de tipos de cultivos sembrados por los estudiantes en la UAA El Vergel entre IPA-2019 e IIPA-2019

Fuente: elaboración propia.

En los tres períodos académicos analizados, los estudiantes de sexto semestre han desarrollado un total de 20 proyectos tipo PIS, realizando visitas técnicas a diferentes sistemas productivos de Cundinamarca. Se identificó que la fresa es el cultivo que mayor interés ha despertado en la elaboración de los PIS, con 7 proyectos en total [Figura 19]. En una segunda escala se encuentran 2 proyectos que sembraron mora y 2 proyectos específicos en agroecología desarrollados en diferentes agroecosistemas de los municipios de Albán y Guaduas. Los demás proyectos se han desarrollado en cultivos de arveja, café, caña de azúcar, *Cocculus laurifolius* DC., limón Tahití, rosas, tomate de árbol y yuca, al menos en una ocasión [Figura 19].

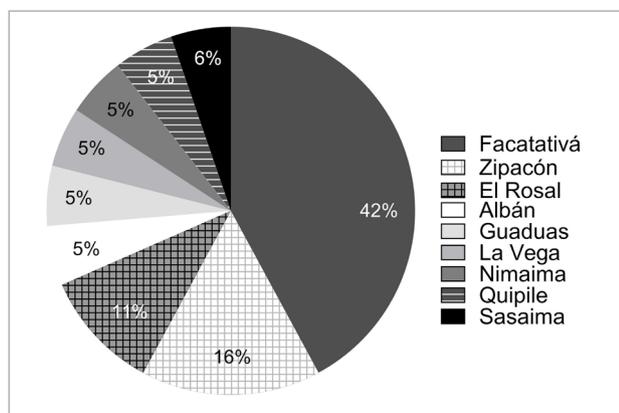
Respecto a los municipios impactados por las iniciativas de PIS, se observa que los estudiantes han visitado diferentes sistemas pro-

ductivos en 9 municipios del departamento de Cundinamarca, durante los períodos IPA-2019, IIPA-2019 e IPA-2020 [Figura 20].



**Figura 19.** Cultivos que visitaron los estudiantes de sexto semestre durante IPA, IIPA 2019 e IPA 2020 para desarrollar sus PIS

FUENTE: elaboración propia.



**Figura 20.** Porcentaje de pis ejecutados por los estudiantes de VI semestre en visitas técnicas que realizan a diferentes sistemas productivos de municipios en Cundinamarca

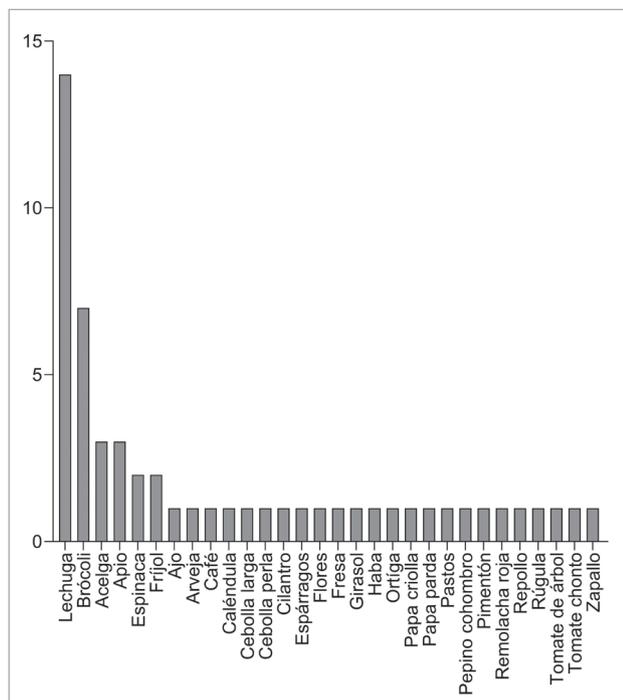
Fuente: elaboración propia.

Lo anterior, denota que los estudiantes no sólo se interesan por los sistemas productivos que puedan encontrar con mayor facilidad en Facatativá, sino que intentan conocer las dinámicas de producción de cultivos ubicados en otros municipios con diferentes pisos térmicos. No obstante, es evidente que la mayoría de PIS se ha desarrollado en Facatativá, con un 42 % del total de proyectos desarrollados, seguido de Zipacón, con 16 %, y en tercer lugar, se encuentra El Rosal, con 11 %. Estos tres municipios ofrecen a los estudiantes la cercanía necesaria con el campus universitario, que facilita la movilidad y el acceso a los sistemas productivos de regiones no tan alejadas de Facatativá. Por último, se encuentran los municipios de Sasaima, con un 6 %, y un grupo conformado por los municipios de Albán, Nimaima, La Vega, Quipile y Guaduas, con un 5 % del total de proyectos para cada municipio.

**PIS de Período IPA-2020, en tiempos de pandemia**

El primer período académico de 2020 generó la necesidad de adaptarse a las restricciones de la pandemia global de COVID-19. En las primeras semanas del semestre se logró la siembra de plantas que se utilizarían para los PIS, no obstante, con la declaración de la cuarentena nacional fue necesario abordar este ejercicio pedagógico desde una estrategia teórica, en donde los estudiantes integraron los diferentes campos de aprendizaje de sus PIS, pero abordaron las temáticas de cada proyecto por

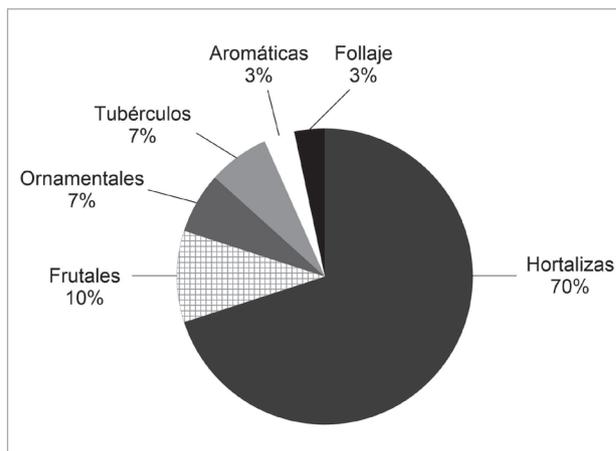
medio de la escritura de artículo tipo *Review*. Se contabilizó un total de 50 PIS realizados en este período académico [Figura 21].



**Figura 21.** Número de especies empleadas para la revisión bibliográfica de los PIS teóricos elaborados por los estudiantes en el IPA-2020

Fuente: elaboración propia.

Para este ejercicio, los estudiantes seleccionaron las hortalizas en un 70 % como tema de investigación en sus proyectos y en menor proporción, eligieron otros tipos de cultivos [Figura 22].



**Figura 22.** Porcentaje de proyectos tipo *Review* y enfoque por tipo de cultivo desarrollados en el IPA-2020

Fuente: elaboración propia.

## Interacción social universitaria [Casos]

### Caso 1. Taller de recolección de semillas nativas

El taller de recolección de semillas nativas es una iniciativa pedagógica que nació en el comité de docentes de interacción universitaria y que tiene como propósito, al igual que el PIS, generar un puente que conecte los contenidos de algunos campos de aprendizaje en un ejercicio práctico que permita el reconocimiento de la UAA El Vergel.

El abordaje metodológico parte desde la observación y desde los ejercicios prácticos de los tres campos de aprendizaje: Agroecología; Propagación y producción de viveros; y Diseño experimental, el abordaje metodológico consta de cinco momentos que se describen a continuación: el primer momento consiste en la recolección de semillas nativas, junto con la

toma de fotografías de las plantas que habitan en un trayecto de bosque ubicado al costado norte de la UAA y que recorre la quebrada presente en la finca. En el segundo momento se hace la identificación botánica de las semillas, mediante el uso de claves taxonómicas. En el tercer momento los estudiantes de Agroecología entregan las semillas identificadas a los estudiantes de Propagación y producción de viveros para que estos realicen la germinación y propagación vegetal. En el cuarto momento los estudiantes de Diseño experimental recolectan los datos de las especies de plantas propagadas para analizar variables de crecimiento. En el quinto momento los estudiantes y docentes de todos los campos de aprendizaje involucrados participan en jornadas de reforestación con las plantas producidas en escuelas rurales de las veredas Mancilla y San Rafael de Facatativá [Figura 23].

En esta oportunidad se sembraron 208 árboles de especies nativas como *Sambucus* sp. L. [Sauco], *Eugenia* sp. L., *Nacadero trichanthera gigantea* [Bonpl.], Nees [Nacadero] y se estableció un bosque de frutales con 14 plantas

de las siguientes especies: *Physalis peruviana* L. [Uchuva], *Solanum betaceum* Cav. [Tomate de árbol], *Rubus ulmifolius* Schott [Zarzamora], *Solanum quitoense* Lam. [Lulo], y *Vasconcellea pubescens* A. DC. [Papayuela].

## Caso 2. Revegetalización de especies nativas

En febrero de 2020 el programa de Ingeniería Agronómica se unió a una iniciativa de reforestación y recuperación ecológica de la parte alta de la UAA El Vergel, iniciativa liderada por el programa de Ingeniería Ambiental, en colaboración con el Batallón de infantería N° 38 y la Escuela de Carabineros de Facatativá. Esta iniciativa se ajusta a los objetivos que desarrolla el comité de interacción social con el proyecto *Territorio, paz y vida como estrategia de Ecoaprendizaje* que impulsa jornadas continuas de revegetalización con especies nativas en diferentes veredas del municipio de Facatativá. En esta ocasión, los estudiantes y docentes de la Universidad de Cundinamarca, así como los habitantes de la vereda Mancilla y personal militar, sembraron 500 árboles de diferentes especies nativas como *Sambucus*



**Figura 23.** Actividades de recolección y siembra de semillas desarrolladas por el comité de interacción social

Fuente: elaboración propia.

sp. y *Nacadero trichanthera gigantea*, con el fin de aportar a la recuperación ambiental de la UAA El Vergel en su componente ecológico [Figura 24].

### **Perspectivas de desarrollo de la UAA El Vergel**

Los casos presentados, de las actividades desarrolladas durante dos períodos académicos de 2019 y uno de 2020, muestran la importancia que representa para los programas de pre y posgrado de la Universidad de Cundinamarca —y en general en otras universidades de Colombia— contar con espacios experimentales, como la UAA El Vergel. La implementación de este tipo de espacios académicos ha demostrado ser un modelo pedagógico exitoso en otras instituciones de Colombia que ofertan el programa de Ingeniería Agronómica y afines, como el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira [CEUNP], en donde se han dedicado las 17 hectáreas de extensión para generar investigación y producción agropecuaria, así como programas de fitomejora-

miento y asesorías a los técnicos, profesionales y productores agrícolas y pecuarios que lo requieran (18, 19). Otro ejemplo es la granja experimental Villamarina de la Universidad de Pamplona [Pamplonita, Norte de Santander], enfocada a la producción pecuaria, la conservación de ecosistemas de bosque andino y de recreación (20). Otras instituciones como la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [Boyacá], la Universidad de Nariño [Nariño], la Universidad Francisco de Paula Santander [Norte de Santander] y la Granja Experimental Tinguavita de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC], también implementan en sus granjas experimentales procesos de producción, investigación e innovación (21-23). Estos ejemplos en gestión de unidades agroambientales pueden orientar la proyección del modelo de desarrollo sostenible, a largo plazo, que se pretende implementar en la UAA El Vergel y generar un espacio de mayor interacción entre la comunidad universitaria y los habitantes del área rural del municipio de Facatativá.



**Figura 24.** Actividades de reforestación en la UAA El Vergel

Nota. Evento desarrollado en conjunto por los programas de la Extensión Facatativá, Ingeniería Agronómica y Ambiental y en colaboración con el Ejército Nacional.

Fuente: elaboración propia.

Este modelo tiene dentro de sus particularidades la ejecución de PIS en los diferentes lotes de la UAA. Los resultados descriptivos de los PIS mostraron que la mayoría de los proyectos se han desarrollado con hortalizas y la lechuga es la especie vegetal que más se ha cultivado hasta el momento; sin dejar de lado especies como el cilantro, brócoli y algunas plantas aromáticas, ornamentales o de interés forestal que también son reconocidas y evaluadas durante la ejecución de los PIS. Lo anterior, denota la predilección de estudiantes y docentes por seleccionar plantas de ciclos de vida corto en sus PIS, las cuales ofrecen ventajas de producción como organismos modelo, debido a su facilidad de siembra, ciclos de producción cortos y mayor posibilidad de comercialización, características que permiten realizar experimentos en la UAA con diferentes tratamientos bióticos y abióticos, enfocados al aprendizaje de los estudiantes en proyectos pedagógicos y de investigación.

Los requerimientos de luz de la lechuga oscilan entre 300 y 400  $\mu\text{mol. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , con fotoperíodo de 14 a 15 horas (24), condiciones de acceso a la luz que pueden garantizarse en El Vergel para esta y otros tipos de hortalizas. Estas condiciones de germinación y producción, junto al alto contenido de fibra que tiene la lechuga y

otras hortalizas (25, 26), las proyectan como plantas ideales para implementar estrategias pedagógicas de corto plazo en granjas o huertos experimentales con vocación institucional (27-29). Lo anterior, es un aspecto importante para considerar en el desarrollo de la UAA El Vergel, pues el establecimiento de cultivos de ciclo corto en este espacio académico y la posterior rotación de cultivos que se está implementando luego de cada ciclo productivo, ha permitido potenciar en los estudiantes su capacidad de interacción y resolución de problemas con diferentes sistemas de cultivo. No obstante, el comité técnico de la UAA El Vergel pretende que a mediano y largo plazo se mejoren las condiciones de los sistemas de riego en la UAA para lograr establecer cultivos permanentes y de ciclo de vida largo —por ejemplo, se estima sembrar tomate de árbol, fresa, yacón y algunas variedades nativas de frijol y papas, entre otras— para generar procesos de investigación, afines a las necesidades productivas de la región Sabana de Occidente.

El programa de Ingeniería Agronómica tiene la expectativa de aportar, desde la investigación en Ciencias Agropecuarias y afines, a la implementación de procesos que lleven al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS] de las Naciones Unidas, en especial, lo que compete al objetivo 12, enfocado en la producción y consumo responsable y el objetivo 15, que gestiona la vida de los ecosistemas terrestres para detener la pérdida de la biodiversidad (30), tanto en la

vereda Mancilla como en otros municipios de Cundinamarca. Sin embargo, esta importante labor social y académica debe considerar algunos retos locales que pueden incidir en el avance de estas metas, como los conflictos socio-económicos por el uso de la tierra, especialmente, el aumento de la frontera agrícola y la sobreutilización de recursos naturales en algunos sectores de la cuenca alta del río Botello (31), junto a la calidad y cantidad del recurso hídrico y la disponibilidad del caudal ecológico que aporta la quebrada de Mancilla al sector veredal y urbano de Facatativá (32). Además, otro problema relevante a contemplar es que en la vereda Mancilla se viene presentando el fenómeno de algunos jóvenes que muestran desinterés en continuar asociados a las labores del campo como opción laboral en su territorio (33), lo cual indica que la dinámica y efectividad de las iniciativas comunitarias pueden limitarse en su repercusión por la falta aparente de relevo generacional.

