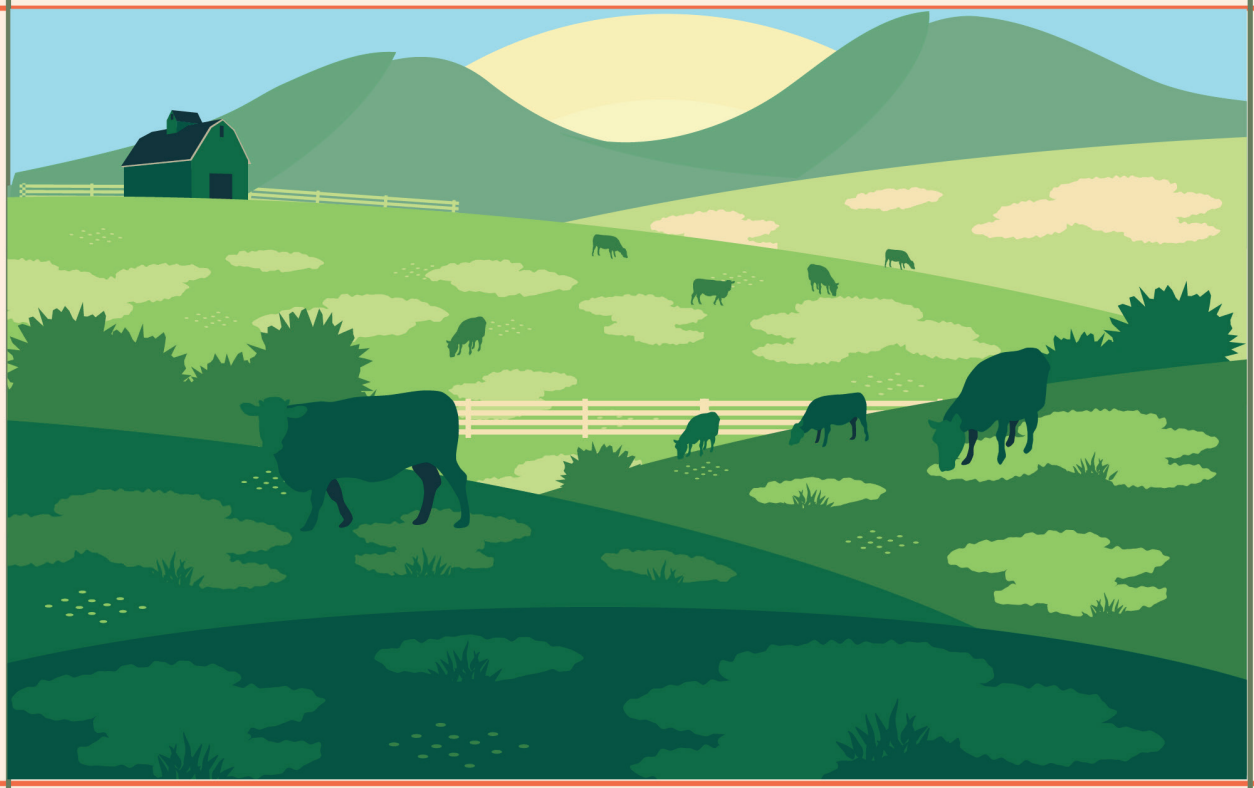
Sistematización de experiencias del Concurso Innova Verde

Concurso Innova Verde

ejecutado por Fundecooperación y Financiado por la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ)



Proyecto "LA JOYA: Cría Verde"
Región Huetar Caribe, Costa Rica

TRANSFORMA-INNOVA

El Concurso de Ideas INNOVA VERDE – Edición Ganadería fue liderado por la Fundación Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible en el marco del programa TRANSFORMA-INNOVA: "Rutas Transformadoras de Baja Emisión de Carbono y Resiliente al Clima en Costa Rica: Agricultura Climáticamente Inteligente y Cadenas de Valor". Este programa promueve la transformación de los sistemas de producción agropecuaria (café, ganadería y musáceas) y azul hacia cadenas de valor sostenibles, biodiversas, bajas en carbono y resilientes al clima en Costa Rica.

