

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



Apoyo en actividades durante el periodo de cierre del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” y manejo de sistemas de producción de hortalizas dentro del Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible, en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

POR

SALVADOR ERNESTO ESCOBAR LARREYNAGA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



Apoyo en actividades durante el periodo de cierre del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” y manejo de sistemas de producción de hortalizas dentro del Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible, en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

POR

SALVADOR ERNESTO ESCOBAR LARREYNAGA

REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2026.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. AGR. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO

ING. AGR. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS

SECRETARIO

ING. AGR. M. Sc. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

LIC. DANIEL DE JESÚS PALACIOS HERNÁNDEZ

ASESOR INTERNO

ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUÍN REINA

ASESOR EXTERNO

ING. AGR. M. Sc. HELMER ALONSO ESQUIVEL

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION DEL DEPARTAMENTO DE

RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUÍN REINA

RESUMEN

El proceso de pasantía profesional se llevó a cabo en la Representación del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en El Salvador desde noviembre de 2024 hasta noviembre de 2025.

Se desempeñaron diferentes funciones en las que se evaluaron las destrezas del estudiante, siendo participe en actividades desarrolladas dentro del laboratorio de pruebas para validación de innovaciones en sistemas de agricultura sostenible, manejando sistemas de producción de hortalizas y peces, en la segunda actividad se apoyó en el período de cierre del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” ejecutando labores técnicas y administrativas y en la tercera actividad se desarrollaron algunos aspectos no cubiertos en sus totalidad durante la ejecución del proyecto como un instrumento capaz de recolectar información detallada de las ganaderías bovina de El Salvador con el propósito de establecer un sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) y registrar todo lo relacionado a la ganadería orientado a elaborar estimaciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) bajo tres enfoques de emisiones: fermentación entérica, gestión del estiércol y aplicación de fertilizantes nitrogenados, todo esto por medio de las directrices del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

También se elaboró una calculadora de emisiones GEI que consolida ecuaciones y tablas de emisiones, automatizando la realización de cálculos. Con las actividades elaboradas y creación de los diferentes documentos, se intenta cubrir las diferentes áreas vulnerables en la oficina y que con los resultados obtenidos se dé continuidad a aspectos no cubiertos durante la ejecución del proyecto de “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” por falta de información para hacer efectivas las metas planteadas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por sus siglas en inglés).

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

AGRADEZCO:

A MI MADRE Y MI PRIMO: Mirna Cecilia Larreynaga Gallegos y Eduardo Antonio Hernández Larreynaga, que pese a las circunstancias que en nuestra vida hemos experimentado nunca dejaron de apoyarme incondicionalmente en cada pasaje de mi camino académico y profesional.

A MI PADRE: Salvador Escobar Amaya, que siempre me compartió las palabras correctas y me enseñó la importancia de valorar cada ser vivo en la tierra.

A MIS TÍOS: Rosa Elizabeth Larreynaga de Mojica y Jaime Mojica, que fueron pilares morales en mi vida, me guiaron cuando no encontraba la salida a los problemas que me aquejaban y me enseñaron a que la perseverancia, la paciencia y la fuerza de voluntad me llevarían a conseguir lo que me propusiera.

AL INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA) REPRESENTACIÓN EL SALVADOR: Por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mis prácticas profesionales y brindarme responsabilidades que pusieron a prueba mis conocimientos aprendiendo constantemente a encontrar la solución a los problemas a través de la observación y análisis de las situaciones.

A AMIGOS, COMPAÑEROS Y DOCENTES: Jonathan Díaz, Laura Méndez, Andrea Reyes, Gerardo Marroquín, Diego Sosa, Julia Castillo, Erick Medina, Roberto Olivares, Marvin Interiano, Gerardo Rodas, Jonathan González, Néstor Rodríguez, Rodrigo Pérez, Steven Salinas y todos aquellos con los que compartí en la Facultad de Ciencias Agronómicas que me apoyaron durante el desarrollo de mi pasantía profesional y que abonaron con sus conocimientos y observaciones, fortaleciendo mis áreas más débiles.

SALVADOR ERNESTO ESCOBAR LARREYNAGA

DEDICADO:

A MIS ABUELOS: María Isabel Gallegos de Larreynaga y Miguel Antonio Larreynaga Rosales, que sin su legado y enseñanzas no hubiera construido la persona quien soy hoy en día y que nunca perderá el ímpetu para conservar su integridad moral y ética ante la adversidad que se presenta en la senda de la vida que he recorrido y he de recorrer.

A MI TÍA: Janira Margarita Larreynaga Gallegos, que sin sus palabras de aliento no me hubieran impulsado a querer superarme.

SALVADOR ERNESTO ESCOBAR LARREYNAGA

INDICE

1. INTRODUCCION.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. General	3
2.2. Específicos.....	3
3. INFORMACIÓN DE LA UNIDAD PRODUCTIVA.....	4
3.1. Datos generales.....	4
4. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS	10
5. MARCO TEORICO.....	11
5.1. Generalidades sobre el cambio climático	11
5.2. Problemáticas en la agricultura derivadas del cambio climático	14
5.3. Sectores y categorías de fuentes de emisiones de GEI	16
5.4. Marco político y compromisos de El Salvador ante el cambio climático	19
5.5. Construcción de la NAMA en ganadería bovina de El Salvador	22
5.6. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI y 2019 Perfeccionamiento de las Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios nacionales de gases de efecto.....	25
5.7. Prácticas y Tecnologías para una Agricultura Sostenible	28
6. METODOLOGIA	33
6.1. Metodología de oficina.....	33
6.2. Metodología de campo.....	48
6.3. Actividades emergentes	50

7. RESULTADOS Y DISCUSION	51
7.1. Organización de información técnica, administrativa y financiera del proyecto bajo las normas, reglas y nomenclaturas establecidos por el cooperante y remisión oficial de documentación.....	51
7.2. Atención a visitas del Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible (Invernadero)	51
7.3. Actividades técnicas ejecutadas en el Laboratorio de pruebas (invernadero) y huerto externo del IICA El Salvador.....	52
7.4. Elaboración de un instrumento para recolección de datos en fincas ganaderas bovinas.	53
7.5. Compilación de ecuaciones para estimar emisiones de GEI en la ganadería bovina y aplicación de fertilizantes nitrogenados.....	56
7.6. Diseño de una calculara en Excel y automatización de ecuaciones para estimar emisiones de GEI en las ganaderías bovinas de El Salvador.....	65
8. CONCLUSIONES	67
9. RECOMENDACIONES	68
10. BIBLIOGRAFIA	69
11. ANEXOS	75

Índice de cuadros

Cuadro 1. PCG de los principales GEI vinculados al rubro de la ganadería bovina y aplicación de fertilizantes nitrogenados publicados en el IE5.	37
Cuadro 2. Coordinación logística para visita a fincas piloto y CDP's de oriente de El Salvador.	48

Índice de figuras

Figura 1. Árbol de decisiones para la caracterización de la población ganadera (Gavrilova <i>et al</i> , 2019).	38
Figura 2. Árbol de decisiones para las emisiones de CH ₄ derivadas de la fermentación entérica (Gavrilova <i>et al</i> , 2019).	40
Figura 3. Árbol de decisiones para las emisiones de CH ₄ derivadas de la gestión del estiércol (Gavrilova <i>et al</i> , 2019).	42
Figura 4. Árbol de decisiones para las emisiones directa e indirectas de N ₂ O derivadas de la gestión del estiércol (Gavrilova <i>et al</i> , 2019).	44
Figura 5. Árbol de decisiones para las emisiones directas de N ₂ O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Hergoualc'h <i>et al</i> , 2019).	46
Figura 6. Árbol de decisiones para las emisiones indirectas de N ₂ O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Hergoualc'h <i>et al</i> , 2019).	47

índice de anexos

A - 1: Sección 1 del instrumento de recolección de datos donde se obtiene información general de la ganadería a intervenir.	75
A - 2: Sección 2 del instrumento de recolección de datos donde se obtiene información sobre la caracterización del hato, las subcategorías y el tipo de sistema productivo.	75
A - 3: Sección 3 del instrumento de recolección de datos donde se obtiene información sobre la caracterización del alimento del hato.	76

A - 4: Sección 3.1. del instrumento de recolección de datos donde se obtiene información el uso de suplementos alimenticios, manejo de potreros y aplicación de fertilizantes nitrogenados.....	76
A - 5: Sección 4 del instrumento de recolección de datos donde se obtiene información sobre la caracterización de la gestión del estiércol para estimar las emisiones de CH ₄ y N ₂ O, los sistemas de gestión de las deposiciones y la sección de comentarios adicionales para especificar tiempo de almacenamiento, temperaturas de la granja, entre otros aspectos que se consideren relevantes.....	77
A - 6: Sección 5 del instrumento de recolección de datos donde se dispone de un apartado para colocar valoraciones u observaciones relevantes de la ganadería intervenida.	77
A - 7: Portada de la calculadora para estimar los GEI en la ganadería bovina y emisiones directas e indirectas de N ₂ O producto de aplicaciones de fertilizantes nitrogenados.	78
A - 8: Código QR con acceso a los productos elaborados durante la ejecución de la pasantía profesional.....	78

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Estimación de reducciones GEI.	56
Ecuación 2. Emisiones de generales de CH ₄ asociadas a fermentación entérica del ganado ..	57
Ecuación 3. Cálculo de factor de emisión de metano para cada categoría del hato	57
Ecuación 4. Calculo para obtener la ingesta de materia seca por día (DMI) para terneros y terneras	58
Ecuación 5. Calculo para obtener la DMI para toros, bueyes, toretes y novillos.....	58
Ecuación 6. Calculo para obtener la DMI para novillas	58
Ecuación 7. Calculo para obtener la DMI en vacas lecheras	58
Ecuación 8. Calculo para obtener la DMI en vacas no lecheras	59
Ecuación 9. Emisiones de generales de CH ₄ asociadas a la gestión de estiércol en condiciones anaeróbicas.....	59
Ecuación 10. Estimación de factores de emisión para cada categoría del hato	60

Ecuación 11. Estimación de sólidos volátiles excretados por año para cada categoría del hato	60
Ecuación 12. Emisiones de generales (directas e indirectas) de N ₂ O asociadas a la gestión de estiércol en condiciones anaeróbicas	61
Ecuación 13. Estimación de emisiones directas de N ₂ O asociadas a la gestión de estiércol ...	61
Ecuación 14. Promedio anual de excreción de nitrógeno por cabeza	62
Ecuación 15. Estimación de emisiones indirectas de N ₂ O asociadas a la gestión de estiércol	62
Ecuación 16. Estimación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización	63
Ecuación 17. Estimación de las pérdidas de nitrógeno por escorrentía o lixiviación.	63
Ecuación 18. Estimación general de emisiones directas e indirectas de N ₂ O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.	63
Ecuación 19. Calculo para determinar la cantidad Nitrógeno aplicado por año	64
Ecuación 20. Cálculo de emisiones directas de Óxido Nitroso (N ₂ O) derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.....	64
Ecuación 21. Cálculo de emisiones indirectas de N ₂ O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.....	65

1. INTRODUCCION

La agricultura es el principal medio de vida para muchas familias rurales en El Salvador, quienes dependen de ella para obtener su sustento y mantener la estabilidad de su producción. Sin embargo, cada año esta actividad se enfrenta a mayores dificultades que derivan de problemas económicos, sociales y asociados al cambio climático. Como consecuencia, algunos agricultores han tenido que abandonar el sector e incluso muchos aseguran que se han visto presionados a vender sus tierras (Ramos, 2024).