En este sentido, las actividades enfocadas a la sostenibilidad ambiental, como las jornadas de revegetalización, realizadas en la UAA El Vergel, pueden impulsar una mayor colaboración entre la Universidad de Cundinamarca y los habitantes de la vereda Mancilla para reforestar otras zonas de la vereda que tienen baja cobertura arbórea e impactar positivamente en los proyectos de vida de las nuevas generaciones. Algunas iniciativas en otros sectores de Facatativá, como en la vereda Cuatro esquinas, han planteado que las áreas

consideradas para implementar procesos de reforestación, no sólo deben contemplar el aspecto técnico de las especies nativas a re-introducir en el ecosistema, sino el tipo de suelos, la disponibilidad del recurso hídrico y a el largo plazo, la apropiación de estos aspectos por parte de las comunidades de la zona (34), lo que requiere implementar un trabajo de educación agro-ambiental importante entre los actores para lograr el éxito y sostenibilidad del proceso. En este orden de ideas, ha sido clave la apertura a la comunidad desde el programa de Ingeniería Agronómica, mediante estrategias comunicativas que socializan este conocimiento adquirido en los proyectos de investigación, como por ejemplo, la organización de talleres, seminarios, y foros translocales que, en conjunto con el uso de las redes sociales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca, han permitido ampliar el espectro y la eficacia en la divulgación de este conocimiento, lo que posiciona al programa como un actor clave que promueve el diálogo de saberes con el sector rural en la región.

## Conclusiones

Los Proyectos Integradores de Semestre [pis] son una herramienta pedagógica fundamental, que potencia las capacidades técnico-científicas de los ingenieros agrónomos en formación y se encontró que, en cada período académico, las hortalizas conforman el principal modelo experimental que eligen profesores y estudiantes para realizar sus proyectos de aula.

Las actividades de Formación y Aprendizaje, Ciencia, Tecnología e Innovación [cte] e Interacción Social Universitaria [isu], que el programa de Ingeniería Agronómica realiza en la UAA El Vergel proyectan a este espacio académico de la Universidad de Cundinamarca como un eje dinamizador de los procesos de transferencia de conocimiento y tecnología que se espera, logren impactar positivamente en el desarrollo agropecuario sostenible de la vereda Mancilla y el municipio de Facatativá.

### Agradecimientos

A los estudiantes, docentes y personal administrativo del programa de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Cundinamarca —especialmente, a Libardo Cabrera y Sara Sánchez—, Extensión Facatativá, que han participado activamente en el desarrollo de la UAA El Vergel. A Liliana García y a Pedro Padilla, por la generación de las guías de programación sobre los Proyectos Integradores de Semestre [pis] que realizan los estudiantes. A Daniel Robledo, por el aporte de la fotografía tomada con dron para la composición de la Figura 1.

### Conflicto de intereses

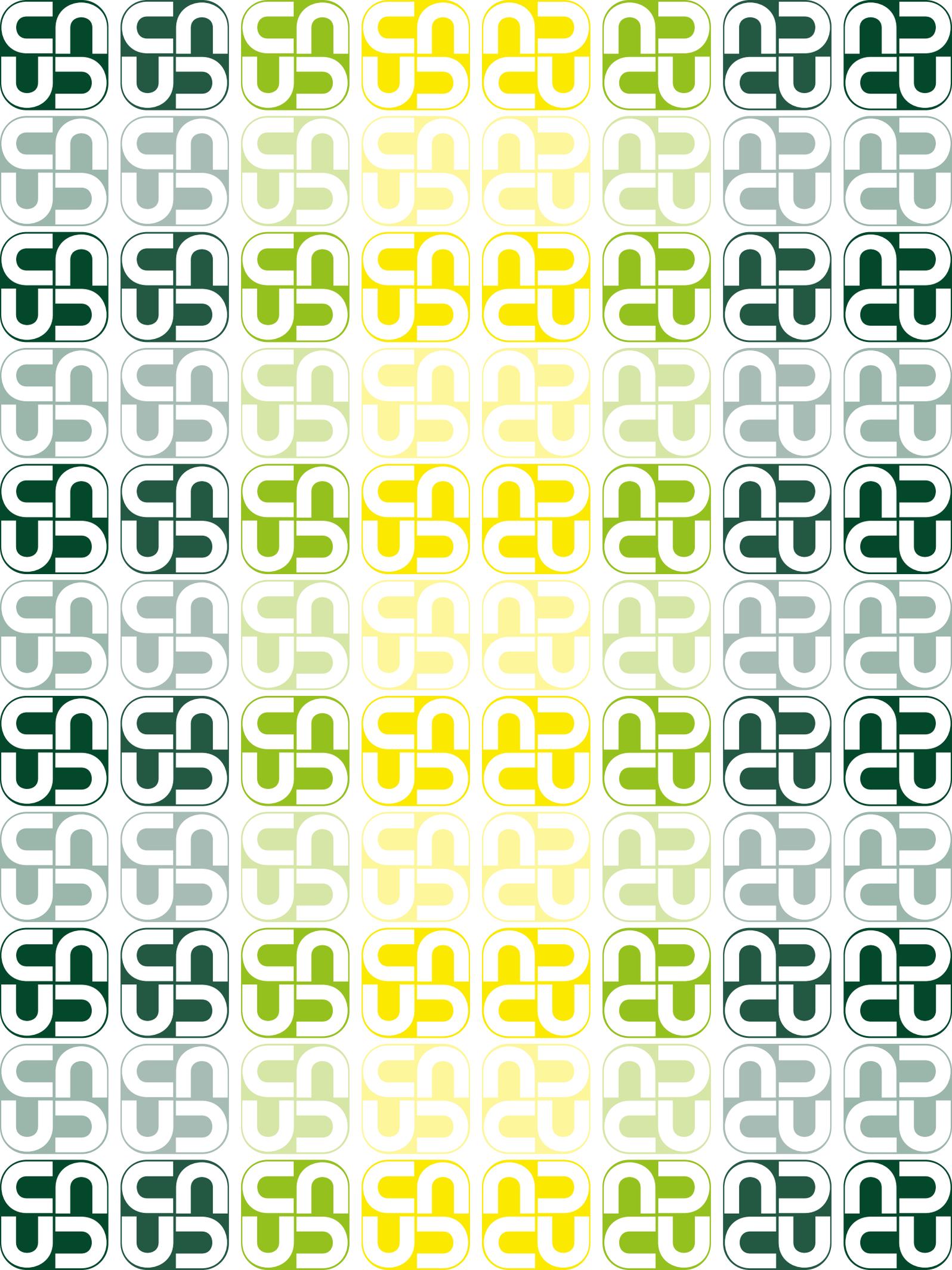
Los autores declaramos no estar inmersos en conflicto de intereses alguno que impidan el tratamiento imparcial de la información aquí reportada.

### Referencias

1. Stiglitz J, Greenwald B. La creación de una sociedad del aprendizaje. Una nueva aproximación al crecimiento, el desarrollo y el progreso social. Libros LE de los, editor. Madrid, España; 2015.
2. Muñoz A. Educación para la vida, los valores democráticos, la civilidad y la libertad. Rev. Pen. Udecino; 2019 febr.;3(1):11–8. Disponible en: <https://www.ucundinamarca.edu.co/documents/varios/2019/medit-1.pdf>
3. Moreno V. Modelo Educativo Digital Transmoderno [Medit]: Una mirada desde la formación para la vida en la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Rev. Ciencias Agropec.; 2019 jun.;5(2): 5–8. DOI: <https://doi.org/10.36436/24223484.303>
4. Universidad de Cundinamarca. Acuerdo No. 000009 [Internet]. Consejo Académico. Soacha, Cundinamarca. 2019 p.1–3. Disponible en: <https://www.ucundinamarca.edu.co/documents/normatividad/acuerdos-academico/2019/009.pdf>
5. Padilla P, García J. Guía presentación de PIS-IPA 2019. Facatativá, Cundinamarca, Colombia: Programa de Ingeniería Agronómica; 2019 p. 1–11.
6. García J. Guía presentación de PIS-IPA 2019. Facatativá, Cundinamarca, Colombia: Programa de Ingeniería Agronómica; 2019 p. 1–9.
7. García J. Guía de presentación de PIS-IPA 2020. Facatativá, Cundinamarca, Colombia: Programa de Ingeniería Agronómica; 2020 p. 1–11.
8. Alcaldía Cívica de Facatativá. Plan de ordenamiento territorial Facatativá 2001-2021. Oficina Asesora de Planeación Municipal. Facatativá, Cundinamarca, Colombia; 2002 p. 159–399.
9. Calderón-Ricardo C. Conflicto ambiental por la distribución y uso del agua en la microcuenca de la quebrada cerro negro durante el periodo comprendido entre los años 1950 al 2016. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. Colombia; 2017.

10. Acosta O. Análisis del conflicto ambiental generado por el uso del suelo, zonificación de tierras y usos propuestos para la UAA El Vergel con la comunidad educativa. Facatativá. Universidad de Cundinamarca, Facatativá, Colombia; 2019.
11. Google maps. [Internet]. Facatativá: Mapa satelital del Centro Agroambiental El Vergel. [citado 2002 jul. 9]. Disponible en: [https://www.google.com/maps/place/CENTRO+AGROAMBIENTAL+EL+VERGEL/@4.8678312,-74.3431298,856m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x8e3f7dd-4294ca287:0xd621011097137b90:8m2!3d4.86719!4d-74.3414423!16s%2Fg%2F11j5vv-7b\\_s?hl=es&entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI0MTEyNC4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/place/CENTRO+AGROAMBIENTAL+EL+VERGEL/@4.8678312,-74.3431298,856m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x8e3f7dd-4294ca287:0xd621011097137b90:8m2!3d4.86719!4d-74.3414423!16s%2Fg%2F11j5vv-7b_s?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTEyNC4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)
12. Farooq M, Hussain M, Ul-Allah S, Siddique K. Physiological and Agronomic Approaches for Improving Water-Use Efficiency in Crop Plants. *Agricultural Water Management*; 2019 jun.;219: 95–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.010>
13. Nemeskéri E, Helyes L. Physiological Responses of Selected Vegetable Crop Species to Water Stress. *Agronomy*; 2019 jul.;9(8): 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9080447>
14. Carón M, De Frenne P, Verheyen K, Quinteros A, Ortega-Baes P. Germination responses to light of four Neotropical Forest tree species along an elevational gradient in the southern Central Andes. *Ecological Research*; 2020 abr.;35(3): 550–8. DOI: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12112>
15. Yang B, Tang J, Yu Z, Khare T, Srivastav A, Dattir S, et al. Light Stress Responses and Prospects for Engineering Light Stress Tolerance in Crop Plants. *Journal of Plant Growth Regulation*; 2019 mzo.;38(4): 1489–506. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00344-019-09951-8>
16. Singh B, Sanwal S, Rai M, Rai A. Source of Biotic Stress Resistance in Vegetable Crops: A Review. *Vegetable Science*; 2009 en.;36(2): 133–46. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/274067004\\_SOURCES\\_OF\\_BIOTIC\\_STRESS\\_RESISTANCE\\_IN\\_VEGETABLE\\_CROPS\\_A\\_REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/274067004_SOURCES_OF_BIOTIC_STRESS_RESISTANCE_IN_VEGETABLE_CROPS_A_REVIEW)
17. Stotz G, Salgado-Luarte C, Escobedo V, Valladares F, Gianoli E. Global Trends in Phenotypic Plasticity of Plants. *Ecology Letters*; 2021 oct.;24(10): 2267–81. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13827>
18. Roveiro J, Aragón M, Llanos Y, Madero E. Cartografía ultradetallada de suelos y evaluación de tierras del Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia (CEUNP) Sede Palmira. *Acta Agronómica*; 1997 en.;47(1): 23–34. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta-agronomica/article/view/48226>
19. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Centro Experimental Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (CEUNP) [Internet]. 2020 [citado 2020 jul. 12]. Disponible en: <https://www.palmira.unal.edu.co/index.php/lasede/recursos>
20. Universidad de Pamplona. Granja experimental Villamarina [Internet]. 2020 [citado 2020 jul. 12]. Disponible en: [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_7/recursos/2018/08102018/nuestra\\_sede.jsp](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_7/recursos/2018/08102018/nuestra_sede.jsp)
21. Universidad de Nariño. Fondo de Granjas [Internet]. 2020 [citado 2020 ag. 3]. Disponible en: <https://www.udenar.edu.co/dependencias/vice-rectoria-academica/granjas/botana/>
22. Universidad Francisco de Paula Santander. Granja Experimental UFPSo [Internet]. 2020 [citado 2020 ag. 3]. Disponible en: <https://ufpso.edu.co/granja/Presentacion>
23. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Granja Experimental Tinguavita [Internet]. 2021 [citado 2020 ag. 3]. Disponible en: [https://www.uptc.edu.co/export/sites/default/vie/extension/doc/port\\_servicios\\_granja\\_T.pdf](https://www.uptc.edu.co/export/sites/default/vie/extension/doc/port_servicios_granja_T.pdf)
24. Park M, Lee Y. Effects of CO2 concentration, light intensity and nutrient level on growth of leaf

- lettuce in a plant factory. *Acta Horti*; 2001 548: 377-383. DOI: <https://doi.org/10.17660/Acta-Hortic.2001.548.43>
25. Park JE, Park YG, Jeong BR, Hwang SJ. Growth and Anthocyanin Content of Lettuce as Affected by Artificial Light Source and Photoperiod in a Closed-type Plant Production System [Internet]. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. Korean Society of Horticultural Science; 2012 dic.;31(1): 673-9. DOI: <https://doi.org/10.7235/hort.2012.12020>
  26. Kim M, Moon Y, Tou J, Mou B, Waterland N. Nutritional Value, Bioactive Compounds and Health Benefits of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*; 2016 jun.;49: 19-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>
  27. Bermudez C, Otálora J, Vásquez V. Huerto pedagógico comunitario: un aporte para el fortalecimiento de la educación ambiental en la institución educativa La Buitrera, Cali, Colombia. Vol. 21. Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Administración Ambiental; 2020.
  28. Rodríguez R. Las granjas integrales autosuficientes como escenario de prácticas pedagógicas en Instituciones educativas en Colombia [Tesis en Especialización en Gestión de Proyectos; Internet]. [Bogotá]: Universidad Nacional Abierta y a Distancia [UNAD]; 2017. Disponible en: <https://www.oreilly.com/library/view/designing-data-intensive-applications/9781491903063/%0Ahttp://shop.oreilly.com/product/0636920032175.do%0Ahttps://www.packtpub.com/web-development/getting-started-webrtc%0Ahttps://www.oreilly.com/library/view/getting-s>
  29. Saavedra G, Corradini F, Antúnez B, Felmer S, Estay P, Sepúlveda P. Manual de producción de Lechuga. Boletín INIA. Santiago de Chile, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA]; 2017. 1-149 p.
  30. Organización de las Naciones Unidas. Objetivos y metas de desarrollo sostenible [Internet]. 2020 [citado 2020 jul. 12]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
  31. Figueroa E. Evaluación del estado de los conflictos del uso de la tierra en la cuenca alta del río Botello del municipio de Facatativá. [Bogotá, Colombia]: Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Civil; 2015. p. 1-54.
  32. Hernández-Caballero A, Silva-Herrera Á. Formulación de estrategias para la gestión de la microcuenca quebrada Mancilla a partir del cálculo del balance hídrico y el caudal ecológico en Facatativá, Cundinamarca. [Trabajo de grado Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ingeniería Ambiental; Internet]. [Facatativá, Cundinamarca]: Universidad de Cundinamarca; 2019. p. 1-105.
  33. Fiorillo G, Guzmán P, Vivas J, Castro M. Propuesta de alianza académico-humanista de ingeniería con el sector social. Caso de éxito: mejoramiento de vida y desarrollo sostenible en la vereda La Mancilla Facatativá. En: Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI [EIEI ACOFI]. Cartagena de Indias, Colombia; 2022. p. 1-13.
  34. Rivera A. Propuesta de reforestación como alternativa para la conservación de áreas de interés estratégico en la vereda Cuatro Esquinas del municipio de Facatativá, Cundinamarca. [Trabajo de grado Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Ambiental]. [Bogotá]: Universidad El Bosque; 2019. p. 1-57.



# Estrategias para reducir las emisiones de metano entérico en rumiantes

## Strategies to reduce enteric methane emissions in ruminants

Diego Felipe Portela<sup>1</sup> , Daniel Cervantes Gomez<sup>1</sup> , José Carlos Escobar-España<sup>2</sup> ,  
Paulino Sánchez-Santillán<sup>3</sup> , Karym Roberto Curzaynz<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Núcleos y aditivos de los Altos S.A de C.V., Departamento de asesoría nutricional, <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV, de la Universidad Autónoma de Chiapas, <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, <sup>4</sup>Instituto Tecnológico de Tlajomulco.