El programa TRANSFORMA-INNOVA es co-financiado por la Unión Europea junto al Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK) y el Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Protección de los Consumidores (BMUV) de Alemania, a través de la Iniciativa Climática Internacional (IKI). Además, es implementado en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y ejecutado por la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Conservación Internacional (CI-CR), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Fundación Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación (CRUSA) y la Fundación Banco Ambiental (FUNBAM)

Equipo de coordinación técnica:
José Fabio Sojo

Elaborado por:
Monarka Consultores

TRANSFORMA-INNOVA

Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible

EN COORDINACIÓN CON:

MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA | GOBIERNO DE COSTA RICA / MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA / INSTITUTO COSTARRICENSE PESCA Y ACUICULTURA / SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN / DIRECCIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO

COFINANCIADO POR:

Unión Europea

Por encargo de: Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección del Clima, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania

IKI INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE

IMPLEMENTADO POR:

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

CATIE Solutions for the Inclusive Green Development / Soluciones para el Desarrollo Verde Inclusivo

CONSERVACIÓN INTERNACIONAL Costa Rica

CRUSA

FUNBAM

PNUD

I.Resumen

El proyecto La Joya: Cría Verde, desarrollado en una finca ganadera familiar en Guácimo de Limón, Costa Rica, demostró que es posible avanzar hacia una ganadería más eficiente, resiliente al cambio climático y alineada con los compromisos nacionales de mitigación mediante la incorporación progresiva de innovación tecnológica y mejoramiento genético. La iniciativa integró sistemas de monitoreo electrónico del hato, identificación individual, pesaje digital y técnicas reproductivas como inseminación artificial y fertilización in vitro, permitiendo una toma de decisiones basada en datos y una selección genética orientada a animales con mayor adaptación climática y eficiencia productiva. Asimismo, evidenció el papel clave de la transición generacional en la adopción tecnológica y la sostenibilidad del modelo productivo. En conjunto, el proyecto constituye un caso replicable de ganadería climáticamente inteligente, mostrando que la modernización del sector puede lograrse desde fincas familiares mediante asistencia técnica, uso estratégico de datos y una visión de largo plazo

Palabras claves: ganadería resiliente, datos, innovación tecnológica, mejoramiento genético, adaptación climática.







II. Contexto

En el marco del Programa "TRANSFORMA INNOVA: Rutas transformadoras de baja emisión en carbono y resilientes al clima en Costa Rica", se trabaja con el sector de la ganadería bovina en la implementación de mejoras en los sistemas de producción, con el objetivo de avanzar hacia cadenas de valor más sostenibles y con mayor capacidad de adaptación a la variabilidad climática. Estas acciones aportan al cumplimiento de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) del país y al Plan Nacional de Descarbonización, mediante la incorporación de prácticas productivas que reducen emisiones y fortalecen la resiliencia de las fincas.

El programa es de carácter multidonante y cuenta con el apoyo del Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK) y del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear, Unión Europea y Protección de los Consumidores (BMUV) de Alemania, a través de la Iniciativa Climática Internacional (IKI). En este contexto, el concurso

INNOVA VERDE realizó una convocatoria abierta dirigida a personas productoras del sector ganadero bovino con propuestas innovadoras y con potencial para contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Como resultado de este proceso, se seleccionaron y financiaron 20 proyectos, orientados a poner en práctica y validar medidas que puedan ser replicadas en otras fincas.

La gestión e implementación del concurso estuvo a cargo de Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible, entidad responsable del proceso de selección y del acompañamiento técnico a las personas productoras durante la ejecución de los proyectos. El trabajo de Fundecooperación se orienta a facilitar el acceso a financiamiento y asistencia técnica para iniciativas productivas que incorporan criterios de sostenibilidad ambiental, con el fin de generar impactos positivos a nivel local y contribuir al desarrollo del país.



III. Justificación

El trabajo de reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la adaptación al cambio climático en el sector productivo de la ganadería, se convierten en acciones indispensables para generar un sector competitivo. Según la FAO (2018), "Los productos ganaderos son responsables de más emisiones de gases de efecto invernadero que la mayoría de las otras fuentes de alimentos. Las emisiones son causadas por la producción de alimento, la fermentación entérica, los residuos de animales y el cambio en el uso de la tierra".