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) Representación El Salvador, está realizando esfuerzos constantes mediante la cooperación multilateral para fortalecer el sector agropecuario, la seguridad y soberanía alimentaria de las familias que se desempeñan en él. Durante el año 2022, se dio pie a una iniciativa que posteriormente, fue consolidado como el proyecto “Construcción de la NAMA (Acción Nacionalmente Apropriada de Mitigación) en Ganadería Bovina de El Salvador” que abordaba soluciones integrales para la ganadería nacional a través de la asistencia técnica de los extensionistas de la Dirección General de Ganadería del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG-DGG), sus descentralizadas Escuela Nacional de Agricultura (ENA), Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) e Instituto Salvadoreño de Transformación Agraria (ISTA) y el IICA que fueron capacitados sobre medidas de mitigación de GEI y adaptación al cambio climático como establecimiento de pastos mejorados, bancos proteicos y energéticos, punto óptimo de cosecha de pastos, rotación de potreros, uso y elaboración de probióticos y manejo de estiércol (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, 2022).

El propósito del proyecto además de fortalecer los conocimientos de los ganaderos para mejorar las técnicas de producción y orientarla hacia un enfoque sostenible y bajo en emisiones, es cumplir con el compromiso país planteado en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC's) de reducir las emisiones acumuladas del sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés) a partir del 2015 y entre 2035 y 2040 en 50,857.5 Kton CO₂ Eq y específicamente para el sector ganadero se reducirían las emisiones entre 230 y 1,389 Kton CO₂ Eq, solamente al aplicar acciones de mitigación relacionadas con la fermentación entérica, la gestión del estiércol y la reducción de la aplicación de fertilizantes sintéticos (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

También, el IICA está trabajando en tecnologías aplicables a la producción sostenible de hortalizas en su Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible. En este laboratorio se experimenta con sistemas hortícolas de producción vertical, como la acuaponía y la hidroponía, los cuales minimizan el uso de agua y evitan el uso de pesticidas. Además, estas tecnologías operan bajo estructuras de ambiente protegido, lo que reduce la necesidad de fertilizantes químicos, ofreciendo alternativas más sostenibles para la producción de hortalizas. Estas innovaciones contribuyen al fortalecimiento de la seguridad alimentaria de las familias salvadoreñas. (IICA, 2025a).

La pasantía se se enfocó en el apoyo técnico y administrativo para el cierre del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador”, el desarrollo y elaboración de un instrumento de recolección de datos para obtener información de las fincas ganaderías intervenidas por el proyecto, una calculadora en Excel para agilizar la elaboración de cálculos para estimar las emisiones de GEI de las ganaderías, esto funcionará como precedente de la implementación de un sistema de MRV, que permitirá evaluar la reducción emisiones en la ganadera bovina de El Salvador. Asimismo, se brindó apoyo en el manejo de los sistemas de producción hortícola del Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible. Esta labor incluyó la toma de datos sobre el desarrollo de cultivos, el monitoreo de los parámetros de los estanques, y el mantenimiento de los sistemas, garantizando que funcionen en condiciones óptimas.

2. OBJETIVOS

2.1. General

- Apoyar durante el periodo de cierre del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” y manejo de sistemas de agricultura sostenible, en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

2.2. Específicos

- Estructurar un instrumento para recolección de datos en fincas ganaderas y una calculadora para estimar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para ser aplicados en un sistema de Monitoreo, Registro y Verificación (MRV).
- Gestionar información administrativa y técnica en el marco del cierre del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador”.
- Apoyar en el manejo de sistemas acuapónicos e hidropónicos y registro de variables en el desarrollo de cultivos del Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible.

3. INFORMACIÓN DE LA UNIDAD PRODUCTIVA

3.1. Datos generales

La pasantía tuvo su desarrollo en el IICA Representación El Salvador, ubicado en la Avenida Manuel Gallardo y Final 1ª. Avenida Norte (Avenida Julio Gaitán), Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, coordenadas 13.68303, -89.28645 (IICA, s.f. a). No obstante, se realizaron giras de campo a fincas que fueron intervenidas por el proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” con el propósito de entregar materiales durante el período de cierre. También se realizaron actividades en el Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible ubicado dentro del invernadero de la Representación del IICA El Salvador.

3.1.1. Antecedentes.

La institución se fundó en 1942 como el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, con sede en Turrialba, Costa Rica. En el 1948, se conforma la Organización de los Estados Americanos (OEA), en ese momento el IICA paso a convertirse en el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano. En 1979, se creó la Junta Interamericana de Agricultura (JIA) como su máximo órgano de gobierno y el IICA cambió su nombre a Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), para aquel entonces la membresía se había ampliado a 29 países. Actualmente, es el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano que apoya el desarrollo agrícola y el bienestar rural de sus 34 Estados Miembros. El IICA es una institución que ejecuta proyectos con fondos propios o externo, ofreciendo Cooperación Técnica (CT) de excelencia con la que gestiona conocimiento para la generación de bienes públicos internacionales que suman al logro de resultados eficientes, eficaces y efectivos que contribuyen al desarrollo rural de la región con impacto real (IICA, s.f. b).

En El Salvador la primera oficina del instituto se estableció en 1972. Desde entonces, el IICA ha brindado cooperación técnica en temas relacionados con el desarrollo agrícola y el bienestar rural apuntando al fortalecimiento de la soberanía y seguridad alimentaria a través de diferentes iniciativas como: apoyo y diferentes estratos de producción en la agricultura familiar, la gestión y uso eficiente recursos naturales, técnicas de adaptación de sistemas agroalimentarios al Corredor Seco Centroamericano (CSC), la innovación tecnológica, la sanidad agropecuaria, la competitividad y el comercio, la seguridad alimentaria y nutricional, el cambio climático, la inclusión social y la equidad de género, entre otros (IICA 2020a).

El IICA ha apoyado activamente en diferentes iniciativas del gobierno y al sector privado de El Salvador en la formulación e implementación de políticas, planes, programas y proyectos que contribuyen al fortalecimiento institucional, la generación de capacidades, la articulación de actores, la transferencia de conocimientos y el intercambio de experiencias. Algunos ejemplos de la cooperación técnica de la Representación del IICA El Salvador son:

- Apoyo al Gobierno electo de El Salvador para el diseño de las bases de un Programa de Modernización Agropecuaria en El Salvador 2019-2024: El enfoque está en fortalecer la competitividad de la agricultura y agroindustria, con especial énfasis en cadenas productivas de hortalizas, frutas y café. La iniciativa busca contribuir a la mejora de la seguridad alimentaria y el desarrollo rural en el país (IICA, 2019).
- Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA): esta iniciativa regional se centró en la recuperación y fortalecimiento del sector cafetalero de Centroamérica, ofreciendo capacitación e inversión en equipos e insumos a miles de pequeños productores para superar las consecuencias del último gran brote de la roya del café. Específicamente en El Salvador, se han promovido la diversificación productiva entre las familias caficultoras intervenidas, mediante la siembra de cultivos perennes y semiperennes, para contribuir a la seguridad alimentaria y la generación de ingresos adicionales. La diversificación se estableció mediante modelos convenidos con los productores, pensando en las alternativas más viables con relación a la zona de producción y la oportunidad de mercado. Entre estas plantas se destacan frutales como musáceas y aguacates. Las acciones del proyecto han brindado un constante acompañamiento técnico a las familias, garantizando el crecimiento y desarrollo de los cultivos en asocio al café, a través del fortalecimiento de capacidades en el establecimiento de los cultivos, prácticas agronómicas y manejo integrado de plagas y enfermedades, entre otras acciones que demanda el sistema agroforestal (IICA, 2020b).
- Proyecto Sistemas Agroforestales Adaptados para el Corredor Seco Centroamericano (AGRO-INNOVA: Es una iniciativa regional en colaboración con la Unión Europea, CATIE e IICA orientada a fortalecer la resiliencia climática en el Corredor Seco mediante sistemas agroforestales y transferencia de tecnología. La Unidad de Área de El Salvador favoreció a los

productores intervenidos, incrementando su capacidad de producción agrícola con prácticas innovadoras, fortaleciéndolos ante la vulnerabilidad del cambio climático. Alcanzando buenos resultados en las diferentes parcelas demostrativas establecidas en el departamento de Santa Ana. Esto se logró a través de la asistencia técnica brindada, diversificación de cultivos, la elaboración de sistemas de cosecha de agua y obras de conservación de suelos (MAG, 2022).

- Reactivación y Producción Agrícola para la Seguridad y Soberanía Alimentaria de El Salvador: En este proyecto se contribuyeron a los esfuerzos del gobierno salvadoreño, a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (MAG), por lo que fue firmado un convenio de cooperación entre el MAG y el IICA. Estuvo enfocado en orientar las actividades de cooperación técnica para brindar apoyo inmediato y eficaz al sector agrícola afectado por la pandemia del COVID-19. Dicha iniciativa promueve la ejecución eficiente y transparente de los recursos brindados, contribuye con un apoyo técnico especializado para la facilitación de procesos y fortalece la infraestructura productiva, así como su asistencia técnica, lo cual impulsa la seguridad y soberanía alimentaria en el país (IICA, 2021).
- Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador: esta iniciativa tuvo el objetivo de promover acciones de mitigación de ciertas prioridades de desarrollo sostenible identificadas previamente, que son adecuadas para cada contexto, características y capacidades de cada país. En este proyecto se busca desarrollar la NAMA para la ganadería bovina, basado en los avances del Diálogo País de Euroclima y en alineación con las NDC's. Para ello, se fortalecerán las capacidades de resiliencia y eficiencia frente a los efectos del cambio climático en la producción bovina, así como en las cadenas de valor alimentario, en línea con los compromisos sectoriales de las NDC del país. El objetivo es aumentar la capacidad de resiliencia ante los efectos del cambio climático, la eficiencia de los sistemas de producción ganadera bovina en relación con el carbono y el agua, así como las cadenas de valor alimenticias, de acuerdo con los compromisos sectoriales relacionados con las NDC de El Salvador, mediante la implementación de NAMA's. En el proyecto se establecieron fincas piloto a nivel nacional equipadas con diferentes tecnologías y prácticas que incorporaban medidas de mitigación de emisiones en la producción ganadera (IICA, 2022).

- Reactivación del Sector Agropecuario y Renovación del Parque Cafetalero en El Salvador: Contribuir a los esfuerzos del Gobierno Salvadoreño para garantizar la eficiente gestión técnica y administrativa del proyecto en el cual se establecerán Sistemas Integrados de Alimentación Comunitaria (SIAC) como mecanismos de producción de alimentos en ambiente protegido, climáticamente inteligente y resiliente con el medio ambiente, así como la comercialización a familias ubicadas en cooperativas y comunidades rurales. El propósito de esta iniciativa es fortalecer la seguridad alimentaria y sostenibilidad económica de familias ubicadas en cooperativas y zonas rurales (IICA, 2024a).

3.1.2. Recursos

3.1.2.1. Naturales:

La Representación del IICA El Salvador cuenta con amplia área verde en la cual se encuentran sembrados distintas especies de árboles forestales, frutales y ornamentales como las descritas a continuación: Almendro de Madagascar (*Terminalia mantaly*), Araucaria (*Araucaria heterophylla*), Maquilishuat (*Tabebuia rosea*), Cortez Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*), Flor de Fuego (*Spathodea campanulata*), Bálsamo (*Myroxylon balsamum* var. *Pereirae*), diferentes tipos de pino y palmeras, Guayabo (*Psidium guajava* L), Naranja (*Citrus sinensis*), Guineo (*Musa spp.*), Plátano (*Musa × paradisiaca*), Limón (*Citrus × latifolia*), Nance (*Byrsonima crassifolia*), Cacao (*Theobroma cacao*), Café (*Coffea arabica*), Pitahaya (*Selenicereus spp.*), Mango (*Mangifera indica*), Aguacate (*Persea americana*), Maní Forrajero (*Arachis pintoi*), Duranta (*Duranta repens*) y Hortensias (*Hydrangea macrophylla*). También, las instalaciones cuentan con un huerto en el que se cultivan diferentes variedades de maíz y frijol, hortalizas como chiles, tomates, ayotes, yuca, camote y plantas aromáticas como romero, albahaca, menta, hierba buena y orégano.