\*Autor de correspondencia: nnewpre2@gmail.com

Recibido: 09/10/2022 Aceptado: 23/11/2022 Publicado: 30/12/2022

### Cómo citar este artículo:

Portela, D., Cervantes, D., Escobar-España, J., Sánchez-Santillán, P., y Curzaynz, K. (2022). Estrategias para reducir las emisiones de metano entérico en rumiantes. *Ciencias Agropecuarias*, 8(2): 49-61. <https://doi.org/10.36436/24223484.656>

## Resumen

La simbiosis entre bacterias, hongos, protozoarios y arqueobacterias metanogénicas, mantiene un flujo constante del hidrógeno en el rumen para producir metano y ácidos grasos de cadena corta como parte de la degradación y fermentación del alimento. Como estrategia para reducir las emisiones entéricas de metano, se utilizan compuestos químicos —algunos extraídos de plantas— mismas que se utilizan en partes o en su totalidad y que se incluyen en la dieta, porque tienen la capacidad de afectar la compleja ecología ruminal y de esta forma, reducir la producción de metano entérico. Otras estrategias incluyen el manejo alimenticio y favorecen la degradación y fermentación del alimento al usar diferentes proporciones de ingredientes que hacen eficiente la producción de ácidos grasos de cadena corta y la síntesis de proteína microbiana. Se puede medir las emisiones entéricas de metano de forma directa con la técnica del detector láser, capaz de cuantificar el metano exhalado al aire presente cerca a la nariz y boca

del rumiante. Las mediciones indirectas, como la técnica con hexafluoruro de azufre utilizada en rumiantes en pastoreo no alteran su comportamiento natural. La clave de la mitigación de metano, es conocer las simbiosis entre los microorganismos ruminales y así establecer estrategias conjuntas con compuestos químicos y manejo alimenticio según las condiciones propias de cada producción. La presente revisión, tiene como objetivo presentar algunas de las estrategias para reducir las emisiones de metano entérico en rumiantes y sus efectos sobre las variables de fermentación ruminal y microbiota ruminal.

**Palabras clave:** Ganadería, microbiota, calentamiento global, hexafluoruro de azufre, detector laser.

## Abstract

The symbiosis between bacteria, fungi, protozoans and methanogenic archaeobacteria maintains a constant flow of hydrogen in the rumen to produce short-chain fatty acids and methane as part of the degradation and fermentation of feed. As a strategy to reduce enteric methane emissions, chemical compounds are used, some extracted from plants, which are used in their entirety or parts that are included in the diet and have the capacity to affect the complex rumen ecology and in this way reduce enteric methane production. Other strategies include food management and promote the degradation and fermentation of food by using different proportions of ingredients, which make the production of short-chain fatty acids and the synthesis of microbial protein efficient. Enteric methane emissions can be measured directly with the laser detector technique, capable of quantifying the methane exhaled into the air present near the nose and mouth of the ruminant. Indirect measurements, such as the sulfur hexafluoride technique used in grazing ruminants, do not alter their natural behavior. The key to methane mitigation is to know the symbioses between ruminal microorganisms and thus establish joint strategies with chemical compounds and food management according to the conditions of each production. The present review aims to present some of the strategies to reduce enteric methane emissions in ruminants and their effects on ruminal fermentation and rumen microbiota variables.

**Keywords:** Livestock, microbiota, global warming, sulfur hexafluoride, laser detector.

## Introducción

La producción de alimento genera del 20 % al 30 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, de las cuales, el 93 % se originan de la producción de carne y leche de rumiantes y se estima que una sola vaca produce por año, entre 154 y 264 libras de gas metano (CH<sub>4</sub>) (1). De las emisiones promedio por consumo de carne de bovino, se produjo 402 kg de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>/persona en 2017, un 16 % mayor con relación al año 2000, con una producción de 380 kg CO<sub>2</sub>/persona (1). La producción de CH<sub>4</sub> entérico en rumiantes representa una pérdida del 2 % al 12 % de la energía bruta del alimento y también tiene efectos ambientales menores por ser un gas efecto invernadero [gei]. (2, 3). En el rumen, la interacción entre arqueobacterias metanogénicas y protozoarios ciliados permite la formación de CH<sub>4</sub> y de ácidos grasos de cadena corta [agcc], que son productos importantes de la fermentación (4-6). Esta ectosimbiosis produce hasta el 37 % de las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> en rumiantes (7). Los protozoarios poseen hidrogenosomas —orgánulos en donde se produce hidrógeno durante la fermentación ruminal—, el cual utilizan las arqueobacterias metanogénicas como fuente de energía y generan CH<sub>4</sub> (8). que libera el animal en el eructo, durante la rumia, junto con el CO<sub>2</sub>, que alcanza una acumulación de gases que se liberan en el eructo en el proceso de rumia (9). Al disminuir la producción de CH<sub>4</sub>, se puede incrementar la

concentración de hidrógeno en rumen, el cual es utilizado en la formación de propionato (2, 10)the livestock industry has to increase its production. Without improving its efficiency, increased livestock, especially ruminant animals, will worsen the environmental damage, mainly from enteric CH<sub>4</sub> emission. Enteric CH<sub>4</sub> emission from ruminants not only exacerbates the global greenhouse effect but also reduces feed energy efficiency for the animals. The rumen disposes of metabolic hydrogen ([H]. Un alto contenido de carbohidratos estructurales en dietas que contiene una alta proporción de forraje genera una mayor cantidad de ácido acético y gas hidrógeno que puede ser utilizado para la producción de CH<sub>4</sub> (4). Como estrategia principal para la mitigación de las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> en rumiantes, existe la desfaunación ruminal (11). y se define como la eliminación de la población de protozoarios ciliados del rumen (12), lo que genera que se reduzca entre un 20 % a 42 % las emisiones de este gas efecto invernadero (10, 13). La desfaunación ruminal se puede lograr con el uso de productos químicos y aditivos alimenticios, que remueven la asociación arqueobacterias-ciliados (14), lo que disminuye la disponibilidad de hidrógeno usado para la metanogénesis (15).

La posible adaptación de los microorganismos y la incapacidad de mantener animales desfaunados por largos periodos, limitan las estrategias de mitigación de la emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> en rumiantes (16). Entre los

métodos experimentales de mitigación de las emisiones de CH<sub>4</sub> en rumiantes, se encuentran: la creación de rebaños aislados libres de protozoarios (17), la identificación por selección genética de animales que produzcan menos emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> (18), la vacunación y generación de anticuerpos salivales específicos contra metanógenos (19), el uso de bacteriófagos (10) y la inoculación de bacterias acetogénicas que pueden competir por el dióxido de carbono y el hidrógeno con las arqueobacterias metanogénicas (20, 21). Cuando los rumiantes son alimentados con dietas que contienen una alta proporción de forrajes de baja digestibilidad (alto contenido de carbohidratos estructurales) se genera una mayor cantidad de ácido acético y gas hidrógeno (4, 15), lo que a su vez, aumenta la cantidad de CH<sub>4</sub> producido por unidad de alimento digerido (22); y sucede lo contrario en dietas que contienen una mayor cantidad de granos o de carbohidratos de fácil fermentación, donde el ácido propiónico es el principal producto de la fermentación es (2, 23). Sumado a lo anterior, las dietas para rumiantes con mayor contenido de granos pueden causar una disminución de pH y pueden eliminar a los protozoarios ciliados y, en consecuencia, a las bacterias metanogénicas que viven adheridas a su ectodermo (24, 25). La dosificación de 4.75 % de aceite de coco en una dieta de engorde (50:50 forraje/concentrado) disminuye la producción de CH<sub>4</sub> en un 22 % –28.3 g/kg de materia seca [ms] consumida de con-

trol, frente a los 21.1 g/kg ms consumida con aceite; (26). El uso de plantas que contienen compuestos desfaunantes –como por ejemplo, taninos condensados, saponinas, alcaloides y aceites esenciales– reduce la disponibilidad de hidrógeno y además resultan nocivos para los protozoarios, sin embargo todavía se desconoce la dosis óptima, sus efectos a largo plazo y la posible deposición de sus residuos en carne y leche (27).

Estos metabolitos secundarios, también denominados fitoquímicos, se encuentran de forma natural en diferentes plantas y tienen potencial como aditivos para modificar la fermentación ruminal, favoreciendo procesos como la desfaunación y la inhibición de la metanogénesis (6, 28). Se ha demostrado que el uso del follaje y frutos de plantas arbóreas y poáceas forrajeras, que contienen taninos y saponinas, representan una alternativa potencial en la disminución de las emisiones de CH<sub>4</sub> (29-31), además de beneficiar el metabolismo ruminal del nitrógeno (13, 32).

La presente revisión, tiene como objetivo exponer algunas de las estrategias para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> entérico en rumiantes y sus efectos sobre las variables de fermentación ruminal, así como el efecto de estas alternativas sobre la microbiota ruminal y sus complejas interacciones. También se explican algunas técnicas para la medición de dichas emisiones, las cuales pueden ser utilizadas en investigación *in vivo*.

## Estrategias de manipulación de la fermentación ruminal para reducir emisiones de CH<sub>4</sub>

### Uso de aceites esenciales, ácidos orgánicos y factores antinutricionales

Como subproducto de la refinación del aceite de palma, se produce goma con fosfolípidos [gf], la cual, tiene la capacidad de reducir la producción *in vitro* de CH<sub>4</sub> a 8 y 4 μmol CH<sub>4</sub>/g de sólido volátil, al ser incluida en un 25 % y un 50 % respectivamente (33). Por otro lado, al adicionar 0.8 ml de la mezcla de aceites esenciales /l medio de cultivo, provenientes de plantas como orégano (ORE; *Thymus capitatus*), romero (*Rosmarinus officinalis*) corteza de canela (*Cinnamomum zeylanicum* [CCB] y *Cinnamomum zeylanicum* Blume [CIB]): reducen (P< 0.001) la producción total de biogás (X̄: 82.6 mL; P< 0.001), inhiben la producción de CH<sub>4</sub>, reducen la producción total de ácidos grasos volátiles (X̄: 15.2 mol/100mol; P< 0.001) y la Digestibilidad *In Vitro* de Materia Seca [divms] (X̄: 0.40; P< 0.001) (2). Los taninos pueden estar presentes en diferentes partes de las plantas y al ser liberados afectan las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub>; el efecto estará limitado por la degradación ruminal del material vegetal que consuma el rumiante, por la liberación del compuesto y por la adherencia a los nutrientes presentes en la dieta (proteína) o absorción sanguínea (27, 34). El ácido propiónico aumenta (p< 0.05) a 25.4 mmol con el uso de 26 g de ácido tánico/kg ms y la producción de CH<sub>4</sub> disminuye (p< 0.05) a

5.4 l/kg Consumo de Materia Seca [cms], resultados que justifican la eficacia de esta alternativa *in vivo* para disminuir las emisiones entéricas en rumiantes (35). Algunas plantas que contienen flavonoides pueden disminuir la producción de CH<sub>4</sub>; sin embargo, de forma simultánea pueden estimular el metabolismo microbiano (36, 37). Las saponinas pueden limitar la fermentación del alimento en el rumen, por tanto favorecen una ruta acetogénica que compite por el hidrógeno usado en la ruta metanogénica (38, 39). La actividad anti-metanogénica de las saponinas en el rumen puede estar relacionada con la limitación de hidrógeno, el cual es reutilizado en la formación de propionato (15, 39). La suplementación con harina de vainas de *Samanea saman* (60g/kg) sola y con aceite de palma (20 g/kg) reduce el contenido de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) en el rumen de vacas lecheras, así como la población de metanógenos y protozoarios (40).

### Estrategia de manejo nutricional para reducir las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub>

Consiste en elaborar dietas con materias primas que contengan carbohidratos —por ejemplo, el maíz, porque contiene almidón— que durante la degradación y fermentación ruminal favorezcan la producción de ácido propiónico acético y disminuyan el pH, lo cual reduce la capacidad de las metanogénicas para utilizar el hidrógeno (23, 41). Las vacas

lecheras que son alimentadas con 100 % de ensilado de maíz producen 22.0 g de CH<sub>4</sub> / kg de cms, cantidad que es menor a los 24.6 g de CH<sub>4</sub> /kg de cms que producen vacas alimentadas con 100 % ensilado de pasto (42). Al incluir trigo en la dieta para las vacas lecheras se reduce la producción de CH<sub>4</sub> entérico (14.3 g/kg de cms; P < 0.05) en comparación con dietas que contienen maíz (20.3 g/kg de cms), cebada rolada y cebada rolada dos veces (22.9 g/kg de cms y 23.4 g/kg de cms, respectivamente (23). Las estrategias nutricionales tienen un efecto constante (diario) en la reducción de las emisiones de CH<sub>4</sub> de la ganadería (43).

### **Métodos de manipulación de la población microbiana para reducir emisiones de CH<sub>4</sub>**

Los métodos de desfaunación disminuyen las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> que se producen por la interacción microbiana interespecies, en la cual protozoarios ciliados del rumen y arqueobacterias metanogénicas transfieren el hidrógeno y forman CH<sub>4</sub> (12). La inclusión in vitro de 50 % de goma con fosfolípidos (gf) de la palma africana, reduce la concentración de arqueobacterias metanogénicas (3.3 x 10<sup>4</sup>/ml) y favorece la proliferación bacteriana de los géneros: *Lactobacillus sp.*, *Megasphaera sp.* y *Veillonella sp.* asociadas a la producción de bactericinas y procesos homofermentativos, al consumo de ácido láctico, la utilización y producción de ácidos grasos (butírico y propiónico), respectivamente (33). Los aceites esenciales (ae) de orégano y ca-

nela reducen la población de bacterias ruminales (8.78 x 10<sup>10</sup>/ml; P < 0.001) (44). La combinación de aceites esenciales de hojas de canela, orégano y romero reducen la población de arqueobacterias metanogénicas (7.47 x 10<sup>10</sup>/mL; P < 0.05) (2). En general, los efectos antimicrobianos de los aceites esenciales están relacionados con los monoterpenos oxigenados —como por ejemplo, el carvacrol— y con compuestos fenólicos como el cinamaldehído (45). Debido al potencial in vitro de los ae para mitigar las emisiones de CH<sub>4</sub> (44), también pueden ser una alternativa in vivo efectiva y constante, que debe considerarse y evaluar los posibles efectos en la fermentación ruminal y las variables productivas. El uso de 26 g de ácido tánico /kg ms (P < 0.05) disminuye la población de protozoarios ruminales totales, las arqueobacterias metanogénicas y *Ruminococcus albus* (35). El destilado de aceite de coco, con una dosis de 4.5 (P < 0.05) defauna en un 82 % y un 84 % la población de entodinomorfidos, reduce en un 18 % su producción (18.46 g CH<sub>4</sub>/ kg ms; P < 0.01 (11). Los protozoarios ruminales que albergan las arqueobacterias metanogénicas disminuyen con niveles de 1 mg/ml de saponina (38). Las saponinas interactúan con el colesterol presente en la membrana celular de los protozoarios y hongos ruminales (dominios colesterol-saponinas), lo que ocasiona su lisis y finalmente, la muerte (39). El efecto de la saponina depende de su estructura química, masa molecular y concentraciones en la dieta, mediados en el rumen por la acción microbiana (46). A partir de 1.2 % de ms de

extracto crudo de saponinas en bajas concentraciones, estimulan las bacterias celulolíticas (29). La población de *F. succinogenes* incrementa cuando es suplementada con las vainas de *Samanea saman* (60 g/kg) (47). En condiciones in vitro la fermentación de vainas de leguminosas mantiene una población de bacterias ruminales totales en *S. saman* (1.69 x10<sup>9</sup>/ml) y en *E. cyclocarpum* (1.67 x10<sup>9</sup>/ml), este valor cambia con *L. leucocephala* (0.89 x10<sup>9</sup>/mL; (48). Tres horas después del consumo de vainas de *E. cyclocarpum* (0.15 kg ms) se reduce la población de protozoarios entodimorfidos ruminales (49). La presencia de taninos en la dieta disminuyen la digestión de la fibra, ya que forma complejos con la lignocelulosa y esto evita la acción enzimática de microorganismo celulolíticos y fibrolíticos (31). La cepa DSM 1093 de *Methanobrevibacter ruminantium* expuesta a una concentración de 0.25 mg l<sup>-1</sup> de flavonoides de *L. pedunculatus* disminuye su crecimiento en un 28 % y su producción de CH<sub>4</sub>, pero la cepa YLM-1 de esta misma arqueobacteria no se vio afectada por la misma concentración de flavonoides (50). Los ae reducen la metanogénesis suprimiendo la formación de hidrógeno por parte de los microorganismos (51).