"En Costa Rica, la ganadería bovina es la principal fuente de emisiones de GEI dentro del sector agropecuario. Según el IMN (2021), aporta el 69,3% de las emisiones del sector agricultura, que a su vez representa el 22% del total nacional." De acuerdo con lo anterior, en el Inventario Nacional de GEI, se resalta la fermentación entérica del ganado bovino como la fuente predominante, principalmente en forma de metano (CH_4), el cual cuenta con un alto potencial de calentamiento global. Adicionalmente, el manejo de estiércol contribuye de manera significativa mediante emisiones de CH_4 y óxido nitroso (N_2O) en sistemas de tratamiento de excretas o purines.

En el sector ganadero, la integración de la adaptación y la mitigación del cambio climático resulta fundamental debido a la alta vulnerabilidad de los sistemas productivos ante la variabilidad climática y, simultáneamente, a su contribución significativa a las emisiones de GEI. Las fincas ganaderas se ven directamente afectadas por el aumento de la temperatura, la alteración de

los patrones de precipitación, la mayor frecuencia de sequías y eventos extremos, los cuales impactan la disponibilidad y calidad de forrajes, la productividad animal, reproducción y la salud del hato (Villanueva, C., Ibrahim, M., & Castillo, C, 2023).
En este contexto, las medidas de adaptación, como el mejoramiento del manejo de pasturas, mejoramiento genético, uso de tecnología, la diversificación forrajera, los sistemas silvopastoriles y el fortalecimiento de la gestión hídrica, no solo reducen la vulnerabilidad climática, sino que también pueden generar co-beneficios de mitigación al incrementar la eficiencia productiva y reducir la intensidad de emisiones por unidad de producto (FAO, 2019).

La evidencia científica señala que los enfoques integrados de adaptación-mitigación en la ganadería son esenciales para transitar hacia sistemas más resilientes, sostenibles y coherentes con los compromisos climáticos nacionales, donde la ganadería cumple un rol clave en el desarrollo rural y la seguridad alimentaria.

IV. Proyecto "Cría Verde" en finca La Joya

La Finca La Joya se encuentra en la comunidad de Iroquois de Mercedes en Guácimo de Limón, el cual es propiedad de Gildardo Aguilar Corrales, quién con el apoyo de su familia ha logrado mantener la actividad ganadera desde 1990. En la actualidad su hijo, Andrés Aguilar Chavarría, lidera y planifica las acciones necesarias para el mejoramiento y crecimiento de la finca como un proyecto familiar.

La finca es de cría y engorde animal, con alrededor de 34 hectáreas y 84 animales de ganado raza Brahman y otras razas comerciales, la finca busca la la mejora genética de los animales con el fin de aumentar la productividad de animal bovino mediante la adaptación climática. Actualmente, se cuentan con 37 animales, los cuales se encuentran divididos en 43 apartos o potreros en una extensión de terreno para un uso eficiente del pastoreo en 17 hectáreas (34 hectáreas totales de la extensión territorial de la finca). Esto hace que se puedan rotar en los diferentes apartos los animales y probar en cuáles tienen mejores condiciones o no.

El proyecto contempló cuatro líneas principales:

Monitoreo de los animales a través de tecnologías de seguimiento

Adaptación y mejora de las instalaciones

Manejo de datos vinculados a jadeo y rumen

Mejora de la genética de los animales bovinos

El proyecto "Cría Verde" se desarrolló con el propósito de realizar una transición de la finca hacia ganadería de cría con pastoreo racional después de la pandemia Covid-19, buscando un balance entre la cantidad y el precio diferenciado; es decir se trabaja para mejorar la calidad del ganado, donde aumente la producción del animal bovino y por ende, se obtenga un mejor precio por las reses con mejoramiento genético.

Aunado a lo anterior, para lograr este objetivo se considera indispensable contar con medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático en los sistemas ganaderos, dónde se implementen estrategias como: a) la mejora de la genética del ganado para incrementar la resistencia a condiciones climáticas y otras condiciones como enfermedades provocadas por vectores y estrés térmico, lo cual debilita el sistema inmune de los animales, b) la adopción del uso de tecnologías para la toma de decisiones a través de datos, y c) la implementación de buenas prácticas de inseminación para la obtención de más animales adaptados al cambio climático (Canet Castelló y Pérez Piqueres, 2017; De la Cruz López, 2024; y Gómez Brito et al, 2019). Demostrando que el trabajo y el compromiso de la finca demuestra una transición a sistemas más resilientes al cambio climático.