3.1.2.2. Instalaciones y equipos

La Representación del IICA El Salvador cuenta amplias instalaciones destinadas para oficinas, cubículos, salas de conferencia, parqueo de vehículos institucionales, para empleados y visitantes. La distribución del edificio es la recepción, área administrativa, despacho del representante, oficinas para personal de coordinación técnica, gestión de proyectos, almacenes para mantener seguros artículos de proyectos en ejecución, bodegas para resguardar documentación, cuatro salones destinados para reuniones y conferencias. La oficina cuenta con diferentes equipos informáticos y tecnológicos para la ejecución de trabajos como computadoras portátiles, impresores multifuncionales, teléfonos fijos, proyectores,

equipos de sonido, micrófonos, internet y repetidores de señal wifi y vehículos para la movilización.

3.1.2.3. Humanos

El IICA cuenta con personal que labora directamente como funcionarios de la institución y ellos se encargan del funcionamiento del área de administración y finanzas, coordinación técnica, gestión de proyectos, mantenimiento, motorista, jardinero y limpieza. Sin embargo, también se contrata consultores, técnicos y personal que presta servicios profesionales que se desempeñan como apoyo en alguna de las áreas anteriormente mencionadas o en proyectos que se encuentren en ejecución. El propósito es alcanzar una efectiva administración de los recursos humanos institucionales, siguiendo y dando un cumplimiento a las políticas, normas y procedimientos ya establecidos a través de los diferentes manuales con los que cuenta el organismo, que establece los lineamientos para el ingreso, la permanencia, la evaluación, la capacitación, la promoción y la salida del personal.

3.1.3. Actividades

3.1.3.1. Cooperación Técnica

Según el vídeo “informe rendición de cuentas 2023-2024 del IICA Representación El Salvador (IICA, 2025b)” publicado en YouTube y el vídeo “informe de logros significativos del IICA 2025 en El Salvador”, no disponible al público, las principales áreas de producción que el Instituto ha apoyado son:

- Ganadería: con el proyecto “Acciones nacionales para mitigar el gusano barrenador (*Cochliomyia hominivorax*) se han desarrollado múltiples capacitaciones para sensibilizar y apoyar con temas técnicos a ganaderos, personal de instituciones públicas y privadas fortaleciendo los conocimientos de ellos a través de capacitaciones, material didáctico y audiovisual, alcanzando hasta la fecha a más de 3000 personas. Adicionalmente, con el apoyo del MAG se firmó un contrato de cooperación para la adquisición de material y equipo para la atención de la emergencia nacional. Adicionalmente, el IICA junto a la Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo (AECID) con fondos de la Unión Europea, a través del programa EUROCLIMA, impulsaron el proyecto de “Construcción de la NAMA en ganadería bovina de El Salvador” en el que se fortalecieron los conocimientos de técnicos extensionistas del sector público y privado en medidas de mitigación y adaptación al calentamiento global, posteriormente se capacitaron más de 900 ganaderos con dichas prácticas enfocadas en la transición a ganaderías sostenibles, resilientes y bajas en emisiones.

- **Innovación y tecnología:** equipando con diferentes equipos el Fabrication Laboratory (FAB-LAB) del IICA El Salvador, con el cual apoya a la iniciativa de “IICA de Puertas Abiertas” impulsada por el director general del IICA, el Dr. Manuel Otero. El FAB-LAB tiene el propósito de integrar la tecnología a las prácticas agrícolas a través de la programación de aplicaciones, uso de drones y creación de herramientas mediante las impresoras 3D. Esta tecnología también es empleada directamente en las actividades productivas dentro del Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible.
- **Granos básicos:** se impulsó la innovación y diversificación de cultivos como con el maíz, frijol, sorgo y arroz. Se fomentó el uso de tecnologías apropiadas, el manejo integrado de recursos naturales, prácticas para la recuperación del suelo y el agregado de valor. Se apoyó la organización y la asociatividad de los productores.
- **Hortalizas:** la implementación de diferentes iniciativas de gobierno para reactivar la producción de hortalizas a nivel nacional se ha dirigido a fortalecer las capacidades de los productores a través de brindar los insumos tecnológicos necesarios para asegurar su producción con la instalación de casas malla, invernaderos, sistemas de riego, cosecha de agua, semillas de alta calidad, aplicación de ozono en suelo, fabricación de biofertilizantes y asistencia técnica.
- **Sector público:** el IICA ha participado en diferentes oportunidades con el gobierno de El Salvador, con el propósito de incidir positivamente en el desarrollo y fortalecimiento del Ministerio de Agricultura y Ganadería, se contribuyó también en diferentes ámbitos como biotecnología, bioseguridad, vigilancia epidemiológica, procesos de admisibilidad para exportación, inspección de plantas de procesamiento de origen animal, mejoramiento de la red de laboratorios de diagnóstico veterinario y aportaciones técnicas para la ley de sanidad animal e inocuidad de los alimentos.

3.1.3.2. Situación técnica

Desde su llegada a El Salvador, el IICA actúa como socio estratégico para el fortalecimiento del sector agropecuario, colaborando activamente con el MAG, organizaciones del sector privadas y agencias de cooperación internacional. La misión fundamental del IICA es brindar servicios de cooperación técnica de excelencia, asistencia técnica, innovación, fortalecimiento institucional, sanidad agropecuaria, agricultura climáticamente inteligente y la inclusión de mujeres, jóvenes y pequeños productores.

3.1.3.3. Situación administrativa

El IICA se encuentra constituido por áreas o departamentos como el despacho del Representante, coordinación técnica y área administrativa-financiera, los aspectos y responsabilidades generales son:

- El despacho del Representante se encarga de la gestión de políticas y consolidar iniciativas entre el IICA y organismos de cooperación técnica, instituciones pública o privadas.
- El área de Coordinación Técnica se encarga de la planificación, monitoreo y seguimiento de las actividades técnicas, el alcance de objetivos o metas planteados en los proyectos y presentación de resultados alcanzados durante la ejecución.
- El área Administrativa-Financiera es donde a través de seguir los lineamientos planteados en diferentes manuales se hace la adquisición, compra y contratación de bienes y servicios solicitados por las unidades ejecutoras de los diferentes proyectos de la Representación.

4. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS

Durante la ejecución del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” se contó con el apoyo de consultores expertos en temáticas para el cálculo de emisiones de GEI. Se realizaron jornadas sincrónicas y asincrónicas para comprender las ecuaciones, factores de emisión y la metodología que se utiliza en las directrices del 2006 del IPCC y los diferentes sectores a los que se les puede estimar sus emisiones, contando con al menos 50 personas entre instituciones públicas y privadas que contaron con un certificado de cumplimiento del curso, sin embargo, mucho del personal técnico entre ingenieros y extensionistas que cubrían durante la ejecución el proyecto se jubilaron, además, el propósito de establecer las Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMA por sus siglas en inglés) es para dar un seguimiento anual o cada semestre para realizar un monitoreo en medidas adoptadas por los ganaderos intervenidos por el proyecto para reducir emisiones, por lo que sin el material, experiencia y personal capacitado esto no podría ser posible, esa es la razón por la que se ha decidido realizar el instrumento de recolección de datos en fincas ganaderos y una calculadora que simplifique la metodología y que facilite al personal técnico realizar los cálculos para estimar emisiones de Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O) en la ganadería y las emisiones se catalogan en 3 enfoques diferentes: la fermentación entérica (CH_4), la gestión del estiércol (CH_4 y N_2O) y aplicación de fertilizantes nitrogenados (N_2O). Esto tiene el propósito de establecer el sistema MRV y cumplir con la promesa país

de mitigación de GEI del sector AFOLU en el rubro de la ganadería bovina, planteada en las NDC's del 2021. Además, en la Representación de IICA El Salvador, se solicitaba un técnico para dar seguimiento a las actividades realizadas en el Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Agricultura Sostenible (invernadero), que tuviera experiencia en el manejo de sistemas acuapónicos e hidropónicos para la producción de hortalizas y peces, estos sistemas son una alternativa para zonas inmersas en el CSC, afectados por el cambio climático o que cuentan con una dificultad de acceder al agua.

Finalmente, se apoyaría en la coordinación de actividades del laboratorio como adquisición de materiales e insumos, programación de aplicaciones de fertilizantes foliares orgánicos complementarios para corregir deficiencias y establecimiento de trampas cromáticas con la dirección del Representante y el Coordinador Técnico del IICA El Salvador.

5. MARCO TEORICO

5.1. Generalidades sobre el cambio climático

Este fenómeno se refiere a los cambios que, a largo plazo de la temperatura y patrones climáticos, los cambios pueden ser generados por consecuencias naturales como variaciones en la actividad solar o erupciones climáticas de gran magnitud. Las actividades humanas son responsables de las alteraciones en el clima, se puede destacar la revolución industrial durante el siglo XIX en la cual hubo un auge en la quema de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas. Acorde a la ONU (s.f.), la quema de estos combustibles genera emisiones de GEI, los cuales encapsulan el calor irradiado por el sol, incrementando las temperaturas en el planeta. Adicional a la quema de combustibles fósiles, también existen otras actividades que abonan a este fenómeno como el cambio de uso de suelos, construcción, agricultura, sectores energéticos (petróleo, gas, minas).

Existe un término denominado variabilidad climática, este hace referencia a los cambios de la temperatura y las precipitaciones que difieren con las estadísticas promedio. La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2025a), las consecuencias de la variabilidad climática más tangibles son los fenómenos llamados "el niño" y "la niña" también son conocidos como "El Niño-Oscilación del Sur" (ENSO, por sus siglas en inglés), estas son las fases cálidas y frías de un patrón climático en el pacífico tropical. Estos patrones oscilan de forma irregular tendiendo a cambiar entre dos años y siete, alterando la temperatura del océano y por consiguiente incidiendo en los patrones normales de viendo

y lluvia en los trópicos.

Ambos fenómenos son fases opuestas por lo que no pueden ocurrir en simultáneo, la NOAA (2025b), señala que “la niña”, se caracteriza por temperaturas más frías que en el promedio en agua superficiales del pacífico tropical, alterando la circulación atmosférica global, incrementando la probabilidad de patrones climáticos como temperatura, lluvia y en países con latitudes o altitudes altas incluso nieve. “El niño”, se caracteriza por temperaturas más cálidas que el promedio en aguas superficiales del pacífico tropical, ocasionando incremento de temperaturas, afectando el rendimiento global de cultivos, porcentaje bajo de nubosidad y periodos prolongados de sequías. También puede existir el escenario donde el agua superficial del océano pacífico se encuentra a una temperatura promedio, obteniendo un ENSO neutral.

5.1.1. El efecto invernadero y principales Gases de Efecto Invernadero (GEI).

La atmósfera de la tierra se compone de 78% de nitrógeno (N) y 21% de oxígeno (O), existen otros gases que al encontrarse en concentraciones inferiores a una fracción de porcentaje tienen un impacto en el clima terrestre. Los GEI permiten que la radiación solar atraviese la atmósfera, sin embargo, estos absorben el calor irradiado y los mantienen en la atmósfera, incrementando la temperatura del planeta, incluso el incremento de concentraciones de GEI en una fracción, es decir, de 0.02% a 0.2%, provocan grandes cambios en la temperatura y el clima terrestre (Center for Climate and Energy solutions, s.f.)

El calor que irradia el sol es indispensable para la vida en la tierra, este es absorbido por la superficie de la tierra y posteriormente, el calor se emite hacia el espacio en forma de ondas infrarrojas. Como se menciona anteriormente, los GEI absorben el 90% de este calor, dando inicio al efecto invernadero, este ocurre de manera natural en la atmósfera de la tierra, sin este efecto la temperatura del planeta sería inferior a los -18°C . El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018), señala que las emisiones antropogénicas son las responsables de este desbalance de climático, agudizando el efecto invernadero y con ello modificando la atmósfera de la tierra.