### **Estrategias poco apropiadas para disminuir emisiones de metano entérico en rumiantes**

El uso de ionóforos como la monensina, es una estrategia de control de las emisiones de CH<sub>4</sub> sustentada en la reducción de bacterias

Gram positivas del rumen (52), mismas que por su degradación y fermentación de sustratos producen hidrógeno y dióxido de carbono necesario para las arqueobacterias metanogénicas (15, 20). Dicho efecto no se mantiene, debido a la adaptación y dinámicas de crecimiento de la población de bacterias ruminales (53). La dosificación de 150 mg/dia-1 de monensina, no modifica las poblaciones de bacterias y arqueobacterias metanogénicas del rumen, por tanto, las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> no disminuyen (52). El desarrollo de vacunas contra las arqueobacterias metanogénicas ruminales como estrategia para disminuir las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> en rumiantes, es poco apropiada, debido a la alta cantidad de anticuerpos específicos para las proteínas integrales a la membrana citoplasmática de las arqueobacterias metanogénicas que deben ser estables en la dinámica ruminal (41). La vacuna para las arqueobacterias metanogénicas contiene anticuerpos con dominios extracelulares recombinantes de GT2, de la cepa *Methanobrevibacter ruminantium* M1 y la emulsión Montanide ISA61 con inmunomodulador monofosforil lípido A, que estimula la actividad de las inmunoglobulinas como la IgA, presente en este órgano en saliva y rumen, la cantidad de anticuerpos específicos de GT2 son bajos (19). En rumiantes alimentados con raciones que contienen forraje y grano (50:50) de 21.5 g de nitrato de calcio/kg ms y 53 g de aceite (colza) / kg ms reducen las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub>. Sin embargo, al aumentar la cantidad de granos en la dieta y al usar los dos compuestos mencionados,

no se presenta el mismo efecto (54). En dietas con forraje, la adición de nitrato de calcio favorece la proliferación de *Villanilla parvula* y *Wolinella succinogenes*, bacterias ruminales que tienen la capacidad de reducir el nitrato y transformarlo a nitrito, reacción que consume hidrógeno y limita la formación de CH<sub>4</sub> (54). Cuando la dieta es alta en granos proliferan bacterias amilolíticas como *Selenomonas ruminantium*, la cual no reduce el nitrato (54). A pesar de que la inclusión de lípidos en la dieta modifica la microbiología ruminal (55), puede afectar la adhesión y degradación microbiana de los nutrientes de la dieta —como por ejemplo, los carbohidratos y las proteínas (56)—, por tanto disminuye el cms y la fermentación, de la cual se obtiene agcc, amonio y proteína microbiana necesarias para cubrir los requerimientos nutricionales del rumiante (57). La dosificación intravenosa de una emulsión de triglicéridos de cadena larga disminuye el cms, induce la producción de serotonina y aumenta el tiempo de retención del alimento en el rumen, lo que favorece la producción de agcc y disminuye la formación de CH<sub>4</sub> (58). Aunque el efecto en la reducción de CH<sub>4</sub> puede ser constante, se puede considerar como inapropiada la técnica, por no ser práctica y aplicable en las condiciones productivas.

### **Técnicas para la estimación de las emisiones entéricas de metano en rumiantes**

La técnica con hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) se utiliza en rumiantes en pastoreo sin alterar su comportamiento natural, aunque los

datos pueden presentar variaciones en las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> en comparación con el método cámara de respiración (14). El método es práctico y no tan costoso como la técnica de cámara respiratoria (59). La variabilidad en las mediciones de CH<sub>4</sub> puede ser reducida, mejorando la resistencia del tubo de permeación, así como la tasa de liberación de SF<sub>6</sub> (60). En terneras, la medición de las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub>, usando la técnica de SF<sub>6</sub>, no presenta diferencias con los datos registrados en la cámara de respiración (61). Existe una alta correlación entre la medición de emisiones entéricas de CH<sub>4</sub>, en vacas lecheras, usando la técnica de SF<sub>6</sub> (310 g/d) y de cámara respiratoria (367 g/d) (14). La cantidad de SF<sub>6</sub> liberado es constante e independiente de la tasa de emisiones de CH<sub>4</sub> en vacas lecheras, este valor cambia con el consumo de alimento y genera medidas constantes durante el día (62). Al realizar 20 mediciones de las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> consecutivas, durante el día en vacas secas, con la técnica SF<sub>6</sub>, el valor promedio de emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> fue de 23.6 + 3.9 g/kg de cms con un coeficiente de correlación R de 0.70 (63). El SF<sub>6</sub> en su forma volátil es un gas de efecto invernadero, con un potencial de calentamiento global de 23 900 veces más que el dióxido de carbono y puede permanecer en la atmósfera por 3200 años (64). La técnica es invasiva y requiere de una carga continua del bolo, que contiene el SF<sub>6</sub>, lo cual, interfiere con el bienestar del rumiante (59). Para la permeación de cada tubo se

requiere de 2.5 g de SF<sub>6</sub> por vaca y 1.0 g de SF<sub>6</sub> por borrego, que al ser excretado, puede ser un factor de contaminación por parte de la ganadería (64). A largo plazo, aumenta la inestabilidad de la cantidad de liberación de los tubos que contienen el SF<sub>6</sub> (59). Una alta permeación de SF<sub>6</sub> en los tubos puede causar una sobrestimación en la producción entérica de CH<sub>4</sub> (63), por tanto, es importante validar y estandarizar la cantidad que se libera en condiciones controladas de laboratorio (60). Considerando la cinética de Michaelis-Menten puede describirse con más exactitud la liberación de SF<sub>6</sub> y obtener un patrón de permeación constante, lo cual permite que la técnica dure hasta 800 días después la inserción de los tubos en el rumen (23). La variación en la medición de CH<sub>4</sub> es intrínseca a la técnica SF<sub>6</sub>, ya que influye la concentración de este gas en el aire de la atmósfera del medio, que influye sobre las muestras recolectadas de nariz y boca (60). La técnica del detector láser mide la concentración de CH<sub>4</sub>, exhalado al aire, que se encuentra presente cerca a la nariz y boca del rumiante en condiciones ambientales (14, 65, 66). La medición está relacionada con el ciclo respiratorio de los rumiantes, puede ser medida cada minuto o cada dos minutos (14, 65). La mayor cantidad de emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> se producen durante las horas de la mañana, después de la alimentación (14). La técnica considera: los hábitos de consumo del alimento, el tipo de alimento, el periodo de rumia y el número de mediciones con el láser a lo largo del

día (14). Para las vacas lecheras, la sensibilidad y especificidad del detector láser de CH<sub>4</sub> fue de hasta el 96.5 %, con un valor promedio de producción de CH<sub>4</sub> de 395.8 partes por millón [ppm] similar al valor, 353.6 ppm de la cámara calorimétrica de respiración. La detección láser de CH<sub>4</sub> permite medir emisiones entéricas en rumiantes, en periodos cortos de tiempo y puede ser susceptible a las condiciones ambientales, por tanto puede complementarse con técnicas micrometeorológicas con el fin de obtener datos precisos en condiciones naturales (66, 67).

## Conclusiones

Debido al aumento de la demanda de la población humana creciente, por los alimentos que se obtienen de la ganadería, es necesario encontrar estrategias de mitigación de las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> en rumiantes, las cuales deben conocer las interacciones entre los microorganismos ruminales en donde se presenta un flujo constante de hidrógeno, sustrato importante para la formación de CH<sub>4</sub>. Estas estrategias deben aplicarse de forma conjunta con la adición de compuestos químicos y también el manejo nutricional, todo adaptado y aplicado a las condiciones propias de cada producción. Evaluar métodos de medición de las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> es importante para obtener valores cada vez más precisos y avanzar en estrategia eficientes que permitan hacer más sostenibles los sistemas de producción.

## Referencias

- [1] Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Beagley J, Belesova K, et al. The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises. *The Lancet*. 2021 en.;397(10269):129-70.
- [2] Wang K, Xiong B, Zhao X. Could propionate formation be used to reduce enteric methane emission in ruminants? *Sci Total Environ*. 2022 sept.;158867.
- [3] Ugboogu EA, Elghandour MMMY, Ikpeazu VO, Buendía GR, Molina OM, Arunsi UO, et al. The potential impacts of dietary plant natural products on the sustainable mitigation of methane emission from livestock farming. *J Clean Prod*. 2019 mzo.;213:915-25.
- [4] Janssen PH. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Anim Feed Sci Technol*. 2010 ag.;160(1-2):1-22.
- [5] Tóthová T, Píknová M, Kišidayová S, Javorský P, Pristaš P. Distinctive archaeobacterial species associated with anaerobic rumen protozoan *Entodinium caudatum*. *Folia Microbiol (Praha)*. 2008 my.;53(3):259-62.
- [6] Patra AK, Saxena J. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*. 2010 ag.;71(11-12):1198-222.
- [7] Park T, Yu Z. Do Ruminant Ciliates Select Their Preys and Prokaryotic Symbionts? *Front Microbiol*. 2018 jul. 31;9:1710.
- [8] Li Z, Deng Q, Liu Y, Yan T, Li F, Cao Y, et al. Dynamics of methanogenesis, ruminal fermentation and fiber digestibility in ruminants following elimination of protozoa: a meta-analysis. *J Anim Sci Biotechnol*. 2018 dic. 18;9(1):89.
- [9] Hille KT, Hetz SK, Rosendahl J, Braun HS, Pieper R, Stumpff F. Determination of Henry's constant, the dissociation constant, and the buffer capacity of the bicarbonate system in ruminal fluid. *J Dairy Sci*. 2016 en.;99(1):369-85.
- [10] McAllister TA, Newbold CJ. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Aust J Exp Agric*. 2008;48(2):7.
- [11] Nguyen SH, Hegarty RS. Effects of defaunation and dietary coconut oil distillate on fermentation, digesta kinetics and methane production of Brahman heifers. *J Anim Physiol Anim Nutr*. 2017 oct.;101(5):984-93.
- [12] Nguyen SH, Nguyen HDT, Hegarty RS. Defaunation and its impacts on ruminal fermentation, enteric methane production and animal productivity. *LRRD*. 2020;32(4):10.
- [13] Nguyen SH, Bremner G, Cameron M, Hegarty RS. Methane emissions, ruminal characteristics and nitrogen utilisation changes after refaunation of protozoa-free sheep. *Small Rumin Res*. 2016 nov.;144:48-55.
- [14] Patra AK. Recent Advances in Measurement and Dietary Mitigation of Enteric Methane Emissions in Ruminants. *Front Vet Sci* [Internet]. 2016 my. 20 [citado 2022 sept. 19];3. Disponible en: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fvets.2016.00039/abstract>
- [15] Leahy SC, Janssen PH, Attwood GT, Mackie RI, McAllister TA, Kelly WJ. Electron flow: key to mitigating ruminant methanogenesis. *Trends Microbiol*. 2022 mzo.;30(3):209-12.
- [16] Almeida AK, Hegarty RS, Cowie A. Meta-analysis quantifying the potential of dietary additives and rumen modifiers for methane mitigation in ruminant production systems. *Anim Nutr*. 2021dic.;7(4):1219-30.
- [17] Buddle BM, Denis M, Attwood GT, Altermann E, Janssen PH, Ronimus RS, et al. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *Vet J*. 2011 abr.;188(1):11-7.
- [18] Bes A, Nozière P, Renand G, Rochette Y, Guarnido-Lopez P, Cantalapiedra-Hijar G, et al. Individual methane emissions (and other gas flows) are repeatable and their relationships with feed efficiency are similar across two contrasting diets in growing bulls. *Animal*. 2022 ag.;16(8):100583. doi: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100583>
- [19] Subharat S, Shu D, Zheng T, Buddle BM, Janssen PH, Luo D, et al. Vaccination of cattle with a methanogen

protein produces specific antibodies in the saliva which are stable in the rumen. *Vet Immunol Immunopathol.* 2015 abr.;164(3-4):201-7.

[20] Pereira AM, de Lurdes Nunes Enes Dapkevicius M, Borba AES. Alternative pathways for hydrogen sink originated from the ruminal fermentation of carbohydrates: Which microorganisms are involved in lowering methane emission? *Anim Microbiome.* 2022 dic.;4(1):5.

[21] Lopez S, McIntosh FM, Wallace RJ, Newbold CJ. Effect of adding acetogenic bacteria on methane production by mixed rumen microorganisms. *Anim Feed Sci Technol.* 1999 mzo.;78(1-2):1-9.

[22] Haque MN. Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *J Anim Sci Technol.* 2018 dic.;60(1):15.

[23] Moate PJ, Williams SRO, Jacobs JL, Hannah MC, Beauchemin KA, Eckard RJ, et al. Wheat is more potent than corn or barley for dietary mitigation of enteric methane emissions from dairy cows. *J Dairy Sci.* 2017 sept.;100(9):7139-53.

[24] Zhang RY, Jin W, Feng PF, Liu JH, Mao SY. High-grain diet feeding altered the composition and functions of the rumen bacterial community and caused the damage to the laminae tissues of goats. *Animal.* 2018;12(12):2511-20.

[25] Plaizier JC, Li S, Danscher AM, Derakshani H, Andersen PH, Khafipour E. Changes in Microbiota in Rumen Digesta and Feces Due to a Grain-Based Subacute Ruminal Acidosis (SARA) Challenge. *Microb Ecol.* 2017 ag.;74(2):485-95.

[26] Jordan E, Lovett DK, Monahan FJ, Callan J, Flynn B, O'Mara FP. Effect of refined coconut oil or copra meal on methane output and on intake and performance of beef heifers. *J Anim Sci.* 2006 en. 1;84(1):162-70.

[27] Vasta V, Daghighi M, Cappucci A, Buccioni A, Serra A, Viti C, et al. Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *J Dairy Sci.* 2019 my.;102(5):3781-804.

[28] Lakhani N, Kamra DN, Lakhani P, Kala A. Effect of Rumen Modifier on Methanogenesis and Feed Digestibility under in Vitro Conditions. *Indian J Anim Nutr.* 2019;36(1):99.

[29] Galindo J, González N, Abdalla AL, Alberto M, Lucas RC, Dos KC, et al. Effect of a raw saponin extract on ruminal microbial population and in vitro methane production with star grass (*Cynodon nlemfuensis*) substrate. Efecto de un extracto crudo de saponinas en la población microbiana ruminal y en la producción de metano in vitro con sustrato de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). *Cuban J Agric Sci.* 2016;50(1):13.

[30] Ku-Vera JC, Castelán-Ortega OA, Galindo-Maldonado FA, Arango J, Chirinda N, Jiménez-Ocampo R, et al. Review: Strategies for enteric methane mitigation in cattle fed tropical forages. *Animal.* 2020;14:s453-63.

[31] Ku-Vera JC, Jiménez-Ocampo R, Valencia-Salazar SS, Montoya-Flores MD, Molina-Botero IC, Arango J, et al. Role of Secondary Plant Metabolites on Enteric Methane Mitigation in Ruminants. *Front Vet Sci.* 2020 ag. 27;7:584.