4.1. Objetivo del proyecto

Desarrollar un sistema de monitoreo electrónico del hato que facilite el control reproductivo y permita la aplicación de técnicas como la Fecundación In Vitro, la transferencia de embriones, con el propósito de fortalecer la mejora genética y productiva en Finca La Joya: Cría Verde.

4.2. Actividades ejecutadas del proyecto

El proyecto contempló la implementación de un sistema integral de monitoreo, trazabilidad, mejoramiento genético e infraestructura productiva para la finca, orientado a incrementar la eficiencia productiva y la adaptación climática, entre las actividades financiadas se incluye:

- Se realizó la instalación de collares electrónicos cSense Flex Up Premium adquiridos, con su respectiva antena, controlador Sensetime y sistema eléctrico, para el monitoreo continuo del ganado en la finca, dónde se recolecta información vinculada a 1. Rumia (minutos/día) para gestionar la salud digestiva y confort; 2. Ingesta/ tiempo comiendo que indica cuánto pasa el ganado comiendo; 3. Actividad (pasos/movimientos) para detectar el celo (alta actividad) o enfermedad (baja actividad o letardo), y 4. Jadeo/ respiración con el fin de calcular índices de estrés calórico.

- Mediante el uso de aretes electrónicos y lectores de última generación, se digitalizó el control del hato. Este sistema permitió transformar cada interacción con el animal en datos valiosos, facilitando un seguimiento preciso de la salud, el pesaje y los ciclos reproductivos, optimizando así la toma de decisiones basada en información exacta y actualizada.

- Para fortalecer la gestión productiva, se incluye la adquisición de una romana electrónica para pesaje de ganado, junto con su plataforma, lo que permitió un control preciso del desempeño animal.

- Adicionalmente, el proyecto financió la producción de embriones mediante fertilización in vitro (FIV), utilizando vacas donantes para la producción de embriones individualizados, con el fin de acelerar el mejoramiento genético del hato.

- Finalmente, la instalación de conectividad satelital, asegurando la operación continua de los sistemas tecnológicos implementados.

- Como dato adicional, se consideró mejoras en la infraestructura de corrales y red hídrica, mediante la compra de materiales como canoas, láminas, perfiles metálicos, concremix y elementos de fijación, los cuales se asignaron a las actividades de contrapartida por la finca.

V. Resultados obtenidos

4.1. Mejora genética

Como parte de los resultados de la implementación del proyecto, se inició un proceso de selección de ganado bovino apto a través de observación de las condiciones de adaptabilidad climática e inmunidad a enfermedades por vectores, así cómo, la observación del comportamiento y personalidad del animal bovino ante la interacción con el resto del hato.

El proceso de transferencia de embriones de manera adecuada conllevó un periodo de 33 días para lograr:

Selección de una hembra con características deseadas

Fase 1

Sincronización de celo y control reproductivo

Fase 2

Siembra (transferencia) de embrión

Fase 3

Confirmación de gestación

Fase 4

Seguimiento del estado del feto

Fase 5

El proceso reproductivo del proyecto se estructuró en una secuencia de fases técnicas orientadas a maximizar la eficiencia genética y reproductiva del hato. En primer lugar, se realizó la selección de hembras con características deseadas, considerando criterios genéticos, condición corporal, historial sanitario y reproductivo, así como indicadores de comportamiento y adaptación climática. Posteriormente, se llevó a cabo la sincronización del celo mediante palpación y control reproductivo, aplicando protocolos veterinarios que permitieron verificar el estado fisiológico óptimo de las hembras receptoras y reducir la incertidumbre asociada a la detección de celo, particularmente en animales con manifestaciones poco evidentes.

Una vez aseguradas las condiciones reproductivas adecuadas, se procedió con la siembra o transferencia del embrión bajo condiciones controladas, priorizando el momento óptimo para aumentar la probabilidad de gestación. El proceso continuó con la confirmación temprana del embarazo mediante evaluación veterinaria, lo que permitió realizar ajustes oportunos en el manejo del animal. Finalmente, se desarrolló un seguimiento continuo del estado del feto y de la condición de la hembra gestante, con el objetivo de asegurar un embarazo viable, minimizar riesgos reproductivos y fortalecer la toma de decisiones basada en información técnica durante todo el ciclo reproductivo.