Existen diferentes tipos de GEI y la contribución que estos tienen al calentamiento global varía. Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), los cuales se encuentran presentes en la atmósfera de manera natural, sin embargo, también son generados por actividades humanas. Existe un tipo de GEI denominado “fluorados”, el efecto invernadero que estos

ocasionan son más potentes y persistentes que otros gases, produciendo un efecto nocivo miles de veces mayor que el CO_2 . Los gases en cuestión son los hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF_6) y el trifluoruro de nitrógeno (NF_3), estos GEI son potentes, sin embargo, fueron sustitutos de otras sustancias que agotan o destruyen la capa de ozono. Durante la adopción de “El Protocolo de Kioto” y el “Acuerdo de París”, el Parlamento Europeo (2023), menciona los principales siete GEI:

- Dióxido de carbono (CO_2): este se produce de manera natural por la descomposición de la biomasa y como subproducto de la respiración. Como forma antropogénica, este llega a la atmósfera debido a la quema de combustibles fósiles y reacciones químicas. Las plantas ayudan a la descomposición de este gas por medio de la fotosíntesis, siendo los bosques quienes protagonizan un papel importante en la captura de carbono.
- Metano (CH_4): Es un componente principal del gas natural. Las emisiones proceden de la quema de combustibles fósiles, la ganadería, uso del suelo, descomposición de residuos orgánicos en vertederos, prácticas agrícolas.
- Óxido nitroso (N_2O): este gas es el resultado de la acción microbiana en el suelo, la aplicación de fertilizantes nitrogenados, la quema de madera y producción de químicos. Sus emisiones se deben a actividades agrícolas, industriales, uso de combustibles fósiles y tratamiento de aguas residuales.
- Hidrofluorocarburos (HFC): representan alrededor del 90% de las emisiones de gases fluorado. Son utilizadas principalmente para absorber calor en frigoríficos, congeladores, aparatos de aire acondicionado y bombas de calor, así como en inhaladores para el asma y aerosoles técnicos, agentes espumantes y en extintores.
- Perfluorocarburos (PFCs): son compuestos artificiales utilizados habitualmente en los procesos de fabricación industrial.
- Hexafluoruro de azufre (SF_6): El hexafluoruro de azufre se suele utilizar en el aislamiento de líneas eléctricas.
- Trifluoruro de nitrógeno (NF_3): se utiliza como "gas de limpieza de cámaras" en los procesos de

producción para limpiar las acumulaciones no deseadas en las piezas de microprocesadores y circuitos.

En 2021, el Parlamento Europeo informó que la mayor cantidad de emisiones de metano y óxido nitroso fue en los sectores de agricultura, silvicultura y pesca.

5.2. Problemáticas en la agricultura derivadas del cambio climático

En El Salvador, la variabilidad climática ha afectado al rubro agrícola, sin embargo, especialmente en la producción de granos básicos, reduciendo los rendimientos. El fenómeno de ENSO se ha manifestado en el país, causando daños considerables durante los años agrícolas 1986/1987, 1987/1988 y 1991/1992, ocasionando que no se hayan cumplido las expectativas de producción, debido a la prolongación excesiva de la época seca. Esto obliga a las personas que se desempeñan en el sector que cambien sus esquemas de producción y esto repercute a nivel social, manifestándose en la salud y nutrición. Asimismo, al escasear en la producción de cultivos que se consumen a nivel nacional, se incrementan las importaciones, incrementa el valor para adquirirlos y afecta a la población, incrementando los niveles de insatisfacción de las necesidades básicas, cambios negativos en la dieta alimenticia y finalmente resultando en el incremento de los porcentajes de mortalidad, morbilidad y esperanza de vida de la población (Merino, 2003).

También, MARN (2022), profundiza en otros aspectos relacionados al cambio climático como los siguientes:

- Disminución de la disponibilidad de agua que limita uso para consumo humano, agrícola, industrial, recreativo y sustento de ecosistemas, afectando condiciones de salubridad y bienestar, y el desarrollo de actividades productivas, llevando incluso a inseguridad y estrés hídrico.
- Reducción de disponibilidad de suelo tanto por baja de humedad y aumento de su acidificación y desertificación, haciéndolo menos apto para algunos cultivos, como por erosión producto de eventos extremos o, por aumento del nivel del mar, que limita otros usos.
- Descenso de productividad de ciertos cultivos agrícolas y, por tanto, de la producción y calidad de alimentos, ingresos más bajos para productores y precios más altos para consumidores,

además de amenazar la seguridad alimentaria y medios de vida de poblaciones en condiciones de mayor vulnerabilidad.

- Pérdida de biodiversidad que incluye alteraciones de la estructura y funcionamiento de ecosistemas, cambios en la distribución geográfica de especies y en las dinámicas de poblaciones de fauna y flora y también a nivel genético, que sustentan servicios ecosistémicos esenciales.

5.2.1. Incidencia de plagas y enfermedades.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONU-FAO) (2021), estima que las plagas son responsables de la pérdida de un %40 de la producción global de cultivos, mientras que los costos para atender enfermedades fitosanitarias ascienden anualmente a \$220,000.00 millones de dólares y los daños causados por insectos invasores asciende a \$70,000.00 millones de dólares. Las principales conclusiones apuntan a que debido al cambio climático afecta en el contagio, propagación y gravedad de las plagas a nivel mundial, afirmando que los efectos del cambio climático son los mayores retos que enfrentará la comunidad fitosanitaria.

Las temperaturas junto a las precipitaciones son de los principales responsables que determinan el cómo y dónde se propagan las plagas y enfermedades. Según el reportaje realizado por Doody (2020), el incremento de las temperaturas y precipitaciones favorece al crecimiento y distribución de especies de plagas al propiciar un ambiente óptimo para su desarrollo. Los incrementos extremos de temperaturas y de las precipitaciones pueden afectar y retrasar el crecimiento y reproducción de algunas plagas. En casos recientes, se tienen datos sobre invasiones de langostas del desierto por África, muestra la vulnerabilidad de los cultivos ante las plagas. La langosta del desierto es una de las plagas más destructivas del mundo, con un pequeño enjambre que cubre un kilómetro cuadrado y consume la misma cantidad de alimentos por día que 35,000 personas. El brote podría incluso provocar una crisis humanitaria.

5.2.2. Pérdida de fertilidad del suelo y estrés hídrico.

El sector agropecuario es fundamental la disponibilidad de los recursos suelo y agua, estas necesitan de un suministro adecuado de estos recursos para desarrollarse apropiadamente, siendo una de las actividades económicas para más recursos hídricos necesita a nivel mundial. El riego y la aplicación de fertilizantes son necesarios para satisfacer la demanda de alimento de productos agropecuarios debido

al continuo crecimiento de la población mundial. Esto requiere la expansión de tierras para cultivo, reduciendo la biodiversidad, promover practicas intensivas en los cultivos para hacer frente a la creciente demanda, afectando al suelo debido a la falta de incorporación de materia orgánica, excesivas aplicaciones de fertilizantes, susceptibilidad a la erosión y escorrentía de nutrientes, aplicaciones recurrentes e intensivas de pesticidas. Sin embargo, estos ejemplos de impactos climáticos en los sistemas agrícolas a menudo se han estudiado en diferentes disciplinas. Una comprensión sistemática de cómo el cambio climático afecta la amplia gama de impactos ambientales de la agricultura es deficiente y será esencial para el desarrollo de la agricultura sostenible en un clima cambiante (Yang *et al*, 2024).

5.3. Sectores y categorías de fuentes de emisiones de GEI

Existen diferentes fuentes de emisiones de GEI, con el propósito de determinar la reducción de emisiones de forma eficaz, se debe reconocer de donde provienen los diferentes gases que contribuyen al calentamiento global, determinando los diferentes sectores que causan emisiones, es posible determinar cuál de ellos contribuye emisiones y cuál será el enfoque para desarrollar soluciones y estrategias de mitigación eficaces, dichos sectores son Energía, Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU, por sus siglas en inglés), AFOLU y residuos, los detalles de las emisiones de GEI por sector se desglosan de la siguiente manera según la investigación realizada por Ge, Friedrich & Vigna (2024):

5.3.1. Energía (combustión y fugas)

Este sector es el responsable de la mayor cantidad de emisiones de GEI, alcanzando un 75.7% a nivel mundial. El sector energético incluye las emisiones generadas por la electricidad y calor (29.7%), transporte (13.7%), manufactura y construcción (12.7%) y edificios (6.6%). Siendo el sector que predomina las emisiones a nivel mundial, los sectores no energéticos contribuyen solamente una carta parte a las emisiones globales (Ge, Friedrich & Vigna, 2024).

5.3.2. Procesos industriales y uso de productos

Este sector representa el 6.5% de las emisiones globales de actividades que no provienen de la combustión energética. Las emisiones que son incluidas son las derivadas de la producción química y las liberadas por la piedra caliza destinada para la elaboración de cemento (Ge, Friedrich & Vigna, 2024).

5.3.3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

Después del sector Energía, AFOLU se posiciona como uno de los responsables de emisiones de GEI, representando un 11.7% de las emisiones globales. Los emisores dentro de este sector son el uso y manejo de suelos agrícolas y la ganadería (Ge, Friedrich & Vigna, 2024).

5.3.3.1. Principales de emisiones GEI en la ganadería bovina

Según la investigación sobre la “Línea base de emisiones por perfil, curvas de abatimiento de prácticas y proyección de emisiones de gases de efecto invernadero de El Salvador” (IICA, 2024b), señala que alrededor de un 85% de las emisiones de las emisiones directas provienen de la generación de CH₄ derivadas de la fermentación entérica en el rumen de los bovinos y el 15% restante se debe a las emisiones de CH₄ (6.3%) y N₂O (7.7%) derivadas de la gestión del estiércol.

Según el capítulo 10 “Emisiones de la gestión del ganado y del estiércol” del volumen 4 de las directrices del IPCC 2006 y su refinamiento de 2019, se detalla la siguiente información sobre las principales fuentes de emisiones en la ganadería bovina:

- **Fermentación entérica:** Este es el proceso en el que los herbívoros generan como subproducto el metano (CH₄) derivado de los procesos digestivos en el que el microbiota intestinal se encarga de descomponer los alimentos, generalmente ricos en carbohidratos para ser asimilados al ser degradados en moléculas más simples. La población rumiante como las vacas, las cuales poseen el rumen sienta la estructura especializada que favorece el proceso de fermentación entérica de manera más intensa. La cantidad de emisiones que producen estos animales está en función de la edad del animal, el peso vivo, la calidad y cantidad de alimento consumido (Gavrilova *et al*, 2019).
- **Gestión del estiércol:** Las emisiones se encuentran relacionadas al tratamiento y almacenamiento de las deposiciones o "estiércol", término utilizado en este contexto para incluir tanto el estiércol como la orina, es decir, la fracción sólida y líquida producidas por el ganado. Acorde a Gavrilova *et al* (2019), el subproducto de la descomposición del estiércol son las emisiones de CH₄ en condiciones anaeróbicas y N₂O en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. La gestión del estiércol se contempla desde los dos tipos de emisiones que este genera, las directas e indirectas, según el siguiente detalle:

- **Emisiones directas CH₄:** La gestión del estiércol bovino genera emisiones de metano (CH₄) principalmente durante su almacenamiento y tratamiento, así como cuando es depositado en los pastos. Estas emisiones se originan por la descomposición anaeróbica del estiércol, es decir, en ausencia de oxígeno.
- **Emisiones directas e indirectas N₂O:** El N₂O está asociado al nitrógeno excretados por los animales y a los procesos biogeoquímicos que ocurren en los sistemas de manejo de estiércol (almacenamiento y tratamiento). Las emisiones directas de este GEI se producen por la combinación de nitrificación y desnitrificación del nitrógeno contenido en el estiércol. La nitrificación ocurre principalmente en condiciones anaeróbicas, el nitrógeno amoniacal (NH₄⁺-N) se oxida a nitritos (NO₂⁻) y nitratos (NO₃⁻). En condiciones anaeróbicas, los compuestos pueden transformarse N₂O mediante la desnitrificación. Las emisiones de este GEI están en función del contenido de nitrógeno y carbono en el estiércol, el tipo de sistema de manejo, el tiempo de almacenamiento y factores relacionados a la humedad, pH y disponibilidad de oxígeno. Las emisiones indirectas se originan a partir de las pérdidas de nitrógeno durante la gestión del estiércol por la denominada volatilización del amoníaco (NH₃) y óxidos de nitrógeno, también por la lixiviación y escorrentía. Las pérdidas de este material siempre contaminan el ambiente debido a que la formación de N₂O se realiza en otras áreas del sistema agrícola (Gavrilova *et al*, 2019).