[32] Zhang Z, Wei W, Yang S, Huang Z, Li C, Yu X, et al. Regulation of Dietary Protein Solubility Improves Ruminant Nitrogen Metabolism In Vitro: Role of Bacteria-Protozoa Interactions. *Nutrients.* 2022 jul. 20;14(14):2972.

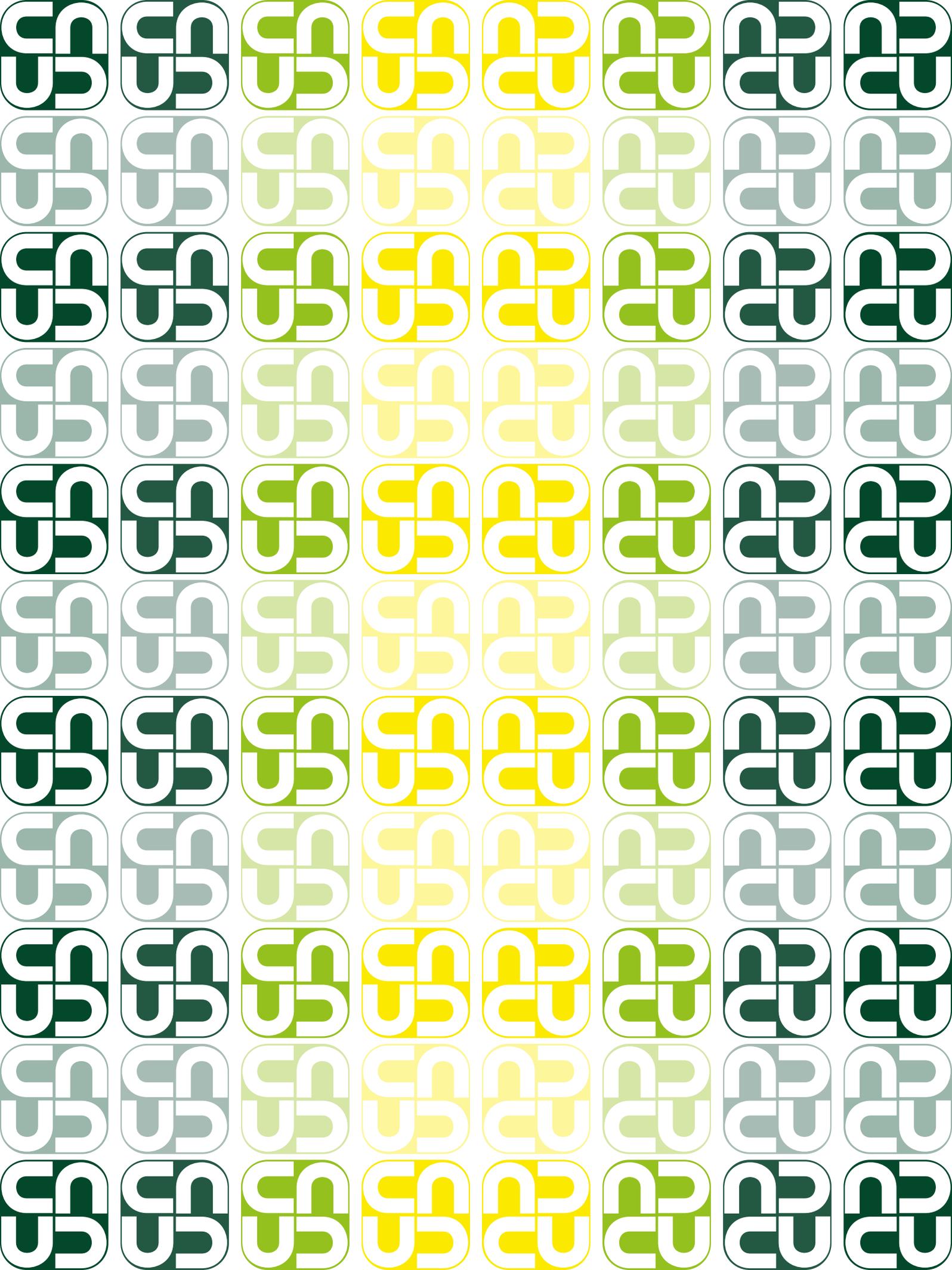
[33] Mustapha NA, Sharuddin SS, Mohd Zainudin MH, Ramli N, Shirai Y, Maeda T. Inhibition of methane production by the palm oil industrial waste phospholine gum in a mimic enteric fermentation. *J Clean Prod.* 2017 nov.;165:621-9.

[34] Ku-Vera JC, Jiménez-Ocampo R, Valencia-Salazar SS, Montoya-Flores MD, Molina-Botero IC, Arango J, et al. Role of Secondary Plant Metabolites on Enteric Methane Mitigation in Ruminants. *Front Vet Sci.* 2020 ag. 27;7:584.

[35] Yang K, Wei C, Zhao GY, Xu ZW, Lin SX. Effects of dietary supplementing tannic acid in the ration of beef cattle on rumen fermentation, methane emission, microbial flora and nutrient digestibility. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2017 abr.;101(2):302-10.

- [36] Jafari S, Ebrahimi M, Goh YM, Rajion MA, Jahromi MF, Al-Jumaili WS. Manipulation of Rumen Fermentation and Methane Gas Production by Plant Secondary Metabolites (Saponin, Tannin and Essential Oil) – A Review of Ten-Year Studies. *Ann Anim Sci.* 2019 en. 1;19(1):3-29.
- [37] Joch M, Mrázek J, Skřivanová E, Čermák L, Marounek M. Effects of pure plant secondary metabolites on methane production, rumen fermentation and rumen bacteria populations in vitro. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2018 ag.;102(4):869-81.
- [38] Jayanegara A, Yogiarto Y, Wina E, Sudarman A, Kondo M, Obitsu T, et al. Combination Effects of Plant Extracts Rich in Tannins and Saponins as Feed Additives for Mitigating in Vitro Ruminal Methane and Ammonia Formation. *Animals.* 2020 ag.30;10(9):1531.
- [39] Liu Y, Ma T, Chen D, Zhang N, Si B, Deng K, et al. Effects of Tea Saponin Supplementation on Nutrient Digestibility, Methanogenesis, and Ruminal Microbial Flora in Dorper Crossbred Ewe. *Animals.* 2019 en.;9(1):29.
- [40] Anantasook N, Wanapat M, Cherdthong A, Gunun P. Effect of tannins and saponins in *Samanea saman* on rumen environment, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2015 abr.;99(2):335-44.
- [41] Arndt C, Hristov AN, Price WJ, McClelland SC, Pe-laer AM, Cueva SF, et al. Strategies to mitigate enteric methane emissions by ruminants - a way to approach the 2.0°C target. *agRxiv.* 2021 en.;2021:20210085288.
- [42] Van Gastelen S, Antunes-Fernandes EC, Hettinga KA, Klop G, Alferink SJJ, Hendriks WH, et al. Enteric methane production, rumen volatile fatty acid concentrations, and milk fatty acid composition in lactating Holstein-Friesian cows fed grass silage- or corn silage-based diets. *J Dairy Sci.* 2015 mzo.;98(3):1915-27.
- [43] Alvarez-Hess PS, Williams SRO, Jacobs JL, Hannah MC, Beauchemin KA, Eckard RJ, et al. Effect of dietary fat supplementation on methane emissions from dairy cows fed wheat or corn. *J Dairy Sci.* 2019 mzo.;102(3):2714-23.
- [44] Cobellis G, Trabalza-Marinucci M, Marcotullio MC, Yu Z. Evaluation of different essential oils in modulating methane and ammonia production, rumen fermentation, and rumen bacteria in vitro. *Anim Feed Sci Technol.* 2016 my.;215:25-36.
- [45] Kholif AE, Olafadehan OA. Essential oils and phyto-genic feed additives in ruminant diet: chemistry, ruminal microbiota and fermentation, feed utilization and productive performance. *Phytochem Rev [Internet].* 2021 febr. 11 [citado 2021 abr. 12]; Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09739-3>
- [46] Sirohi SK, Goel N, Singh N. Utilization of Saponins, a Plant Secondary Metabolite in Enteric Methane Mitigation and Rumen Modulation. *Annu Res Rev Biol.* 2014;1-19.
- [47] Valencia Salazar SS, Piñeiro Vázquez AT, Molina Botero IC, Lazos Balbuena FJ, Uuh Narváez JJ, Segura Campos MR, et al. Potential of *Samanea saman* pod meal for enteric methane mitigation in crossbred heifers fed low-quality tropical grass. *Agric For Meteorol.* 2018 ag.;258:108-16.
- [48] Hernández-Morales J, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Herrera-Pérez J, Rojas-García AR, Reyes-Vázquez I, et al. Composición química y degradaciones in vitro de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2017 dic.26;9(1):105.
- [49] Albores-Moreno S, Alayón-Gamboa JA, Ayala-Burgos AJ, Solorio-Sánchez FJ, Aguilar-Pérez CF, Olivera-Castillo L, et al. Effects of feeding ground pods of *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb on dry matter intake, rumen fermentation, and enteric methane production by *Pelibuey* sheep fed tropical grass. *Trop Anim Health Prod.* 2017 abr.;49(4):857-66.
- [50] Tavendale MH, Meagher LP, Pacheco D, Walker N, Attwood GT, Sivakumaran S. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Anim Feed Sci Technol.* 2005 sept.;123-124:403-19.
- [51] Zhou R, Wu J, Lang X, Liu L, Casper DP, Wang C, et al. Effects of oregano essential oil on in vitro ruminal fermentation, methane production, and ruminal microbial community. *J Dairy Sci.* 2020 mzo.;103(3):2303-14.

- [52] Melchior EA, Hales KE, Lindholm-Perry AK, Freetly HC, Wells JE, Hemphill CN, et al. The effects of feeding monensin on rumen microbial communities and methanogenesis in bred heifers fed in a drylot. *Livest Sci.* 2018 jun.;212:131-6.
- [53] Lengowski MB, Zuber KHR, Witzig M, Möhring J, Boguhn J, Rodehutschord M. Changes in Rumen Microbial Community Composition during Adaption to an In Vitro System and the Impact of Different Forages. *Virolle MJ*, editor. *PLOS ONE.* 2016 febr.29;11(2):e0150115.
- [54] Troy SM, Duthie CA, Hyslop JJ, Roehe R, Ross DW, Wallace RJ, et al. Effectiveness of nitrate addition and increased oil content as methane mitigation strategies for beef cattle fed two contrasting basal diets1. *J Anim Sci.* 2015 abr.1;93(4):1815-23.
- [55] Savoini G, Omodei Zorini F, Farina G, Agazzi A, Cattaneo D, Invernizzi G. Effects of Fat Supplementation in Dairy Goats on Lipid Metabolism and Health Status. *Animals.* 2019 nov.4;9(11):917.
- [56] Joy F, Johnson JA, Górká P, McKinnon JJ, Hendrick S, Penner GB. Effect of dietary lipid inclusion from by-product-based pellets on dry matter intake, ruminal fermentation, and nutrient digestion in finishing beef heifers. *Miglior F*, editor. *Can J Anim Sci.* 2021 sept.1;101(3):481-92.
- [57] Ghorbani H, Kazemi-Bonchenari M, HosseinYazdi M, Mahjoubi E. Effects of various fat delivery methods in starter diet on growth performance, nutrients digestibility and blood metabolites of Holstein dairy calves. *Anim Feed Sci Technol.* 2020 abr.;262:114429.
- [58] Lamp O, Reyer H, Otten W, Nürnberg G, Derno M, Wimmers K, et al. Intravenous lipid infusion affects dry matter intake, methane yield, and rumen bacteria structure in late-lactating Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2018 jul.;101(7):6032-46.
- [59] Doreau M, Arbre M, Rochette Y, Lascoux C, Eugène M, Martin C. Comparison of 3 methods for estimating enteric methane and carbon dioxide emission in nonlactating cows. *J Anim Sci.* 2018 abr. 14;96(4):1559-69.
- [60] Hristov AN, Melgar A, Wasson D, Arndt C. Symposium review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2022 oct.;105(10):8543-57.
- [61] Jonker A, Molano G, Antwi C, Waghorn GC. Enteric methane and carbon dioxide emissions measured using respiration chambers, the sulfur hexafluoride tracer technique, and a GreenFeed head-chamber system from beef heifers fed alfalfa silage at three allowances and four feeding frequencies1-3. *J Anim Sci.* 2016 oct. 1;94(10):4326-37.
- [62] Deighton MH, Williams SRO, Hannah MC, Eckard RJ, Boland TM, Wales WJ, et al. A modified sulphur hexafluoride tracer technique enables accurate determination of enteric methane emissions from ruminants. *Anim Feed Sci Technol.* 2014 nov.;197:47-63.
- [63] Arbre M, Rochette Y, Guyader J, Lascoux C, Gómez LM, Eugène M, et al. Repeatability of enteric methane determinations from cattle using either the SF6 tracer technique or the GreenFeed system. *Anim Prod Sci.* 2016;56(3):238.
- [64] Della Rosa MM, Jonker A, Waghorn GC. A review of technical variations and protocols used to measure methane emissions from ruminants using respiration chambers, SF6 tracer technique and GreenFeed, to facilitate global integration of published data. *Anim Feed Sci Technol.* 2021 sept.;279:115018.
- [65] Scafutto RDM, de Souza Filho CR, Riley DN, de Oliveira WJ. Evaluation of thermal infrared hyperspectral imagery for the detection of onshore methane plumes: Significance for hydrocarbon exploration and monitoring. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation.* 2018 febr.;64:311-25.
- [66] Roessler R, Chefor F, Schlecht E. Using a portable laser methane detector in goats to assess diurnal, diet- and position-dependent variations in enteric methane emissions. *Comput Electron Agric.* 2018 jul.;150:110-7.
- [67] Ricci P, Chagunda MGG, Rooke J, M. Houdijk JG, Duthie CA, Hyslop J, et al. Evaluation of the laser methane detector to estimate methane emissions from ewes and steers1. *J Anim Sci.* 2014 nov. 1;92(11):5239-50.



## Floravascular y líquénica asociada a especies simpátricas de *Puya* (Bromeliaceae) en el Parque Nacional Natural Chingaza (Colombia)

### Vascular and lichen flora associated with sympatric species of *Puya* (Bromeliaceae) in Chingaza National Natural Park (Colombia)

Rubén Darío González-Román<sup>1</sup> , Luz Nancy Mateus-Vargas<sup>1</sup> ,  
Juan Daniel Beltrán-Quiñones<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Semillero Phytofilos, Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Facatativá, Cundinamarca, Colombia.

\*Autor de correspondencia: rubendgonzalez@ucundinamarca.edu.co

Recibido: 03/10/2022 Aceptado: 09/12/2022 Publicado: 30/12/2022

#### Cómo citar este artículo:

González-Román, R., Mateus-Vargas, L., y Beltrán-Quiñones, J. (2022). Flora vascular y líquénica asociada a especies simpátricas de *Puya* (Bromeliaceae) en el Parque Nacional Natural Chingaza (Colombia). *Ciencias Agropecuarias*, 8(2), 63-71. <https://doi.org/10.36436/24223484.697>

#### Resumen

En el ecosistema paramuno del Parque Nacional Natural Chingaza se han registrado siete especies simpátricas del género *Puya* (familia *Bromeliaceae*), que pueden presentar adaptaciones o estrategias para evitar la competencia entre ellas, conocidas como fragmentación de nicho ecológico. Con el objetivo de identificar patrones de asociatividad biológica que evidencien fragmentación de nicho en las especies *Puya cryptantha* y *P. goudotiana*, se registraron individuos de angiospermas y de líquenes asociados a estas dos especies de cardones en el sector de Piedras

Gordas (Fómeque, Cundinamarca). Se identificaron 18 morfotipos de plantas con flores y 23 de líquenes, siendo las familias más representadas *Asteraceae* y *Parmeliaceae*, respectivamente. La mayoría de las especies de plantas (14) y líquenes (16) se encontraban asociadas a la especie *P. goudotiana*, mientras que cinco angiospermas y 13 líquenes a *P. cryptantha*; únicamente una planta y cinco líquenes estaban asociadas a las dos especies de cardones. Sin embargo, los patrones de asociatividad podrían estar más relacionados con las características ambientales y microclimáticas del ecosistema de páramo y con las intervenciones humanas en la zona. Serán necesarios mayores esfuerzos de muestreo para determinar si las especies de puyas del Parque Nacional Natural Chingaza adoptan fragmentaciones de nicho.