Estudios sobre factores que afectan la tasa de concepción en bovinos han encontrado que la eficacia reproductiva de la inseminación artificial puede ser baja, con tasas de gestación al primer servicio en rangos cercanos al 25–26% en contextos prácticos, influenciada por factores como la habilidad del técnico, manejo del celo y condiciones del animal, lo cual refleja una probabilidad reducida de éxito reproductivo comparada con el potencial teórico más alto (Horrach Junco, 2021).

4.2. Implementación de nuevas tecnologías

Adicionalmente, se instalaron las cercas eléctricas y se mejoraron las cercas vivas dónde se utilizan los árboles nativos como división natural de los apartos o potreros. Para esto, se necesitó de mano de obra para lograr las divisiones, y se necesitó la mejora del panel controlador de energía con resistencia startlink, el cual no solamente soportó las cercas eléctricas sino brindó energía a los insumos entregados como la romana con bastón eléctrico y los equipos de interpretación de datos. De estos insumos, se entregaron 12 collares provenientes del presupuesto del proyecto y 10 de contrapartida, los cuales se colocaron en los cuellos del ganado bovino con el propósito de almacenar datos vinculados a peso, rumen, jadeo, fechas de parto y monitoreo de rutas de pastoreo del ganado.

Así también, se mejoró la instalación de un panel controlador de energía el cual se necesitaba para la transmisión de corriente eléctrica a las cercas y dispositivos de ultrasonidos y romana con bastón eléctrico encargados de generar datos vinculados a las fechas de los animales bovinos. Instalándose una antena de internet para llevar un seguimiento de la información proveniente de los collares.

El uso de esta tecnología permite detectar signos de adaptabilidad climática, patrones de pastoreo/jadeo, signos de estrés calórico y reducción de jadeo para mejorar la genética de selección e inseminación artificial del ganado bovino.

4.3. Administración de la finca

Finalmente, un resultado importante del proyecto es que se evidenció que la transición generacional y el involucramiento activo de los hijos y las hijas en la gestión de la finca constituyen un factor determinante para la obtención de mejores resultados productivos, tecnológicos y organizativos. La participación de nuevas generaciones facilita la adopción de tecnologías de monitoreo, el uso sistemático de datos para la toma de decisiones y una mayor apertura a la implementación de prácticas innovadoras, como el mejoramiento genético asistido y la gestión reproductiva basada en información objetiva. Esta transición generacional fortaleció la continuidad del conocimiento productivo familiar, al tiempo que incorporó nuevas capacidades técnicas y digitales, y asegura la sostenibilidad del sistema ganadero a mediano y largo plazo.

V. Toma de decisiones a partir de datos

La implementación de tecnologías de monitoreo electrónico en el proyecto La Joya: Cría Verde generó cambios relevantes en la forma en que se toman decisiones productivas y reproductivas dentro de la finca. El uso de collares electrónicos, identificación individual, pesaje regular y conectividad permitió pasar de una gestión basada principalmente en la observación empírica a una toma de decisiones sustentada en información objetiva y continua.
Los datos generados por los collares electrónicos facilitaron el seguimiento individual de cada animal, permitiendo identificar patrones asociados al comportamiento, actividad ruminal, jadeo, estrés térmico y movilidad dentro de los potreros. Esta información fue clave para detectar animales con mejor adaptación a las condiciones climáticas locales, así como aquellos con señales tempranas de estrés o menor desempeño, lo que orientó decisiones de selección, descarte y priorización reproductiva.

En el ámbito reproductivo, la disponibilidad de datos permitió una mejor sincronización de los procesos de inseminación artificial y transferencia de embriones, al contar con información más precisa sobre los periodos de celo y la condición fisiológica de las vacas receptoras. Si bien las tasas de gestación iniciales fueron moderadas, el uso sistemático de información permitió comprender las causas de estos resultados y ajustar progresivamente las decisiones técnicas, reduciendo la incertidumbre asociada a estos procesos.

Por ejemplo, se espera una mejora en el aumento de la tasa de crecimiento de terneros con características de mejora genética, debido a la inseminación de dos vacas con condiciones aptas, y se espera aumentar el promedio de nacimientos a 12 terneros provenientes del proceso de Inseminación In Vitro realizado ajo la intervención del proyecto.