5.3.3.2. Principales de emisiones GEI en la aplicación de fertilizantes nitrogenados

Según el capítulo 11 “emisiones de N₂O de suelos gestionados y emisiones de CO₂ de la aplicación de cal y urea” del volumen 4 de las directrices del IPCC 2006 y su refinamiento de 2019, se detalla la siguiente información:

- **Aplicación de fertilizantes nitrogenados (emisiones directas e indirectas N₂O):**

Estas emisiones son similares a las provocadas por la gestión del estiércol, sin embargo, estas en partículas están relacionadas con la disponibilidad de nitrógeno inorgánico en el suelo, la cual aumenta tras la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Parte del nitrógeno se emite directamente desde el suelo en forma de N₂O, mientras que otra fracción contribuye a las emisiones indirectas por parte de la

volatilización de amoníaco y por lixiviación o escorrentía que posteriormente emitirá N₂O en otras áreas del sistema agrícola (Hergoualc'h *et al*, 2019).

5.3.4. Residuos

Las emisiones de este sector son principalmente el metano y el óxido nitroso de los vertederos, representan el 3,4% del total mundial (Ge, Friedrich & Vigna, 2024).

5.4. Marco político y compromisos de El Salvador ante el cambio climático

En 2012, acorde al decreto N° 233 decretado por la Asamblea Legislativa de la Republica de El Salvador se rectificó la Ley de Medio Ambiente, título VI-BIS “Adaptación al cambio climático” y su capítulo único “De la adaptación al cambio climático, fortalecimiento institucional y responsabilidad social”, se hace mención al Art.64-A donde literalmente dice “El estado por medio del gobierno central, entidades descentralizadas, autónomas, semiautónomas y municipales, adoptarán las regulaciones necesarias para estudiar, investigar, prevenir, planificar y responder de manera urgente, adecuada, coordinada y sostenida a los impactos negativos del cambio climático. Así mismo toda persona natural o jurídica, especialmente el sector privado y la sociedad civil organizada, adoptarán prácticas que propicien condiciones para reducir la vulnerabilidad, mejorar las capacidades de adaptación forzada y permitan desarrollar propuestas participativas de mitigación de los efectos adversos del cambio climático”. Dejando evidencia un compromiso por parte del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el Art.64-C “La adaptación de los sistemas humanos al cambio climático será anticipada y planificada”. Posteriormente, el Art.64-D “El plan nacional de cambio climático, es el marco de coordinación interinstitucional de la administración pública e intersectorial en la evaluación de políticas, impactos, vulnerabilidad de los distintos sectores y sistemas frente a la adaptación al cambio climático” y haciendo hincapié en el literal b que literalmente dice “fomentar y promover procesos participativos de todos los sectores Implicados en los distintos sectores y sistemas, tendientes a la Identificación de las mejores opciones de adaptación y mitigación al Cambio climático dentro de las políticas sectoriales” (Asamblea Legislativa de El Salvador, 2012).

Para El Salvador es importante y mandatorio que se frene la magnitud y aceleración que el cambio climático manifiesta y proyecta de aquí a 2030 y mitad de siglo, de tal manera que los países más emisores puedan establecer compromisos de mitigación de GEI, de acuerdo con su responsabilidad y, al mismo tiempo, movilizar y transferir recursos, en términos financieros, tecnológicos y de capacidades.

Por su parte, El Salvador presentó ante la CMNUCC su Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (INDC), la cual se adoptó luego, en 2015, como su Primera Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC). De los compromisos derivados de su Primera NDC, El Salvador ha realizado avances importantes: conformando un marco normativo y arreglos institucionales; desarrollando estudios técnicos para analizar las circunstancias nacionales, la contribución en emisiones de GEI y el riesgo climático para diferentes sectores y sistemas; analizando necesidades, oportunidades y barreras en cuanto a medios de implementación y estableciendo prioridades y objetivos de desarrollo nacional en el marco estratégico para el cambio climático para lograr una sociedad, una economía y un ambiente bajos en carbono con capacidad de adaptación y resiliencia. Además, El Salvador prepara el sistema de monitoreo, reporte y verificación de la NDC, proyectando su presentación en una adición inmediata a este documento en 2022 (MARN, 2021).

Como parte de los compromisos asumidos por el país ante la CMNUCC y el Acuerdo de París, El Salvador presentó en enero de 2022 ante la Convención, la actualización de su NDC, en la que define las metas y las medidas de adaptación y mitigación a alcanzar a 2025 en diferentes sectores, así como las normativas e institucionalización y los medios de implementación necesarios para su cumplimiento (MARN, 2022a). El Salvador se compromete en el marco del Acuerdo de París a tener una reducción acumulada de emisiones para el periodo entre 2035 y 2040, contada desde 2015, de 50,857.5 Kton CO₂ Eq por reducción de emisiones y actividades de aumento de sumideros y reservorios de carbono en el paisaje agropecuario de su sector AFOLU, siempre y cuando se logre obtener un financiamiento de gran escala de fuentes internacionales y nacionales con participación del sector privado.

El Salvador ante esta realidad, establece el compromiso climático y dinamiza un proceso de planificación de las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Agricultura, Generación Hidroeléctrica, Infraestructura, Salud, Saneamiento y Residuos Sólidos, Transporte, y prioridades para impulsar la adaptación en los sectores de Biodiversidad y Ecosistemas, Ciudades y Recursos Hídricos. Con el propósito de cumplir con el proceso, fue diseñada una metodología apoyada con instrumentos de planificación que permitió fluir un proceso participativo y consultivo multi actor, dando como resultado la construcción de treinta y una matrices sectoriales de planificación de alta calidad en información técnica- científica, estas matrices responden a cada una de las medidas de mitigación y mitigación de los

sectores de las NDC de El Salvador. Esta sección del proceso se reconoce como “Planes para la Implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas en El Salvador”, donde se despliegan las matrices que consolidan por cada una de las medidas los objetivos, los resultados, acciones estratégicas, actividades operativas, metas, indicadores de cumplimiento, un presupuesto y medios de implementación, así como los socios estratégicos y alianzas necesarias para su implementación (MARN, 2010).

5.4.1. El proyecto "Apoyo a la Formulación de Acciones Apropriadas de Mitigación en la Agricultura Centroamericana"

En 2021 finalizó el proyecto Apoyo a la formulación de Acciones Apropriadas de Mitigación en la Agricultura Centroamericana, el cual fue ejecutado por el IICA en coordinación con el MAG, y financiado por el programa Euroclima+. Como resultados de este, se fortalecieron capacidades en productores ganaderos para aplicación de prácticas sostenibles, se levantó información base sobre emisiones de metano en el ciclo de producción, se fortalecieron capacidades técnicas para la asistencia y el seguimiento de las acciones para la construcción de una Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (NAMA) y se generó información sobre productores y sistemas de producción de la ganadería bovina. Todo ello, constituye el inicio para avanzar hacia una transformación de dicho subsector, tanto en materia de mitigación, como de adaptación climática junto a la mejora productiva (MARN, 2022b).

5.4.2. Preparación de estrategia y acciones nacionales de mitigación en la ganadería bovina de El Salvador.

La ganadería en El Salvador a través del tiempo ha sido una actividad muy importante en el aspecto económico y social, pero por diversas razones este sector no ha mostrado el dinamismo para lograr un crecimiento sostenido, En cuanto a la producción de la ganadería bovina para el mismo año, se distribuyó aproximadamente entre 65,000 ganaderos, los cuales en su mayoría poseían pequeños hatos o explotaciones familiares o de subsistencia, en las que su composición ha sido heterogénea, con encastes inadecuados, desconocimiento de técnicas apropiadas de manejo, escasa utilización de tecnologías ligadas directamente a bajos niveles de productividad y sin producción amigables con el medio ambiente (MARN, 2022c).

5.4.3. Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMA's)

El concepto de las NAMA's, fue introducido en el plan de acción de Bali de 2007, son iniciativas implementadas por países en desarrollo en el contexto de desarrollo sostenible y disminución de

emisiones GEI con la cualidad de ser medible, reportable y verificable (MRV). Posterior a los acuerdos de Cancún se desencadenaron un gran número de iniciativas en distintos países en vías de desarrollo con el propósito de visibilizar el interés en disminuir las emisiones GEI en los países donde serían implementadas. En 2012, se acordó desarrollar un registro de las NAMA's en la plataforma de Cambio Climático de las Naciones Unidas que albergaría una base de datos con el propósito de dar reconocimiento y apoyo internacional a dichas iniciativas. La implementación de las NAMA's puede obtener su financiamiento a través de recursos nacionales, así como acuerdos bilaterales, bancos de desarrollo, fondos multilaterales e incluso el fondo verde para el clima. La financiación pública deberá utilizarse estratégicamente para impulsar la inversión del sector privado. (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2013).

5.5. Construcción de la NAMA en ganadería bovina de El Salvador

Este proyecto es una iniciativa derivada de los compromisos asumidos por el país en las NDC's que tienen como objetivo reducir las emisiones de GEI que son producidas por el sector de la ganadería bovina, también con el propósito de incrementar la existencia de sumideros de carbono en los agroecosistemas ganaderos. La construcción de la NAMA en ganadería bovina de El Salvador está enfocada en el implementar acciones que además de mitigar también incrementan la productividad de las fincas ganaderas a través de la adopción de sistemas de gestión del estiércol, mejoramiento en las dietas alimenticias, eficientizando la asimilación de nutrientes, manejo eficiente de los recursos disponibles en la finca, y reducir las aplicaciones de fertilizantes sintéticos. Para desarrollar el proyecto, se contó la integración de instituciones públicas y privadas con las que se desarrollaron diferentes actividades para socializar los objetivos del proyecto y posteriormente, sensibilizar acerca de los GEI y sus efectos perjudiciales. Adicionalmente, se capacitó el personal encargado de continuar la asistencia técnica a los productores bajo las siete medidas promovidas por el proyecto, estas serían impartidas en diferentes sesiones de las Escuelas de Campo de Agricultores (ECA's) que se llevarían a cabo en los 38 Centros de Desarrollo Productivo (CDP's) establecidas a nivel nacional. Con el propósito de mostrar las siete medidas en acción, se establecieron cinco fincas piloto distribuidas en el territorio nacional, las cuales juegan un papel importante en la generación de información (IICA, 2024c).