**Palabras clave:** Cardones, fragmentación de nicho, páramo, *Puya goudotiana*, *Puya cryptantha*.

## Abstract

In the páramo ecosystem of Chingaza National Natural Park, seven sympatric species of the genus *Puya* (family *Bromeliaceae*) have been reported. These species may exhibit evolutionary and ecological adaptations or strategies to avoid competition among them, a phenomenon known as ecological niche partitioning. To identify patterns of biological associativity that indicate niche fragmentation in the species *Puya cryptantha* and *P. goudotiana*, individuals of angiosperms and lichens associated with these two species of puyas were recorded in the Piedras Gordas locality (Fómeque, Cundinamarca). Eighteen morphotypes of flowering plants and 23 of lichens were identified, with the most represented families being *Asteraceae* and *Parmeliaceae*, respectively. Most of the angiosperm (14) and lichen species (16) were associated with *P. goudotiana*, while five angiosperms and 13 lichens were associated with *P. cryptantha*; only one flowering plant and five lichens were associated to both *Puya* species. However, the associativity patterns could be more related to environmental and microclimatic characteristics provided by the paramo ecosystem and human interventions in the locality. Further sampling efforts are needed to determine whether niche partitioning strategies are adopted by the *Puya* species in Chingaza National Natural Park.

**Keywords:** Cardons, niche partitioning, páramo, *Puya goudotiana*, *Puya cryptantha*.

## Introducción

El páramo es un ecosistema propio de las altas montañas de los Andes tropicales (entre los 3 200 y los 4 700 m de altitud), concretamente en Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú (1). Sus especies se caracterizan por estar adaptadas a bajas temperaturas y alta radiación solar. Este ecosistema alberga muchas especies endémicas y es vital para el suministro de agua a las poblaciones humanas cercanas (2, 3).

Uno de los grupos de plantas más representativos del páramo son las puyas o cardones del género *Puya Molina*, familia *Bromeliaceae*. Son plantas terrestres con una estructura de crecimiento tipo roseta acaule que miden entre 1 y 8 m de alto y poseen inflorescencias terminales de hasta 3 m. También tienen espinas en los márgenes de sus hojas (4), que son reconocidas como especies emblemáticas de los sistemas paramunos en Colombia. En el Parque Nacional Natural [PNN] Chingaza se han identificado siete especies simpátricas del género *Puya*: *P. cryptantha* Cuatrec., *P. goudotiana* Mez, *P. lineata* Mez, *P. nitida* Mez, *P. loca* Madriñán, *P. santosii* Cuatrec y *P. trianae* Baker (1, 5).

En este contexto, se denominan simpátricas a dos o más especies evolutivamente relacionadas que coexisten en una misma zona geográfica (6); si estas están cercanamente emparentadas, se consideran competidoras directas por recursos, por lo que la selección

natural favorecerá que una de ellas desaparezca o que estas desarrollen estrategias diferenciales que les permitan coexistir sin competencia, lo que se conoce como fragmentación de nicho (7-9).

El nicho ecológico de una especie puede definirse, según Hutchinson (10), como “todas aquellas condiciones óptimas en el hipervolumen n-dimensional (condiciones bióticas y abióticas) en las cuales la especie puede y podría lograr su desarrollo y subsistencia”, reconociendo dos niveles en este concepto: el nicho fundamental, definido por las condiciones abióticas del ambiente, y el nicho efectivo, dado por las interacciones bióticas de la especie con otros organismos (11).

Así, el objetivo general de esta investigación fue identificar patrones de asociatividad biológica que evidencien la fragmentación de nicho en especies simpátricas de puyas del PNN Chingaza mediante la caracterización de la diversidad de plantas vasculares y líquenes presentes en la zona de estudio. Esta investigación se enmarca en el proyecto “Caracterización de nichos en especies de plantas simpátricas del páramo de Chingaza y sus implicaciones para estrategias de conservación” (código 51048), desarrollado entre 2021 y 2022 por la Universidad de Cundinamarca y la Universidad Nacional de Colombia.

## Materiales y métodos

Se realizaron observaciones y registros de angiospermas y líquenes en un diámetro de

dos metros de individuos de *P. goudotiana* y *P. cryptantha*, adaptando metodologías propuestas por Sánchez-González y González-Ledesma (12), González-Pendás y Pérez-Hernández (13), en el sector de Piedras Gordas (Fómeque, Cundinamarca), jurisdicción del PNN Chingaza, en septiembre de 2022. Las coordenadas generales del sitio de muestreo son 4°31'24" N, 73°46'05" W, con una altitud de ~3 600 m. s. n. m. y un ecosistema de páramo.

El material se revisó en el campo y posteriormente se analizó en los laboratorios de la extensión Facatativá de la Universidad de Cundinamarca por los docentes y estudiantes miembros del semillero Phytofilos. Para la determinación taxonómica de los especímenes, se utilizaron claves dicotómicas especializadas para páramos, así como catálogos e inventarios florísticos del PNN Chingaza (1, 4, 14).

## Resultados y discusión

Se identificaron 18 morfotipos de plantas vasculares (14 determinados a nivel de especie, 1 a género, 2 a familia y 1 sin determinar) (Tabla 1). La familia más abundante fue *Asteraceae* (22 % de los morfotipos), lo que coincide con su enorme abundancia de especies, ya que se trata de la familia más diversa entre todas las plantas.

Todas las especies registradas en este estudio ya habían sido reportadas previamente en el PNN Chingaza (1, 14), algunas con rangos de

distribución amplios (que abarcan varios países de Suramérica), aunque cabe destacar la presencia del charne, *Bucquetia glutinosa* (*Melastomataceae*), especie endémica de los páramos de Colombia (Figura 1A). También se registraron especies emblemáticas de los sistemas paramunos colombianos, como *Espeletia killipii* (frailejón de Guasca), *Paepalanthus alpinus* (estrella de páramo) o *Cortaderia nitida* (cortadera) (Figuras 1B y 1C). Del mismo modo, se identificaron individuos de las especies *Castilleja integrifolia* y *Neobartsia ramosa* (*Orobanchaceae*), que poseen hábitos parasíticos o hemiparásitos, ya que obtienen parte de sus nutrientes directamente de otras especies de plantas a las que se encuentran asociadas, entre ellas los cardones *P. goudotiana* y *P. cryptantha*, de interés para este estudio (15).

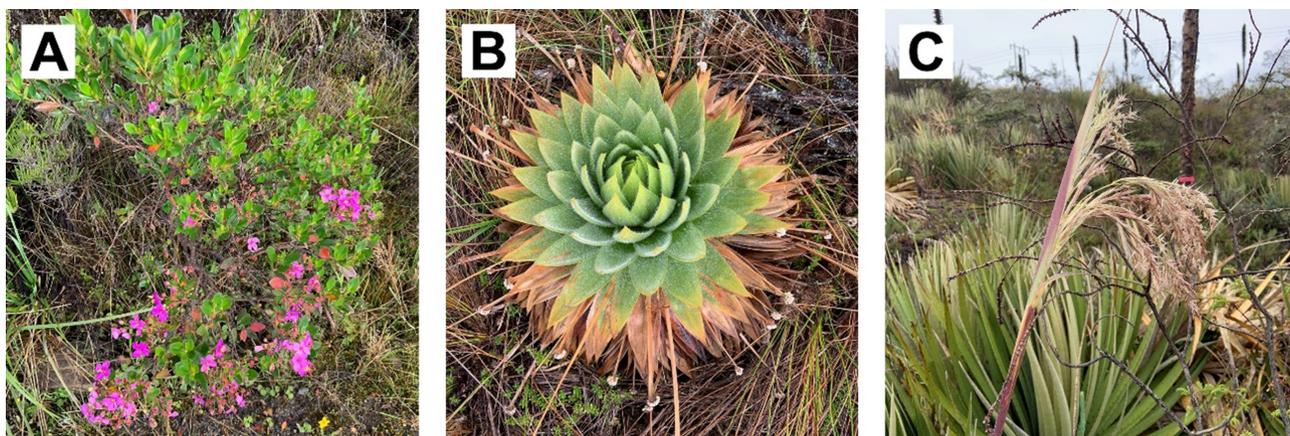
En el caso de los líquenes, se revisaron 35 muestras correspondientes a 23 morfotipos (16 determinados a nivel de especie y 7 a nivel de género) de 9 familias (Tabla 2). En la Figura 2 se muestran fotografías de algunas especies.

La familia *Parmeliaceae* es la que presenta una mayor representación, con cuatro géneros y ocho especies. Asimismo, es la más característica de la flora líquénica colombiana, con una presencia del 16,8 % en el territorio, y la más abundante en la flora del parque, con la presencia de 27 géneros (16). El género más representativo es *Hypotrachyna*, con cinco especies (aunque solo se han determinado tres

**Tabla 1.** Listado de especies de angiospermas encontradas y asociadas a *P. cryptantha* y *P. goudotiana*.

Num.	Familia	Especie	Puya asociada
1	-	-	<i>Puya goudotiana</i>
2	Asteraceae	-	<i>Puya cryptantha</i>
3	-	-	<i>Puya goudotiana</i>
4		<i>Baccharis tricuneata</i> (L.fil.) Pers.	<i>Puya goudotiana</i>
5		<i>Espeletia killipii</i> Cuatrec.	<i>Puya goudotiana</i>
6	Caprifoliaceae	<i>Valeriana pilosa</i> Ruiz & Pav.	<i>Puya goudotiana</i>
7	Caryophyllaceae	<i>Cerastium arvense</i> L.	<i>Puya goudotiana</i>
8	Ericaceae	<i>Pernettya prostrata</i> (Cav.) DC.	<i>Puya goudotiana</i>
9	Eriocaulaceae	<i>Paepalanthus alpinus</i> Körn.	<i>Puya goudotiana</i>
10	Gentianaceae	<i>Halenia major</i> Wedd.	<i>Puya cryptantha</i> , <i>P. goudotiana</i>
11	Hypericaceae	<i>Hypericum</i> cf. <i>lycopodioides</i> Triana & Planch.	<i>Puya goudotiana</i>
12		<i>Hypericum juniperinum</i> (L.fil.) Kunth	<i>Puya cryptantha</i>
13	Iridaceae	<i>Sisyrinchium</i> sp.	<i>Puya cryptantha</i>
14	Melastomataceae	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L.fil.) DC.	<i>Puya goudotiana</i>
15	Orobanchaceae	<i>Castilleja integrifolia</i> L.fil.	<i>Puya goudotiana</i>
16		<i>Neoartsia ramosa</i> (Molau) Uribe-Convers & Tank	<i>Puya cryptantha</i>
17	Plantaginaceae	<i>Aragoa abietina</i> Kunth	<i>Puya goudotiana</i>
18	Poaceae	<i>Cortaderia nitida</i> (Kunth) Pilg.	<i>Puya goudotiana</i>

Fuente: elaboración propia.



**Fig. 1.** Especies de plantas representativas del ecosistema paramuno del sector de Piedras Gordas (PNN Chingaza). **A.** *Bucquetia glutinosa* (charne); **B.** *Paepalanthus alpinus* (estrella de páramo); **C.** *Cortaderia nitida* (cortadera).

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2.** Listado de especies de líquenes encontrados y asociados a *P. cryptantha* y *P. goudotiana*.

Num.	Familia	Especie	Puya asociada
1	Cladoniaceae	<i>Cladonia coccifera</i> (L.) Willd.	<i>Puya goudotiana</i>
2		<i>Cladonia confusa</i> R.Sant.	<i>Puya goudotiana</i>
3	Collemataceae	<i>Leptogium cyanescens</i> (Ach.) Körb.	<i>Puya goudotiana</i>
4		<i>Leptogium phyllocarpum</i> (Pers.) Mont.	<i>Puya cryptantha</i>
5	Hygrophoraceae	<i>Cora pavonia</i> (Weber & D.Mohr) Fr.	<i>Puya goudotiana</i>
6	Lobariaceae	<i>Sticta arachnofuliginosa</i> B.Moncada & Lücking	<i>Puya cryptantha</i> , <i>P. goudotiana</i>
7		<i>Sticta dioica</i> B.Moncada & Lücking	<i>Puya goudotiana</i>
8		<i>Sticta gyalocarpa</i> (Nyl.) Trevis.	<i>Puya cryptantha</i>
9		<i>Sticta laciniosa</i> D.J.Galloway	<i>Puya cryptantha</i>
10		<i>Sticta</i> sp.	<i>Puya goudotiana</i>
11	Pannariaceae	<i>Pannaria andina</i> P.M.Jørg. & Sipman	<i>Puya cryptantha</i> , <i>P. goudotiana</i>
12	Parmeliaceae	<i>Anzia parasítica</i> (Fée) Zahlbr.	<i>Puya cryptantha</i>
13		<i>Hypotrachyna (Everniastrum)</i> sp.	<i>Puya cryptantha</i> , <i>P. goudotiana</i>
14		<i>Hypotrachyna physcioides</i> (Nyl.) Hale	<i>Puya cryptantha</i>
15		<i>Hypotrachyna sinuosa</i> (Sm.) Hale	<i>Puya goudotiana</i>
16		<i>Hypotrachyna</i> sp. 1	<i>Puya goudotiana</i>
17		<i>Hypotrachyna</i> sp. 2	<i>Puya cryptantha</i>
18		<i>Oropogon</i> sp.	<i>Puya cryptantha</i>
19		<i>Usnea barbata</i> (L.) Weber ex F.H.Wigg	<i>Puya goudotiana</i>
20	Peltigeraceae	<i>Lobariella parmelioides</i> B.Moncada & Lücking	<i>Puya cryptantha</i> , <i>P. goudotiana</i>
21		<i>Peltigera</i> sp.	<i>Puya goudotiana</i>
22	Physciaceae	<i>Heterodermia</i> sp.	<i>Puya goudotiana</i>
23	Stereocaulaceae	<i>Stereocaulon pityrizans</i> Nyl.	<i>Puya cryptantha</i> , <i>P. goudotiana</i>

Fuente: elaboración propia.

a nivel específico), coincidiendo nuevamente con los registros a nivel nacional y dentro del parque, como uno de los géneros de mayor representatividad (1).

Catorce de los morfotipos de angiospermas revisadas se encontraban asociados a la es-

pecie *P. goudotiana* y solo cinco, a *P. cryptantha* (Tablas 1 y 3). Solo una especie (5,5 % del total de morfotipos), *Halenia major* (conocida como cachitos), de amplia distribución en el páramo de Chingaza (1), se encontraba asociada a ambas especies de puyas. La asociatividad de especies de plantas (Tabla 3) se corres-



**Fig. 2.** Especies de plantas encontradas en el ecosistema paramuno del sector de Piedras Gordas (PNN Chingaza). **A.** *Lobariella parmelioides*; **B.** *Pannaria andina*; **C.** *Cora pavonia*  
Fuente: elaboración propia.

ponde con lo observado en el campo, puesto que la mayoría de los especímenes de *P. goudotiana* se encontraban en zonas bajas más o menos conservadas (sin influencia directa de perturbaciones antrópicas), rodeadas de una mayor cantidad de especies de otras plantas, mientras que los cardones de *P. cryptantha* se ubicaban en zonas más intervenidas, como los bordes de las carreteras, por lo que se encontraban menos asociados a otras especies de plantas.