Asimismo, el registro de pesos mediante la romana electrónica aportó información clave para evaluar el desempeño productivo del hato, facilitando comparaciones entre animales y apoyando decisiones relacionadas con el manejo nutricional, la rotación de potreros y la selección genética. Este enfoque contribuyó a mejorar la eficiencia productiva por animal, un aspecto fundamental para reducir la intensidad de emisiones de GEI por unidad de producto. El uso de tecnologías de monitoreo individual fortalece la toma de decisiones basada en evidencia, permitiendo mejorar la eficiencia productiva, reproductiva y la adaptación climática del hato (Berckmans, 2017; Bewley, 2010).

Por lo tanto, una mayor eficiencia por animal contribuye a la reducción de la intensidad de emisiones de GEI en sistemas ganaderos. De manera transversal, este uso de tecnología fortaleció la capacidad de planificación de la finca, al contar con información histórica permitirá evaluar tendencias, anticipar riesgos y tomar decisiones con una visión de mediano y largo plazo (FAO, 2019).

En conjunto, la incorporación de tecnologías de monitoreo electrónico en el proyecto La Joya: Cría Verde permitió consolidar un cambio estructural en la gestión productiva y reproductiva de la finca, al sustituir decisiones basadas en observación aislada por un enfoque sistemático sustentado en datos. Este uso de información objetiva fortaleció la selección genética, optimizó los procesos reproductivos y mejoró la eficiencia productiva por animal, generando beneficios directos en la adaptación climática del hato y en la reducción de la intensidad de emisiones de GEI. Asimismo, el acceso a información histórica y continua amplió la capacidad de planificación de la finca, facilitando la anticipación de riesgos y la toma de decisiones estratégicas con una visión de mediano y largo plazo, lo que posiciona este modelo como una práctica sostenible y replicable en otros sistemas ganaderos.

VI. Lecciones aprendidas

La experiencia del proyecto La Joya: Cría Verde evidencia que la innovación tecnológica aplicada a la gestión reproductiva y genética en sistemas ganaderos requiere un enfoque progresivo, basado en datos y con expectativas realistas en el corto plazo.

Una primera lección clave es que los procesos de fertilización in vitro (FIV) presentan tasas de éxito variables y, en etapas iniciales, relativamente bajas, lo cual debe ser incorporado desde el diseño del proyecto como parte del aprendizaje técnico y no como un fallo del modelo productivo. La obtención de gestaciones exitosas depende de múltiples factores interrelacionados; condición fisiológica de las vacas donantes y receptoras, sincronización de celos, habilidad técnica y condiciones ambientales, por lo que la repetición del proceso y el seguimiento continuo resultan fundamentales para mejorar los resultados a mediano plazo, además, el monitoreo en tiempo real de las vacas en su período de celo asegura una mejor probabilidad de aumentar la tasa de inseminación en las vacas gestantes.

Asimismo, se identifica como lección central que la implementación de sistemas de monitoreo electrónico del hato (collares, identificación individual, pesaje y conectividad) fortaleciendo significativamente la toma de decisiones basada en evidencia, permitiendo identificar animales con mejor adaptación climática, menor estrés térmico y mayor eficiencia productiva. Esta información resulta clave para orientar los procesos de selección genética, reducir pérdidas reproductivas y mejorar la resiliencia del sistema ganadero frente a la variabilidad climática.
Finalmente, el proyecto resalta la importancia de la participación familiar y generacional en la adopción de tecnologías, lo cual facilita la apropiación del conocimiento, la sostenibilidad de las innovaciones y la continuidad del modelo productivo en el tiempo. Con el surgimiento de estas tecnologías para el sector ganadero las personas productoras obtienen mayores oportunidades de continuar y crecer con las metas establecidas para las fincas ganaderas.

VII. Caso práctico para replicar y escalar a otras fincas.

Un modelo replicable desde la finca familiar hacia una ganadería moderna y resiliente: El proyecto La Joya "Cría Verde" demuestra que la transformación de la ganadería no requiere partir de grandes explotaciones ni de inversiones inalcanzables, sino de una visión clara de largo plazo, acompañada por decisiones graduales y bien informadas. La experiencia de esta finca familiar evidencia que es posible integrar mejoramiento genético, adaptación al cambio climático y eficiencia productiva, cuando se combinan el conocimiento tradicional de la persona productora con nuevas herramientas tecnológicas y asistencia técnica especializada.