5.5.1. Medidas de mitigación y adaptación en la ganadería bovina de El Salvador

Las medidas implementadas tienen dos enfoques fundamentales, la mitigación y adaptación al cambio

climático, ambas son estrategias complementarias, la definición de mitigación es toda aquella intervención humana encaminada a la reducción de emisiones de GEI, la mitigación hace referencia a las causas del cambio climático. La adaptación se refiere a los impactos del cambio climático, estos son los ajustes a sistemas humanos o naturales con el propósito de moderar los daños ocasionados por el cambio climático. Las siete medidas implementadas durante la ejecución del proyecto y acorde a IICA (2024d) son las siguientes:

- Establecimiento de árboles de sombra: proporciona confort y reduciendo al estrés calórico que sufre el ganado el cual se agudiza más durante la época seca. Adicional a las ventajas mencionadas anteriormente, los árboles en los potreros mejoran la calidad del suelo, puede obtenerse suplementos alimenticios a partir de su follaje o sus frutos. Cabe resaltar que los árboles permiten la captura de CO₂ atmosférico. Entre las especies más utilizadas se menciona el Cenícero o Carreto (*Samanea saman*), Morro (*Crescentia alata*) y Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*).
- Establecimiento de cercas vivas y forrajeras: esta es una práctica agropecuaria sostenible que contribuye a mejorar condiciones ambientales como suelo y microclima, también productivos. Las cercas son formadas por plantas perennes y las cuales sustituyen las cercas convencionales que anualmente deben ser reforzadas o hacerse nuevamente por la utilización de postes muertos. Estas cercas también llamadas como forrajeras incrementan la disponibilidad de alimento para el ganado. Algunas de las especies utilizadas son Madrecacao (*Gliricidia sepium*), Pito (*Erythrina berteroana*), Caulote (*Guazuma ulmifolia*) y Tigüilote (*Codia alba*).
- Establecimiento de bancos energéticos y proteicos: ambas son estrategias clave en las ganaderías para mejorar la productividad y sostenibilidad del rubro debido a que tienen especies forrajeras que aseguran la alimentación balanceada del hato. Los bancos proteicos son todos los cultivos forrajeros que poseen contenido de proteínas superior al 15%, la mayoría de estas especies son leguminosas, entre las cuales se pueden destacar la Cratylia (*Cratylia argentea*), Leucaena (*Leucaena leucocephala*), Canavalia (*Canavalia ensiformis*) y la Moringa (*Moringa oleifera*). Los bancos energéticos se componen por

gramíneas que producen altas cantidades de biomasa que contienen azúcares, entre las especies utilizadas están el CT-115 y CT-169 (*Pennisetum purpureum*).

- Establecimiento de pastos mejorados: La implementación de pastos mejorados es una iniciativa sostenible para la ganadería nacional, ya que se cuenta con variedades con un mejor rendimiento de biomasa, periodos de recuperación más cortos, tienen una mayor capacidad animal y mejor calidad nutritiva. También, se puede resaltar que depende de la variedad de pasto, estos tienen características resistentes al ambiente como sequías prolongadas, inundaciones y desarrollo óptimo bajo sombra. Entre los pastos mejorados se encuentran híbridos de *Brachiaria* como el Mulato II, Cayman y Camello, también se encuentra entre los pastos mejorados el híbrido de la especie *Panicum maximum*, el pasto mombasa.
- Rotación y uso racional de potreros: esta medida radica en el manejo eficiente de los potreros disponibles en la ganadería en la que de manera programada se mueven los animales en espacios reducidos en intervalos no superiores a tres días consecutivos para evitar el sobrepastoreo, la compactación del suelo y la nutrición de los animales. Al realizar esta práctica permite que el pasto se recupere apropiadamente y contribuye a que el sistema radicular del pasto se desarrolle apropiadamente, mejorando la cantidad de materia orgánica disponible en el suelo, su fertilidad y contribuye al secuestro de carbono de la atmósfera.
- Uso de probióticos en la alimentación bovina: por medio de las bacterias, hongos y levaduras se elabora un compuesto que tiene efectos positivos sobre la fermentación ruminal y el balance microbiológico del tracto gastrointestinal, catalizando el proceso de descomposición del alimento, promoviendo la absorción y asimilación de nutrientes. Las raciones que pueden ser suministradas a los bovinos no deben exceder los 15 gr al día, también se debe considerar evitar ofrecer los probióticos a las vacas que se encuentren en el último trimestre de gestación para evitar abortos o problemas en el desarrollo de la cría y tampoco a terneros que se encuentren inferiores a ocho meses de edad.
- Tratamiento del estiércol bovino: El manejo inadecuado del estiércol provoca problemas

ambientales principalmente por las emisiones de GEI que libera a la atmosfera, además, de la acumulación de nitratos en el suelo y cuerpos de agua. Para contrarrestar los problemas mencionados anteriormente, se propone la gestión de las deposiciones a través de métodos como la lombricomposta, la cual utiliza el estiércol junto con tierra y materia orgánica donde lombrices rojas californianas (*Eisenia fetida*) descomponen el material, dejando subproductos como el humus y el purín de lombriz. El otro método es a través de biodigestores los cuales atrapan el gas, produciendo biogás que puede ser utilizado en la finca para cocina o también para generar energía. Este método también produce un biofertilizante que puede ser aplicado de manera directa al suelo o foliar.

5.6. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI y 2019 Perfeccionamiento de las Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios nacionales de gases de efecto.

Estas directrices son una actualización de las versiones revisadas en el año 1996, las cuales son el resultado de la adopción por parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMMUCC), en las directrices se abordan metodologías acordadas internacionalmente para ser aplicadas por los países con el propósito de estimar los inventarios de GEI e informarlos a la CMMUCC. La estructura de las directrices se divide en cinco volúmenes en los cuales se abordan las generalidades de los inventarios de GEI y sobre cada uno de sectores principales, los cuales son parte de grupos, procesos y sumideros. El refinamiento realizado en 2019 es un complemento y perfeccionamiento de los inventarios y metodologías planteadas en 2006 (Goodwin *et al*, 2019).

Los inventarios abordados en las directrices se basan en un consenso común, garantizando que sean comparables entre los diferentes países. Los conceptos claves que garantizan esto son los siguientes:

- **Territorio nacional:** elaboración de inventarios nacionales que incluyan las emisiones y remociones de GEI dentro del país y áreas marinas bajo jurisdicción del país.
- **Año del inventario y serie temporal:** las emisiones y remociones deben corresponder al año calendario en el que fueron tomadas. Los inventarios de conformar series temporales coherentes tomando un año base con el propósito de analizar tendencias, evaluar la

evolución de las emisiones a través del tiempo.

- **Generación de informes de inventarios:** debe contener tablas estandarizadas de reporte y un informe narrativo que documenta la metodología aplicada, datos y supuestos utilizados, se debe asegurar la transparencia, coherencia y comparabilidad de la información reportada, en concordancia con los requisitos de la CMNUCC.
- **Sectores y categoría:** Las emisiones y remociones de GEI se organizan por sectores y en categorías específicas por sector, creando estructura que facilite la clasificación sistemática de fuentes y sumideros de GEI, facilitando la aplicación de metodologías de estimación y que sean comparables entre países.

5.6.1. Metodologías y tipos de Niveles (Tier) para realizar estimaciones de GEI

Para estimar las emisiones GEI se clasifican por niveles, cada nivel representa una complejidad metodológica para ser abordado. Existen tres niveles, también conocidos como niveles o “Tiers”. Acorde a la publicación de Calvo *et al* (2019), estos se definen de la siguiente forma:

- **Nivel/Tier 1:** Modelo básico, la estimación de GEI se realiza con base a tablas y datos por defecto estadísticamente comprobados.
- **Nivel/Tier 2:** Modelo intermedio, este es aplicado con base a datos específicos para el país en el que se desea hacer la estimación de GEI en un sector específico.
- **Nivel/Tier 3:** Modelo avanzado, es el más exigente con respecto a la calidad y complejidad de los datos a tomar en cuenta.

Los niveles 2 y 3 también son llamados “métodos de nivel superior” y son considerados como de los más confiables por la precisión en las estimaciones realizadas.

5.6.2. Potencial de calentamiento global (PCG) de GEI

Estos se refieren al nivel de contaminación que producen los GEI, en este caso se utilizan Los protocolos corporativos estándar para medir GEI (GHG Protocol, en inglés), los cuales son los protocolos más utilizados a nivel internacional para cuantificar y gestionar las emisiones de GEI (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2023).

Estos protocolos son desarrollados y administrados en conjunto con el Instituto de Recursos Mundiales

(WRI, por sus siglas en inglés) y Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés), estas organizaciones internacionales son sin fines de lucro y trabajan en pro de la sostenibilidad, cambio climático y desarrollo ambiental. En este sentido, los protocolos adoptan los valores de Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés), recomendando el uso de horizontes de tiempos, en los cuales un GEI se encuentra en la atmósfera ocasionando daños ambientales y promoviendo el calentamiento global. Entre los años 2013 y 2014, se elaboró el Quinto Informe de Evaluación (IE5) o Fifth Assessment Report - AR5 en el que se plantea los PCG de los diferentes GEI en un horizonte de tiempo de 100 años (GHG Protocol, 2024).

5.6.3. Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV)

La medición de los GEI es un componente fundamental que forma parte a la CMNUCC desde su conformación. Esto tienen el propósito de presentar informes sobre los progresos en la mitigación de GEI. La metodología MRV fomenta la transparencia y claridad en las estimaciones de emisiones que se realizan con los datos y metodologías planteadas por el IPCC. Aplicar la metodología MRV es un requisito que exigen organismos que financian prácticas que promueven los esfuerzos para la mitigación de GEI y el logro de las metas u objetivos que se hayan planteado en las NDC's. Acorde al documento de la NAMA ganadera bovina de El Salvador (IICA, 2024c), mediante diferentes comités que se conformaron entre organismos estratégicos de los sectores públicos y privados, se definen tres componentes cruciales, según el siguiente detalle:

- **Monitoreo:** es el proceso en el que se recolectan datos, se realizan análisis de estos y se ejecuta un seguimiento de la información a través del tiempo y espacio a escala regional y nacional, con el propósito de suministrar información para elaborar reportes de las emisiones, reducción de emisiones o remociones de GEI.
- **Reporte:** es la presentación de los resultados de la información recolectada y los resultados de las emisiones que contribuyen al calentamiento global, consolidando datos y siendo analizados por el gobierno nacional, titulares de iniciativas de mitigación de GEI o cualquier organización responsable de proveer o generar información relacionada con la gestión del cambio climático.
- **Verificación:** es el proceso sistemático donde se valida la metodología y fiabilidad de las

acciones para la gestión del cambio climático, las reducciones y remociones de GEI. Esto involucra la revisión de los inventarios de GEI, la línea base de emisiones GEI y el cumplimiento de metas u objetivos de las NDC's.

5.6.3.1. Metodología MRV aplicadas para la ganadería bovina de El Salvador

Las instituciones públicas y privadas que estuvieron involucradas en el proyecto “Construcción de la NAMA Ganadera Bovina de El Salvador”, proponen los siguientes componentes según el documento de la NAMA ganadera bovina de El Salvador (IICA, 2024c):

- Se deben monitorear las emisiones y remociones de GEI con base a las directrices vigentes del IPCC y las metodologías utilizadas en la creación de la línea base de El Salvador. Realizándose durante el periodo de implementación cada dos años.
- Se deben reportar las emisiones y remociones de GEI en los sitios que se encuentran bajo intervención o aplicando las medidas implementadas y propuestas en las NDC's con el objetivo de alcanzar metas nacionales para la mitigación de GEI.
- Debe validarse la línea base que incluye la información de insumo y métodos de las emisiones y remociones. Con el objetivo de asegurar la calidad de la información utilizada y con criterios de evaluación previamente definidos.
- Se debe verificar la consistencia metodológica de las evaluaciones de las reducciones y remociones atribuidas a las medidas de mitigación. Este es un proceso que se realiza posterior a la implementación en el cual ya existan registros, datos y análisis para obtener los resultados.

5.7. Prácticas y Tecnologías para una Agricultura Sostenible

5.7.1. Sistemas de cosecha de agua

Toda el agua disponible en el planeta es parte de un ciclo. El desarrollo de la ciencia y de la tecnología para uso y manejo del agua deben orientarse a la búsqueda de un mejor aprovechamiento de este recurso en sus diversas fases y formas dentro del ciclo hidrológico (FAO, 2013).