De manera similar, se encontraron 22 individuos de líquenes asociados a *P. goudotiana* (16 morfoespecies) y 13 a *P. cryptantha* (12 morfoespecies). Entre estas, solo cinco de las morfoespecies (21,7 %) se encontraban asociadas a las dos especies de cardones (Tablas 2 y 3). Al igual que con las angiospermas, el factor diferencial parece ser el área donde se encontraban cada uno de los ejemplares *P. goudotiana* estaba presente en una zona baja alejada de la perturbación de la ruta ca-

rreteable, lo que permitía mayor resguardo y mayor acumulación de humedad ambiental. Según Cleef (17), esto se ve reflejado en la alta presencia de líquenes terrícolas de crecimiento folioso, representado por los géneros *Sticta* e *Hypotrachyna* en el caso de la presente investigación.

Los efectos de la intervención humana en la adopción y el reconocimiento de la fragmentación de nichos han sido estudiados en años recientes, sobre todo en mamíferos (18), identificando interacciones antrópicas directas e indirectas en estos procesos ecológicos y evolutivos. Por tanto, son necesarios mayores esfuerzos de muestreo que involucren otras especies simpátricas del género *Puya*, más localidades dentro de la zona geográfica estudiada y, si es posible, un mayor número de grupos biológicos asociados (como artrópodos y microorganismos, entre otros) para generar conclusiones más robustas frente a esta estrategia evolutiva en plantas (6, 9).

**Tabla 3.** Número de especies de angiospermas y líquenes asociadas a *P. cryptantha* y a *P. goudotiana* en la localidad de muestreo

	<i>Puya cryptantha</i>	<i>Puya goudotiana</i>	Num. de especies compartidas
Angiospermas	5	14	1
Líquenes	13	16	5

Fuente: autores.

## Conclusiones

Los patrones de asociatividad de las plantas vasculares y los líquenes con las especies de puyas reconocidas en el presente estudio podrían ser indicativos de la fragmentación de nichos entre estos cardones. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos, es posible que los patrones de distribución de angiospermas y hongos liquenizados observados se encuentren más relacionados con las características ambientales y microclimáticas aportadas por el ambiente de páramo y las zonas donde se encontraban los individuos muestreados de las especies de puyas.

## Agradecimientos

A la Universidad de Cundinamarca y a la Universidad Nacional de Colombia por la financiación y la ejecución del proyecto; a los profesores e investigadores Liliana García-Morantes, Daniel Cubillos-Pedraza, Pedro Padilla-González, Carlos Calderón-Ricardo y Mábel Velásquez-Molano por su acompañamiento en el terreno y la ejecución del proyecto. Finalmente, a los docentes y estudiantes integrantes del semillero Phytofilos del pro-

grama de Ingeniería Agronómica (Universidad de Cundinamarca, extensión Facatativá).

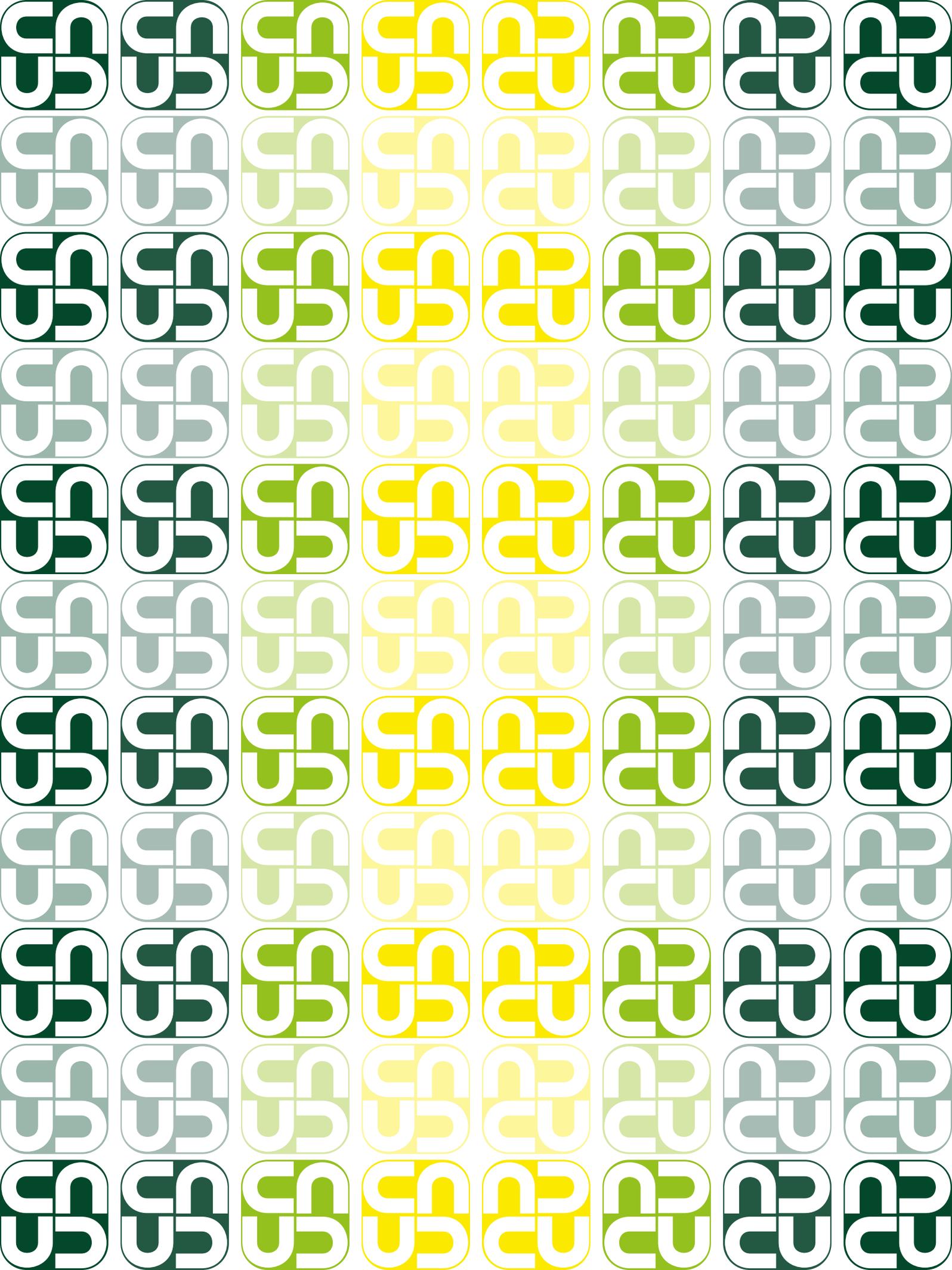
## Declaración de conflicto de intereses:

Los autores declaran expresamente que no existe ningún tipo de contribución externa u otras que podrían influir en los resultados o hipótesis presentados y dar lugar a un conflicto de intereses (relaciones comerciales, financieras, personales, etc.).

## Referencias

- [1] Vargas O, Pedraza P. El Parque Nacional Natural Chingaza. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, departamento de Biología; 2004. 228 p.
- [2] Cañón DM, Mojica YA. El oro o el agua, el caso del páramo de Santurbán. Questionar Investig. Específica [Internet]. 1 de enero de 2017; 5(1):105-19. Disponible en: <https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rques/article/view/104>
- [3] Méndez OL. Aproximaciones al ensamblaje del agua desde el manejo de la alta montaña, caso de un sector del sistema Chingaza en Colombia. Trab. Soc. [Internet]. 1 de julio de 2022; 24(2):143-79. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/tsocial/article/view/98980>
- [4] Marín C, Parra S, editores. Fichas Bitácora de flora, guía visual de plantas de páramos en Colombia.

- [Internet]. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; 2015. 274 p. Disponible en: [http://i2d.humboldt.org.co/ceiba/resource.do?r=fichascbc\\_paramo\\_2015](http://i2d.humboldt.org.co/ceiba/resource.do?r=fichascbc_paramo_2015).
- [5] Madriñán S. Una nueva especie de Puya (Bromeliaceae) de los páramos cercanos a Bogotá, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* [Internet]. 24 de agosto de 2015; 39(152):389-98. Disponible en: <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/223>
- [6] Peterson ML, Rice KJ, Sexton JP. Niche partitioning between close relatives suggests trade-offs between adaptation to local environments and competition. *Ecol Evol.* 2013;3(3):512-22. doi:10.1002/ece3.462.
- [7] Brown WL, Wilson EO. Character displacement. *Syst Zool.* [Internet]. 1 de junio de 1956; 1956;5(2):49-64. Disponible en: <https://academic.oup.com/sysbio/article-abstract/5/2/49/1733978>
- [8] Jablonski PG, Borowiec M, Nawakowski JJ, Stawarczyk T. Ecological niche partitioning in a fragmented landscape between two highly specialized avian flush-pursuit foragers in the Andean zone of sympatry. *Sci Rep.* 2020;10:22024. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78804-2>.
- [9] File AL, Murphy GP, Dudley SA. Fitness consequences of plants growing with siblings: reconciling kin selection, niche partitioning and competitive ability. *Proc R Soc B.* 2012;279:209-18. doi:10.1098/rspb.2011.1995.
- [10] Hutchinson GE. Concluding remarks. *Cold Spring Harb Sympos Quant Biol.* 1957;22:415-27. <https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>.
- [11] Mota-Vargas C, Encarnación-Luévano A, Ortega-Andrade HM, Prieto-Torres DA, Peña-Peniche A, Rojas-Soto OR. Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. En: Moreno CE, editor. *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio.* México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Libermex; 2019. p. 39-63.
- [12] Sánchez-González A, González-Ledesma M. Técnicas de recolecta y herborización de plantas. En: Contreras RA, Goyenechea I, Cuevas CC, Iturbe U, editores. *La Sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad.* México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; 2007. p. 177-93.
- [13] González-Pendás E, Pérez-Hernández V, Acosta-Ramos Z, Vento AD, Varela N, Jover A, et al. Manual revisado para colecta y herborización de especies de plantas cubanas. *Rev ECOVIDA* [Internet]. 23 de julio de 2015; 5(1):117-38. Disponible en: <https://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/71>
- [14] Madriñán S. Flora ilustrada del páramo de Chingaza: guía de campo de plantas comunes. Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes. 3 ed. 2010.
- [15] González F, Pabón-Mora N. A new species of Castilleja (Orobanchaceae) from the páramos of the Colombian eastern cordillera, with comments on its association with *Plantago rigida* (Plantaginaceae). *Caldasia* [Internet]. 1 de julio de 2013; 35(2):261-72. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/41196>
- [16] Aguirre J, Rangel JO. Riqueza y aspectos ecológicos y fitogeográficos sobre la flora de líquenes. En: Rangel JO, editor. *Colombia Diversidad Biotica VI. Riqueza y diversidad de los musgos y líquenes en Colombia.* Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2008. 592 p.
- [17] Cleef AM. Humid cloud superpáramo probably acts as a plant diversity centre and as a cool refuge: the case of Nevado de Sumapaz, Colombia. En: Van der Hammen T, editor. *La Cordillera Oriental Colombiana, Transecto Sumapaz.* Althengstett, Alemania: J. Cramer, Druckhaus Weber GmbH; 2008.
- [18] Sévêque A, Gentle LK, López-Bao JV, Yarnell RW, Uzal A. Human disturbance has contrasting effects on niche partitioning within carnivore communities. *Biol Rev Camb Philos Soc.* 2020;95(6):1689-1705. <https://doi.org/10.1111/brv.12635>



# Aplicación de tecnologías disruptivas de manejo en alojamientos porcinos carentes de bienestar animal: evaluación productiva, conductual y económica

## Application of Disruptive Management Technologies in Pig Housing Lacking Animal Welfare: Productive, Behavioral and Economic Evaluation

Rodolfo Óscar Braun<sup>1</sup> , Franco Alexis Ghiglione<sup>2</sup> , María Verónica Muñoz<sup>3</sup> ,  
Santiago Dalla Vía<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. <sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet); Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. <sup>3</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. <sup>4</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina.

\*Autor de correspondencia: braun@agro.unlpam.edu.ar

**Recibido:** 09/10/2022 **Aceptado:** 23/11/2022 **Publicado:** 30/12/2022

### Cómo citar este artículo:

Braun, R., Ghiglione, F., Muñoz, V., y Dalla, S. (2022). Aplicación de tecnologías disruptivas de manejo en alojamientos porcinos carentes de bienestar animal. Evaluación productiva, conductual y económica. *Ciencias Agropecuarias*, 8(2): 73-80. <https://doi.org/10.36436/24223484.586>

### Resumen

En el campo específico de la producción animal, las tecnologías disruptivas buscan contribuir en la calidad de vida de los individuos en condiciones de confinamiento y dar soluciones a los problemas de salud y producción que genera la alta carga animal por unidad de superficie. Como caso particular, en este estudio se plantea la problemática de manejos emergentes en el terreno del comportamiento animal porcino para generar mejor producción, beneficio económico y sustentabilidad ambiental en condiciones que valoren la vida y el bienestar animal. Las técnicas convergentes de manejo en las etapas de engorde siempre han tenido al macho como individuo sometido a castraciones quirúrgicas o biológicas con la finalidad de controlar el com-

portamiento sexual de la pubertad y favorecer la eficiencia productiva en condiciones grupales de vida, pero no así a las hembras que deben alcanzar un peso vivo de faena a mayor edad por su condición de hembra y transitar la pubertad en grupos activos sexualmente disminuyendo sus ganancias de peso diarias y alargando la edad a faena. Es posible entonces cambiar el paradigma y utilizar la castración biológica en machos y hembras con la finalidad de mejorar la eficiencia productiva y el medio ambiente animal disminuyendo peleas y daños corporales en las pubertades tempranas que son consecuencia de la selección y los cruzamientos por hibridación en la actualidad. La innovación biológica garantiza la productividad, el bienestar y el beneficio económico, superior a las técnicas convergentes de rutina independientemente de los híbridos expuestos a la nueva tecnología.

**Palabras clave:** beneficio económico, inhibición de gonadotropinas en hembras, producción porcina, rendimiento productivo.

## Abstract

In the specific field of animal production, disruptive technologies seek to progress in the life quality of individuals in confinement conditions and provide solutions to health and production problems generated by the high stocking rate per unit area. As a particular case, this study addresses the problem of emerging management in the field of pig behavior to generate better production, economic benefit, and environmental sustainability in conditions that value life and animal welfare. The convergent management techniques in the fattening stages have always had the male as an individual subjected to surgical or biological castrations in order to control the sexual behavior of puberty and promote productive efficiency in group living conditions, but not in the females that must reach a live slaughter weight at an older age due to their condition as females and go through puberty in sexually active groups, decreasing their daily weight gains and lengthening the age at slaughter. It is then possible to change the paradigm and use biological castration not only in both males and females, to improve productive efficiency and the animal environment by reducing fights and bodily damage in early puberty that are a consequence of selection and breeding. hybridization crosses today. Biological innovation guarantees productivity, well-being, and economic benefit superior to routine convergent techniques, regardless of the hybrids exposed to the new technology.

**Keywords:** economic benefit, gonadotropin inhibition in females, pig production; productive performance.

## Introducción

La tecnología disruptiva promete revolucionar la eficiencia productiva en la zootécnica económica, pero también ayuda al bienestar animal y a acilitar y pereccionar el trabajo en entornos en los que interactúan diferentes campos del saber, porque optimizan procesos que desplazan con rapidez algunos paradigmas obsoletos por otros más innovadores, en términos de técnicas y tecnológicas, que buscan contribuir a la solución de problemas nutricionales, genéticos, ambientales, de manejo, de salud y calidad de vida de los animales, así como en los resultados económicos desfavorables del proceso productivo.