Un elemento central del éxito del proyecto fue el proceso de transición generacional, donde el involucramiento activo de los hijos en la gestión de la finca, que permitió incorporar nuevas capacidades, especialmente en el uso de tecnología, servicio veterinario y análisis de datos. Esta participación facilitó la adopción de sistemas de monitoreo electrónico del hato, el registro sistemático de información productiva y reproductiva, y una mayor apertura a probar prácticas innovadoras, como la inseminación artificial y la fertilización in vitro. Lejos de desplazar el conocimiento acumulado por generaciones, este proceso permitió fortalecerlo y actualizarlo, asegurando la continuidad del proyecto productivo en el tiempo.

Para otras fincas interesadas en replicar esta experiencia, el primer paso recomendado es realizar un diagnóstico sencillo, pero estratégico, que permita conocer el estado del hato, las condiciones climáticas locales y las principales limitaciones productivas. A partir de ahí, la implementación de un sistema básico de identificación individual y monitoreo –como collares electrónicos, pesaje regular e identificación electrónica– se convierte en una herramienta clave para empezar a tomar decisiones basadas en datos y no únicamente en la observación empírica.

Este modelo puede escalar hacia la aplicación de técnicas reproductivas avanzadas, priorizando animales que ya han demostrado mejor adaptación climática, menor estrés térmico y mayor eficiencia productiva. La recolección de datos en este caso permite a las personas productoras conocer los cambios y avance de la genética del ganado bovino dónde se reduzca el sobre utilización de pasturas y otras acciones las cuales acortan la vida productiva de los suelos lo cual reduce el porcentaje de emisiones de GEI. La experiencia de La Joya muestra que, aunque estos procesos pueden presentar resultados graduales y tasas de éxito variables en etapas iniciales, su implementación sostenida permite mejorar progresivamente la genética del hato, optimizar el uso de pasturas y reducir prácticas que afectan la salud del suelo y la productividad a largo plazo.

Finalmente, este enfoque genera beneficios que van más allá de la finca. La trazabilidad de la información, la mejora en la eficiencia por animal y la adaptación climática del sistema productivo abren la puerta a mercados especializados que reconocen el uso de prácticas sostenibles, acceso a financiamiento climático y alianzas con programas públicos y privados. De esta manera, el proyecto se consolida como una ruta práctica y realista para que otras personas productoras transiten hacia una ganadería climáticamente inteligente, sin perder el carácter familiar de sus fincas y fortaleciendo su sostenibilidad económica, ambiental y generacional.

VIII. Bibliografía

Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. Animal Frontiers, 7(1), 6–11. https://academic.oup.com/af/article/7/1/6/4638786 Bewley, J. M. (2010). Precision dairy farming: Advanced analysis solutions for future profitability. Journal of Dairy Science, 93(9), 427–437. ***https://doi.org/10.3168/jds.2009-2521.***

Canet Castelló, R., y Pérez Piqueres, A. (mayo 2017). Mitigación y adaptación al cambio climático en la agricultura y la ganadería. Nota Técnica. Comunidad Valenciana, España.

De la Cruz López C. A. (2024). El cambio climático y la ganadería en México. Elementos 135 (2024) 135-139.

Gómez Brito O, Álvarez Figueroa O, Lopetegui Moreno CM, et al. (2019). Recomendaciones a partir de las experiencias y resultados del proyecto AGROCADENAS. Medidas de adaptación al cambio climático para cadenas ganaderas. La Habana, Cuba. IIFT/MINAG/PNUD. 978-959-296-061-9.

González Ulibarry, P. (2020). Efecto del cambio climático sobre la ganadería. Asesoría Técnica Parlamentaria. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Nº SUP: 124.553.

Horrach Junco, M. N. (2021). Factores que afectan la tasa de concepción en inseminación artificial en bovinos. Revista Científica Scielo. Obtenido de: ***http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202021000100026.***

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2021). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

FAO. (2018). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Soluciones ganaderas para el cambio climático.

FAO. (2019). Climate change and the global dairy cattle sector: The role of adaptation and mitigation. FAO Animal Production and Health Working Paper No. 8.

Villanueva, C., Ibrahim, M., & Castillo, C. (2023). Enteric methane emissions in dairy cows with different genetic groups in the humid tropics of Costa Rica. Animals, 13(4), 730. ***https://doi.org/10.3390/ani13040730.***