La cosecha de agua se basa en la captura de agua de lluvia y escorrentía con fines productivos para la agricultura. Se estima que un gran porcentaje de la población del sector rural no tiene acceso a este recurso vital. Poner en práctica la cosecha de agua es crucial debido a que en los últimos años debido a

los efectos de la variabilidad climática dificulta el acceso convirtiendo lugares en vulnerables por la poca disponibilidad del recurso. La recolección de agua es un método esencial para abordar los problemas relacionados con la sequía en varios lugares del mundo, incluyendo El Salvador (Ayala, Gutiérrez, & Jarquín, 2024).

También la cosecha de agua se denomina en algunas literaturas como “Microcaptación” y esta se realiza a través de la captación de lluvia *in situ*, que posee una diferencia de la captación de agua general, acorde a los siguientes aspectos que resalta van Veenhuizen & Anaya (2000):

- Se utiliza específicamente para utilizarlo en cultivos básicos, forrajeros, vegetación nativa, árboles, arbustos y especies frutales.
- Las áreas destinadas a la microcaptación deben planificarse para aprovechar las áreas de escorrentía para aprovechar la mayor cantidad para ser almacenada y que no se tenga que recorrer grandes distancias para utilizarla, debe ser adyacente al área destinada para almacenamiento y posterior aplicación en cultivos.
- El área de almacenamiento depende del sistema de cosecha de agua, puede estar siendo aprovechado también para el desarrollo de las raíces del cultivo debido a la filtración a los horizontes inferiores.

Los métodos de cosecha de agua pueden ser diversos y se utiliza el que mejor se adapte a las necesidades, como el siguiente detalle:

- **Microcuencas:** Los sistemas de captación del agua de lluvia, aprovechan parte de la escorrentía del terreno y almacenar el agua. Se debe acondicionar las áreas para que cumplan eficientemente la captación o infiltración del fluido (van Veenhuizen & Anaya, 2000).
- **Reservorios:** puede ser naturales o artificiales, captan agua diferentes volúmenes de agua dependiendo de su diseño. Tiene el propósito de utilizarse en agricultura o para preservar la biodiversidad de un área. Esta estrategia contribuye a la adaptación de zonas para el cambio climático (Salas, 2023).

- **Zanjas de infiltración:** Las zanjas de infiltración son excavaciones en la tierra de 2 a 3 metros de largo y 1 metro de ancho y profundidad, estas útiles para reducir el escurrimiento superficial y la erosión. También se utilizan como parte de sistemas de tratamiento y captación de aguas pluviales, ya que el suelo y los materiales porosos de la zanja pueden retener y filtrar contaminantes del agua de lluvia antes de que se infiltren en el suelo (IICA, s.f. c).

5.7.1.1. Beneficios para agricultura y ganadería.

En Centroamérica, la disponibilidad del recurso hídrico es un elemento crítico, con abastecimiento deficitario y de baja calidad. La elaboración de sistemas de cosecha de agua reduce la carga de trabajo, beneficia a las familias, contribuyen a su calidad de vida y la producción agropecuaria (Radulovich, Rodríguez & Moncada, 1994).

Al incrementar la disponibilidad del recurso para la producción agropecuaria se contribuye al desarrollo rural sostenible y a la seguridad alimentaria. En lugares áridos y semiáridos con lluvias que suelen ser esporádicas, esta práctica garantiza el suministro de agua, evitando que se desperdicie por escorrentía o infiltración no controlada (Ayala, Gutiérrez, & Jarquín, 2024).

5.7.2. Sistemas NFT de producción de hortalizas

El sistema de cultivo por técnica de la película de nutriente (NFT, por sus siglas en inglés), es de las técnicas más utilizadas en los sistemas de cultivo sin suelo o con sustratos inertes. Se basa en la circulación continuo de intermitente de una lámina fina que transporta solución nutritiva. La manera en que estas se sostienen es por medio de un canal de cultivo donde fluye la solución y no existe perdida o salida al exterior, se considera un sistema cerrado o de recirculación (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, 2006).

5.7.2.1. Sistemas de producción mediante la técnica de la Acuaponía

La acuaponía es un sistema de cultivo donde se une la práctica de la acuicultura y la hidroponía en un mismo sistema integrado y sostenible que tiene la posibilidad de producir plantas y peses. Este sistema se basa en la recirculación del agua en el que se encuentran los desechos metabólicos generados por las especies acuáticas establecidas, estos desechos son transformados por una amplia población de bacterias y microorganismos que sintetizan el amoníaco producido a un elemento asimilable para las

plantas, estas utilizan esos minerales aprovechables para su desarrollo manteniendo un nivel de contaminación equilibrado entre las especies acuáticas y las plantas, formando un medio sostenible donde el agua filtrada libre de nutrientes es reutilizada por las especies establecidas (López, 2019).

5.7.2.2. Sistemas de producción mediante la técnica de la Hidroponía

Esta práctica es ampliamente popular, su origen deriva del siglo XIX. También se le conoce como nutricultura, quimiocultura, cultivo artificial o agricultura sin suelo. La característica de este tipo de sistema es que en cada una de sus etapas no requiere el suelo como soporte y la nutrición es principalmente a raíz de productos químicos que se diluyen en el sistema para ser transportado a las plantas según su requerimiento fisiológico. Es necesario controlar los parámetros para las plantas principalmente el pH, conductividad eléctrica y el % de salinidad en la solución (Zárate, 2014).

5.7.3. Uso de energías renovables

Realizar una transición de los sistemas energéticos fósiles o energía tradicional a las energías renovables como la solar o eólica, reducen las emisiones de GEI que provocan el cambio climático (ONU, s.f.).

- **Paneles solares:** actualmente, la implementación de esta energía renovable más diseminada debido a que mucha tecnología en la agricultura incorpora este sistema, tal como las cercas eléctricas y también por medio de la adaptación a bombas eléctricas que a través de inversores pueden potenciar el funcionamiento del equipo sin uso de energías convencionales o fósiles.
- **Biodigestores para energía y fertilizante:** aprovechan los residuos orgánicos procedentes de actividades agropecuarias, principalmente el estiércol con el cual se obtienen dos productos importantes de este sistema, biogás y biol mediante el proceso de digestión anaeróbica. El gas natural producido puede utilizarse en cocinas, sistemas de calefacción y el biol reemplaza la aplicación de fertilizantes sintéticos, reduciendo los costos y mejorando las condiciones del suelo (Martí, 2011).

5.7.4. Aplicación de ozono en agricultura

El ozono (O₃) es un compuesto formado por tres átomos de oxígeno, la función más importante de esta molécula es proteger la tierra frente a la peligrosa radiación ultravioleta del sol. Este es un agente desinfectante de amplio espectro y con capacidad altamente oxidante, su función principal destaca en la desinfección de aguas, sin embargo, su versatilidad también ha abierto un nicho en la agricultura

debido a que elimina bacterias, virus, protozoos, nemátodos, hongos, esporas y quistes. La molécula de ozono oxida sustancias citoplasmáticas evitando la recuperación de los microorganismos, a diferencia del cloro. (Pérez, s.f.).

5.7.4.1. Beneficios para el suelo y agua.

La productividad aplicando la molécula de ozono puede incrementar hasta en un %40. En agricultura se aplican inyecciones de agua ozonizada en el riego y los tratamientos foliares por pulverización, sustituyendo las prácticas de sulfatado y fumigado contra enfermedades. El ozono potencia y estimula las raíces por sus aportes de oxígeno incrementando la producción y calidad de los frutos (Econovedades, 2020).

6. METODOLOGIA

El proyecto de pasantía que fue ejecutado en la Representación del IICA El Salvador, tuvo tres enfoques fundamentales en su desarrollo, los cuales fueron:

- Apoyo durante el periodo de cierre técnico, administrativo y financiero del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador”.
- Apoyo en actividades desarrolladas dentro del Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible.
- Elaboración de un instrumento para recolección de datos en fincas ganaderas bovinas, diseño de una calculara en Excel para estimar emisiones de GEI en las ganaderías bovinas de El Salvador.

6.1. Metodología de oficina

6.1.1. Revisión y gestión de documentación técnica, financiera y administrativa del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” (fase de oficina).

Posterior al cierre de las actividades técnicas del proyecto, se dio inicio al cierre administrativo en el cual se debía asegurar el correcto registro y organización de la documentación que respaldaba la ejecución de este. Se delegó al pasante el control de los documentos administrativos, técnicos y financieros para organizarlos según las instrucciones de la agencia de cooperación para la que fue ejecutado este proyecto.

6.1.1.1. Apoyo en la aplicación de recomendaciones a la documentación del proyecto, realizadas por la auditoría financiera Externa.

Para asegurar la calidad de la documentación previo a la presentación a los cooperantes, se contrató el servicio de auditoría financiera para que hiciera una evaluación completa a los procesos ejecutados por el IICA durante el proyecto. Una vez concluyeron con el servicio fue entregado un informe con las recomendaciones realizadas que fueron delegadas al pasante, durante este periodo se sostuvo una comunicación estrecha entre el área técnica, la administración y el representante del IICA para socializar los avances en la aplicación de las recomendaciones, adicionalmente, se solicitó información canalizando la solicitud a través de la unidad de gestión de proyectos del IICA para convocar autoridades de la instituciones públicas y privadas con el propósito de cumplir con notas o firmas que correspondían a procesos realizados durante el proyecto.

6.1.1.2. Elaboración de matriz y acta de donación definitiva de artículos inventariables entregados a instituciones, encargados de Centros de Desarrollo Productivos (CDP's) y fincas piloto y validación de montos en dólares y euros de los artículos.

Acorde al convenio de cooperación entre la AECID y el IICA, se debía realizar la entrega oficial y definitiva de todos los bienes adquiridos en el proyecto que hayan sido clasificados como “artículos inventariables” durante la ejecución del proyecto. Por lo que se realizó la elaboración de una matriz en donde se organizarían dichos artículos, esta información fue obtenida del informe financiero presentado al cooperante el cual también fue utilizado para validar los montos de los artículos en dólares estadounidenses y euros, debido a que estos irían detallados en el acta de entrega definitiva. Posteriormente, los artículos fueron validados junto con el formato propuesto en conjunto con el área técnica de la oficina del IICA para el montaje de los artículos en cada una de las actas dirigidas a los diferentes beneficiarios e instituciones intervenidas por el proyecto.

6.1.1.3. Organización y distribución de documentos técnicos del proyecto a instituciones públicas y privadas.

Durante la ejecución del proyecto, fueron elaborados ocho documentos con información técnica y científica que sustentan las medidas de adaptación y mitigación de GEI promovidas por el proyecto. Los cuales son los siguientes:

- NAMA ganadera bovina de El Salvador.
- Ampliación y actualización del perfil del productor y sistemas de producción a nivel nacional en el rubro de ganadería bovina.
- Manual de medidas de mitigación y adaptación en la ganadería bovina de El Salvador.
- Manual técnico de pastoreo rotacional y uso racional de potreros.
- Línea base de emisiones por perfil, curvas de abatimiento de prácticas y proyección de emisiones de gases de efecto invernadero en El Salvador.
- Buenas prácticas en sistemas de monitoreo, reporte y verificación aplicadas en países de la región con potencial de adaptación en el sector ganadero de El Salvador.
- Estudio documentado sobre experiencias para gestión de NAMA y estrategias de ganadería baja en carbono en países de la región de América Latina.

- Sistematización de lecciones aprendidas de países de la región que están diseñando o implementando una NAMA ganadera.