Como expresa Konrad Lorenz, Premio Nobel de Medicina —que compartió junto con Karl von Frisch y Nikolas Tinbergen, en 1973—: “Cada hombre tiene cada vez un campo más estrecho de los conocimientos en el que debe ser un experto con el fin de competir con otras personas. El especialista sabe más y más sobre menos y menos, y finalmente sabe todo sobre nada” (1). En este contexto, se sabe que la producción y rendimiento de los animales que se explotan a nivel comercial en confinamiento es influenciada por actores ambientales y genéticos (2). En un sentido amplio, el ambiente provee una serie de condiciones externas y escenarios que perturban el bienestar, la salud, la productividad y también la eficiencia productiva animal. Incluye también aquellos elementos que lo vinculan en torno a los animales, tales como los aspectos sociales,

sanitarios, de manejo, nutricionales y de resultados económicos (3). Otras variables físicas que inciden en el ambiente son la humedad, la temperatura y la ventilación, las cuales se deben manejar adecuadamente o modificar si resulta práctico, para obtener un mejor rendimiento o eficiencia en la producción. El ambiente influye en los niveles de expresión del potencial genético de un animal determinado (4). De acuerdo con Wurtz et al. (2017), “Los factores que componen el ambiente pueden separarse, por una cuestión de conveniencia, en físicos, sociales y termales” (5). Las variables físicas incluyen aspectos como el sonido, la luz, el espacio, la presión e infraestructura general en donde están alojados. Los aspectos sociales se refieren al tamaño de los rebaños, la dominancia y otros propios del comportamiento animal. Los factores termales son la humedad relativa, la temperatura aérea, la radiación, las corrientes de aire, etc. Cada especie responde diferencialmente a los cambios propios de su ambiente natural, modificando su respuesta a nivel fisiológico, que se podría reflejar en cambios en su fenotipo.

Los animales salvajes perciben condiciones que se modifican continuamente y su supervivencia depende, con frecuencia, de su capacidad para adaptarse a esas nuevas condiciones. En dicho contexto, si una alguna especie es perturbada por algún estímulo presente en una región y tiene la capacidad de movilizarse, simplemente podrá desplazarse hacia un área con condiciones más favorables y sobrevivir sin experimentar cambios a nivel

genotípico o fenotípico. De manera similar, el surgimiento rutinario de nuevos genotipos ocurre a través de la recombinación al azar de los genes de una generación a otra; a veces se da en anormales circunstancias y por medio de una mutación, muy a menudo realizada por la intervención del hombre en el afán de garantizar más producción a costos razonables. Los animales poseen sistemas complejos u órganos especializados que reconocen y responden a estímulos determinados y funcionan coordinadamente para cumplir funciones corporales esenciales para el organismo. Los estímulos percibidos como señales desde su alrededor son captadas por órganos sensoriales que pueden producir una respuesta específica, acción refleja local que se procesa por el sistema nervioso central. Cuando las señales son débiles no se producen respuestas, no obstante, los estímulos más fuertes o intensos promueven cambios a nivel fisiológico o de comportamiento, especialmente, cuando son inducidos por el manejo y el confinamiento. Las especies a nivel de la ganadería moderna, de alta producción, han sido científicamente modificadas para maximizar unos pocos caracteres fenotípicos específicos mejorando algún parámetro productivo, poseen una base genética mucho más reducida comparada con sus antepasados silvestres (2). La manipulación humana debe resguardarlas, en general, de los cambios en los factores ambientales extremos y que aún puedan adaptarse como especies/individuos, a cambios temporales en su ambiente natural. En este marco se puede decir que la eto-

logía, como disciplina, se basa en el estudio biológico del comportamiento y el estudio científico del confinamiento de los animales. Una definición más aceptada que el estudio científico de los mecanismos biológicos y la caracterización en detalle del comportamiento. Así, la observación de la conducta animal en producciones artificiales responde más a aspectos fisiológicos que etológicos (1).

Para entender las variables que afectan al comportamiento de un individuo se debe reconocer que el organismo existe en el tiempo y el espacio, en un estado dinámico, continuamente bajo la influencia de su ambiente y como resultado de su historia evolutiva y ontogenética. Los animales que pueden desarrollar relaciones amistosas o apegos —que pueden ser dominantes o subordinadas, sometidas—, tienen alguna necesidad de privacidad o “territorio” y son influenciados por las “interrelaciones sociales” (6). Se pueden obtener beneficios mediante el entendimiento del comportamiento animal —cómo actúan de modo individual y en grupos— como lo observado en los establecimientos productores de cerdos. Los animales en producción confinada responden a ciertos estímulos mediante un tipo de entrenamiento. Se trata de un comportamiento condicionado debido a una respuesta provocada por un estímulo distinto al que originalmente la promueve y representa el resultado de la experiencia. La respuesta condicionada es una de las formas más simples de comportamiento aprendido. Así, el conocimiento de los patrones de com-

portamiento y el proceso de cómo pueden ser aprendidos o modulados podría admitir el uso de sistemas o dispositivos que permiten al operador ahorrar tiempo y esfuerzo, como por ejemplo, en la alimentación de animales a través de comederos electrónicos manejados a distancia. El comportamiento como técnica disruptiva y de potencial tecnología emergente es característico bajo la relación con dichos factores ambientales, genéticos y de manejo, y que nunca pueden actuar independientemente, posibilitando mejoras sustanciales en resultados económicos de las empresas pecuarias (7). Por consiguiente, los animales determinan su comportamiento, esencialmente, a través de procesos de aprendizaje (5).

El fin de la siguiente experiencia consistió en la evaluación productiva, de comportamiento y económica de hembras porcinas provenientes de dos linajes diferentes inmunizadas con inhibidores de gonadotropinas hipofisarias —hormona foliculoestimulante [FSH, por sus siglas en inglés] y hormona luteotrófica [LTH, por sus siglas en inglés]— exógenos, que se alojaron en corrales, en grupos de alta densidad animal por unidad de superficie.

## Materiales y métodos

### Diseño experimental y análisis estadístico

En este estudio se evaluaron 4 grupos de cerdas ( $n = 40$  animales) cada uno en promedio  $\pm 5$ , desde la etapa de destete a aenado ( $6,9 \pm 0,2 - 129 \pm 6$ ) con superficie reducida por

animal ( $0,7 \text{ m}^2/\text{animal}$ ). Se conformaron dos grupos con hembras F1 (Landrace x Yorkshire) con inhibición gonatrópica (T1-CI) y sin el tratamiento (T2-SI); y otros dos grupos con hembras F1 (Yorksire x Duroc Yersey) con inhibición gonadotrópica (T3-CI) y sin tratamiento (T4-SI). En el comportamiento social con alta densidad animal se evaluaron las conductas estereotipadas adquiridas mediante la implementación de un modelo de inteligencia artificial con imágenes de comederos vacíos y ocupados de día y de noche, a través del uso de flash infrarrojo en soporte de videocámaras fijas con campo de visión de  $360^\circ$ . Las hembras (T1 y T3) fueron tratadas a la misma edad y en dos dosis, con un inhibidor de gonadotropinas. Se aplicaron 2 dosis de 2 ml, la primera de ellas a los tres meses y la segunda dosis a los cuatro meses. La población fue homogénea en cuanto a periodo, confinamiento y dieta. Se midieron valores como medios cuantitativos en cada tratamiento. El análisis estadístico se basó en comparar las medias de las variables.

### Análisis cualitativo y evaluación de comportamiento animal

Se realizó un estudio cualitativo observacional donde se clasificó la sumisión y dominancia. Las variables se recopilaron en horarios de mañana y noche, el desplazamiento a áreas de consumo de alimento y de agua (poco: 0 y mucho: 1) e intervalo entre consumos de alimento: poco - 0 - (intervalo  $\geq$  a 2 h) mucho - 1 - (intervalo  $\leq$  a 2 h), a través del uso de videocámaras Insta 360.

Finalmente, se estimaron tres indicadores económicos de la situación sin proyecto innovador y con la aplicación de la técnica disruptiva de manejo: a) costo por kg producido (mayor, menor e igual); b) Rendimiento de Equilibrio [RE]- (mayor, menor e igual); y c) Precio de Equilibrio [PE] (mayor, menor e igual). Estos indicadores se evaluaron cualitativamente confrontando los resultados en ambas situaciones.

## Resultados y discusión

La Tabla 1 detalla los valores medios productivos  $\pm 1$  DS. La interpretación de las frecuencias de comportamiento con relación a la agresividad e intervalos entre consumos de alimento y agua. Finalmente, la concordancia y reciprocidad de los indicadores económicos entre los tratamientos.

En correspondencia con Braun (2019) y Franco et al. (2022), los tratamientos con inhibición de las gonadotropinas hipofisarias resultaron tener mejores ganancias diarias en ambas poblaciones, los consumos diarios fueron semejantes en todos los tratamientos, pero el tiempo a faena resultó significativamente menor en los tratamientos CI (con inhibición) en ambas poblaciones (1, 3).

Los tratamientos con hibridación de descendencia evolutiva de Yorkshire, tanto en la inhibición como en las unidades experimentales sin inhibición, tuvieron resultados significativos en las ganancias diarias; el tiempo a faena y los valores de magro fueron signifi-

cativamente mayores a las híbridas de origen Landrace. Esto se vincula directamente con el comportamiento, tal como mencionan Steibel (2018) y Wurzt et al. (2017) (2, 5), ya que las híbridas obtenidas de líneas puras Landrace (T1 y T2), están fenotípicamente menos adaptadas al confinamiento en altas densidades y a que su condición anatómica de orejas caídas les impide una visión completa, razón de poseer una conducta más sumisa para acercarse a los comederos y bebederos, y con menor frecuencia diurna y nocturna, en concordancia con los estudios de Franco et al. (2022) (3). No obstante, las hembras tratadas en ambos procedimientos resultaron muy tranquilas, pero aún a esa edad persistieron conductas de atención por el tiempo de consumo y uso de los comederos. En los tratamientos con hembras CI el acercamiento a los comederos fue más regular, disminuyendo notoriamente la cantidad de sumisas que lo hacían en tiempos muy cortos y espaciadamente. La inhibición gonadotrópica, en cierta forma, se constituyó en un elemento para uniformar los lotes en cuanto al peso, pues las rezagadas hicieron una compensación ganando peso al final de la etapa de engorde. Ahora, las no castradas biológicamente (SI) continuaron con problemas de jerarquía hasta la venta, fue muy notoria la presencia de un mayor número de animales dominantes frente a los sumisos y con variabilidad de peso a faena. Como sostienen Duarte et al. (2016), las hembras híbridas provenientes de líneas de alto potencial y adaptación al confinamiento, con inhibición gonadotrófica como técnica de manejo para

**Tabla 1.** Resultado e interpretación de las variables medidas

Variables	T1-CI	T2-SI	T3-CI	T4-SI
Ganancia Diaria de Peso [GDP] (kg/día)	0,91±0,07 <i>b</i>	0,83±0,09 <i>c</i>	1,01±0,08 <i>A</i>	0,93±0,09 <i>b</i>
Consumo alimento (kg/día)	2,783	2,763	2,821	2,794
Edad a faena (días)	172±6,3 <i>b</i>	176 ±6,1 <i>c</i>	164a±7,2 <i>A</i>	166 <sup>a</sup> ±7,4 <i>A</i>
Magro (%)	54,92±0,35 <i>ab</i>	53,63±0,51 <i>b</i>	55,47±0,26 <i>A</i>	55,09±0,28 <i>a</i>
S	0	1	0	1
D	1	0	1	1
DD	0	0	1	1
DN	1	1	0	1
Costo/Kg	=	>	<	=
RE	=	>	<	=
PE	>	>	<	=

Nota. Las medias con letra igual no se distinguen significativamente. Fuente: elaboración propia

disminuir la libido sexual de la pubertad, mejora aspectos productivos, de calidad de carcasa, manejo y uso eficiente de instalaciones (4). Razones éstas que optimizan los indicadores económicos sustancialmente, disminuyendo el costo por kg de carne producido en analogía con los expresado por Ghiglione y Braun (2021) (7). Además, el rendimiento de equilibrio puede manejarse en intervalos más flexibles y el precio de equilibrio puede sostener valores de venta en baja, en momentos de mayor oferta del producto consistente con lo descrito en otros modelos productivos (8).

## Conclusiones

Resulta concluyente que la inhibición gonadotrófica en hembras híbridas provenientes de diferentes líneas híbridas se constituye en una técnica de manejo que logra modular la agresividad e incrementa el porcentaje de grasa, comparado con las madres sin inhibición, y se observan resultados beneficiosos en la producción y eficiencia de uso de las instalaciones, aspectos que optimizan los costos directos, la vida útil de las instalaciones y los beneficios netos de las actividades produc-

tivas porcinas, información que se refleja en este estudio en la mayor flexibilidad del RE y PE, lo que posiciona a las empresas con la posibilidad de afrontar con menor dificultad, momentos de caídas de los precios de venta del producto.

La técnica de inhibición de las gonadotropinas hipofisarias en hembras es rápida, no produce inconvenientes sanitarios ni demanda empleo altamente calificado. Aunque aún no se ha implementado en hembras rutinariamente como en machos, es permitida para disminuir la agresividad. Estas técnicas de manejo serán claves para evaluar el comportamiento agresivo de origen racial y genético que estaría asociado con parámetros productivos.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no poseen conflicto alguno de intereses.

## Referencias

- [1] Braun RO. Indicators animal behavior in growing hybrid sows subjected to castration by biological immunization. 70th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science Abstracts. 2019. Ghent, Belgium. Abstract book 40(30534):419. ISSN 1382-6077.
- [2] Steibel JP. Genética del comportamiento agresivo en cerdos. [Memorias del IX Congreso de Producción Porcina del Mercosur]. 2018. Córdoba. Argentina. 135-139 p.
- [3] Franco V, Muñoz MV, Dalla-Via S, Braun, RO. Porcicultura de precisión: Inmunización biológica en hembras para mejorar el rendimiento productivo. *Negocios Agroalimentarios* [en línea]. 2022 7(1):5-11. Disponible en: <https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/8306/v07n01a02franco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] Duarte JL, Cantet RJ, Rubio YL, Bates RO, Ernst CW, Raney NE, Steibel JP. Refining genomewide association for growth and fat deposition traits in an F pig population. *J Anim Sci*. 2016 abr.;94(4):1387-97. DOI: <https://10.2527/jas.2015-0182>. PMID: 27135998.
- [5] Wurtz KE, Siegford JM, Bates RO, Ernst CW, Steibel JP. Estimation of genetic parameters for lesion scores and growth traits in group housed pigs. *J Anim Sci*. 2017 oct.;95(10):4310-4317. DOI: <https://10.2527/jas2017.1757>. PMID: 29108070.
- [6] Palma-Granados P, Lara L, Lachica M, Seiquer I, Fernández-Fígares I, Haro A, Candek-Potokar M, Nieto R. Estudio del potencial de crecimiento de cerdos Ibéricos inmunocastrados en el proyecto TREASURE: resultados preliminares. AECERIBER (eds). Sólo Cerdo Ibérico. 2018 abr.;39:40-47. Disponible en: <https://produccioncientifica.ugr.es/documentos/63bcb8d-5f8c8215fccc54050>
- [7] Ghigliione FA, Braun RO. Modelo de evaluación sistémica en la gestión integral de pequeñas y medianas empresas porcinas. *Perspectivas Ciencias Económicas y Jurídicas UNLPam*, 2021 jul.;11(1):155-168. [ISSN: 2250-4087 Impreso - e-ISSN: 2545-8566 en línea]. Disponible en: <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/perspectivas/article/view/4807/5867>
- [8] Sosa-Bruno J, Braun, RO. Bienestar animal y productividad de gallinas ponedoras alojadas en un sistema a piso libre de jaulas en el Departamento Capital de La Pampa. [tesis de pregrado; digital]. [Santa Rosa]: UNLPAM; 2018. 74 p. Tesis de pregrado Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. Disponible en: <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/1635>



Universidad de  
**CUNDINAMARCA**

[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co)

 Universidad  
de cundinamarca

 ucundinamarcaoficial

 @ucundinamarca

 UCUNDINAMARCATV