El propósito de organizar y distribuir estos documentos es para compartirlos con diferentes actores públicos y privados como la dirección general de ganadería del MAG, agencias de extensión del CENTA, la escuela nacional de agricultura (ENA), la facultad de ciencias agronómicas de la Universidad de El Salvador (UES), asociaciones de ganaderos, entre otras para promover la transición de las ganaderías tradicionales a ganaderías resilientes, sostenibles y bajas en emisiones. Con el apoyo de la unidad de gestión de proyectos del IICA, se identificaron las instituciones y la cantidad de copias de ejemplares a distribuir.

6.1.2. Manejo de sistemas acuapónicos e hidropónicos para la producción de hortalizas dentro del laboratorio de pruebas para validación de innovaciones en sistemas de agricultura sostenible del IICA Representación El Salvador (Fase de oficina).

El invernadero del IICA o laboratorio de pruebas tiene el propósito de aplicar diferentes tecnologías como energías renovables, uso de ozono (O₃), sistemas de cosecha de agua y agricultura vertical. Estas son propuestas para mejorar la producción de hortalizas en diferentes tipos de ambientes en los cuales existan dificultades para acceder a recursos como agua, suelo y energía eléctrica.

6.1.2.1. Elaboración de solicitudes para la compra de insumos utilizados en el laboratorio (Invernadero).

Se realizan inventarios dentro del laboratorio con el propósito de determinar la disponibilidad de los insumos utilizados. Para solicitar la compra de estos se detalla el tipo de insumo, la cantidad y respaldarlo con una cotización de los lugares identificados como posibles proveedores. Los principales insumos son el alimento para las tilapias, recipientes para siembra, bolsas para cosecha y materiales para solventar problemas en sistemas.

6.1.2.2. Elaboración de cronograma de siembra de hortalizas en sistemas productivos del invernadero.

Antes de la ejecución de la pasantía, había un protocolo simple de siembra y cosecha, por lo que, junto con el Coordinador Técnico, se elaboró un esquema de siembra y cosecha escalonadas, para semanalmente tener disponibilidad de hortalizas a la venta.

6.1.2.3. Apoyo en designar y distribuir actividades para estudiantes en horas sociales y personal de apoyo para el invernadero.

Durante el transcurso de la pasantía, se designaron actividades puntuales dentro del invernadero, a los estudiantes, por lo que se elaboraron listados de actividades diarias y específicas que debían reportarse en las hojas de registro o de manera digital.

6.1.3. Elaboración de un instrumento para recolección de datos en fincas ganaderas bovinas, diseño de una calculara en Excel para estimar emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en las ganaderías bovinas de El Salvador (Fase oficina).

Para llevar a cabo la estructuración del instrumento para la recolección de datos y la herramienta para procesar los cálculos, se hizo una revisión teórica a diferentes documentos que respaldarán la metodología a utilizar, los valores establecidos para llevar a cabo una evaluación de las emisiones GEI del sector ganadero, reduciendo las emisiones a tres en concreto: las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). Adicionalmente, se determinó el horizonte de tiempo en el que e los valores de PCG, los cuales serían en un horizonte de tiempo de 100 años. También se revisaron las Directrices del IPCC 2006 y refinamiento 2019, Volumen 4 “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”, el capítulo 10 “Emisiones procedentes de la ganadería y la gestión del estiércol” y capítulo 11 “Emisiones de N_2O procedentes de suelos gestionados y emisiones de CO_2 procedentes de la aplicación de cal y urea” donde se seleccionó la metodología (nivel o Tier), selección de datos específicos del país donde se realizaría el estudio y las ecuaciones para realizar los cálculos para las emisiones de GEI resultantes de la fermentación entérica, gestión del estiércol y aplicación de fertilizantes nitrogenados.

6.1.3.1. 5to Informe de Evaluación (IE5) del Protocolo GEI para determinar el PCG de los GEI.

Actualmente, existen seis reportes elaborados por el GHG Protocol, sin embargo, será utilizado el quinto informe, debido a que este tiene mucho más tiempo de haberse elaborado, por lo tanto, sus datos son mucho más fiables estadísticamente. Dentro del informe elaborado por GHG Protocol (2024), se detallan los diferentes tipos de gases y sus PCG, estos valores son elementales para realizar las estimaciones a través de las ecuaciones contenidas dentro de las directrices del IPCC, en ese caso, se seleccionarán los valores PCG de los GEI identificados para el rubro de la ganadería bovina siendo estos los gases categorizados entre los principales GEI, según el siguiente detalle (Cuadro. 1):

Cuadro 1. PCG de los principales GEI vinculados al rubro de la ganadería bovina y aplicación de fertilizantes nitrogenados publicados en el IE5.

Nombre químico común o designación industrial	Formula química	Valores de PCG para un horizonte de tiempo de 100 años descritos en el “Quinto informe de evaluación (IE5).
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Oxidó nitroso	N ₂ O	265

Adaptado del GHG Protocol, 2024 (<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>).

6.1.3.2. Directrices del IPCC 2006 y refinamiento 2019, Volumen 4 “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”, capítulo 10 “Emisiones procedentes de la ganadería y la gestión del estiércol”.

Dentro de este volumen se abordan las metodologías, se selecciona el nivel con el que se llevará a cabo la evaluación de las emisiones y se delimitan las ecuaciones a aplicar. Gavrilova *et al* (2019) señala que, en el caso de la ganadería bovina es con base a dos enfoques:

- Emisiones de CH₄ producto de la fermentación entérica producto de la alimentación de los bovinos.
- Emisiones directa e indirectas de CH₄ y N₂O producto de la gestión del estiércol.

En primer lugar, se llevó a cabo una caracterización de la población ganadera y el tipo de alimentación que se le suministra al hato. Teniendo en cuenta que para la metodología de nivel 2, se requiere información detallada sobre los siguientes aspectos:

- Definir los tipos de sistemas productivos de la ganadería.
- Definir la población ganadera por subcategoría.
- Estimaciones sobre el consumo de alimento para cada animal típico de cada subcategoría.

Para llevar a cabo esta primera etapa se siguió el diagrama de árbol para la toma de decisiones para la caracterización de la población ganadera:

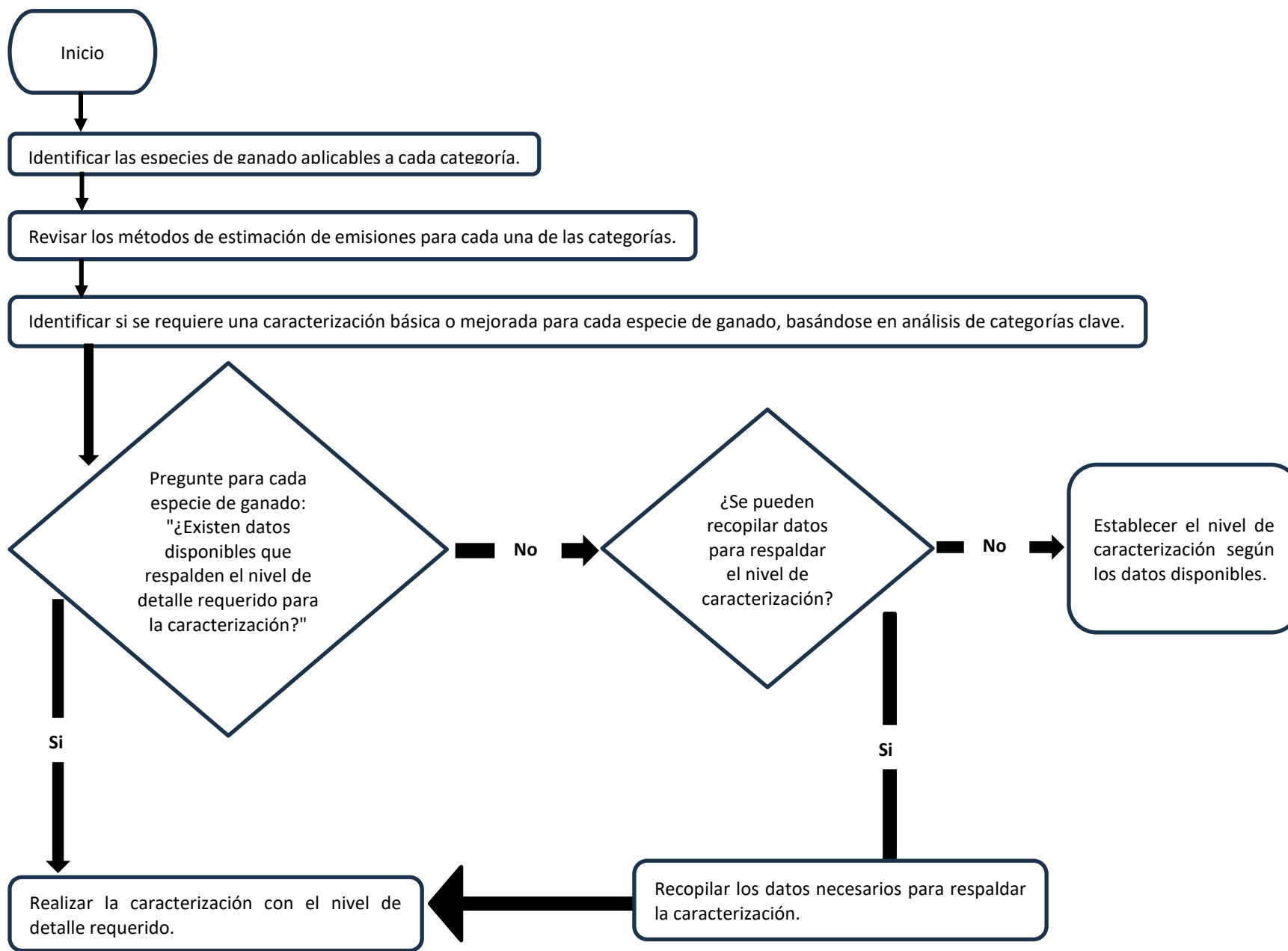


Figura 1. Árbol de decisiones para la caracterización de la población ganadera (Gavrilova *et al*, 2019).

Para realizar las estimaciones de CH₄ derivadas de la fermentación entérica bajo la metodología de Nivel 2, requiere los datos detallados de cada país sobre la ingesta de energía bruta y los factores de conversión de metano para los diferentes animales que componen el hato. La metodología acorde a Gavrilova *et al* (2019), propone seguir los siguientes pasos:

- Paso 1: se debe haber realizado una correcta caracterización de la población ganadera.
- Paso 2: Los factores de emisión de CH₄ se estiman para cada categoría animal, con ayuda de los datos recolectados en el paso 1. El factor de emisión se estima con base a la ingesta energética bruta y el factor de conversión de CH₄ para cada categoría.

Una vez se cumplen con estos pasos, se debe completar los siguientes sub paso:

- Obtención del factor de conversión de CH₄: este representa el porcentaje de energía bruta ingerida que se convierte en CH₄ durante el proceso de fermentación entérica del ganado bovino. Su valor está en función de la interacción entre las características del animal como la raza, genética, nivel productivo y características de la dieta como la calidad, digestibilidad del alimento y su contenido de fibra. El factor de conversión de CH₄ tiende a variar significativamente entre regiones debido a la diversidad de sistemas productivos, la genética del hato y los alimentos disponible, por lo que una buena práctica es que los países sean capaces de desarrollar este valor específico para el país donde se realice la estimación, de otro modo se pueden utilizar los datos propuestos por el IPCC como una aproximación. Científicamente, se ha demostrado que mejorar la calidad del alimento, incrementando la digestibilidad y que exista un menor porcentaje de Fibra Detergente Neutra (FDN) y también la alimentación moderada de concentrado, reducen las emisiones por unidad de energía ingerida. Lo que quiere decir que los valores del factor de rendimiento de CH₄ varía en función de la digestibilidad del alimento ofrecido al ganado, si este es de menor calidad el valor incrementa (Gavrilova *et al*, 2019).

Para llevar a cabo la selección de esta metodología se siguió el diagrama de árbol de decisiones para las emisiones de CH₄ derivadas de la fermentación entérica:

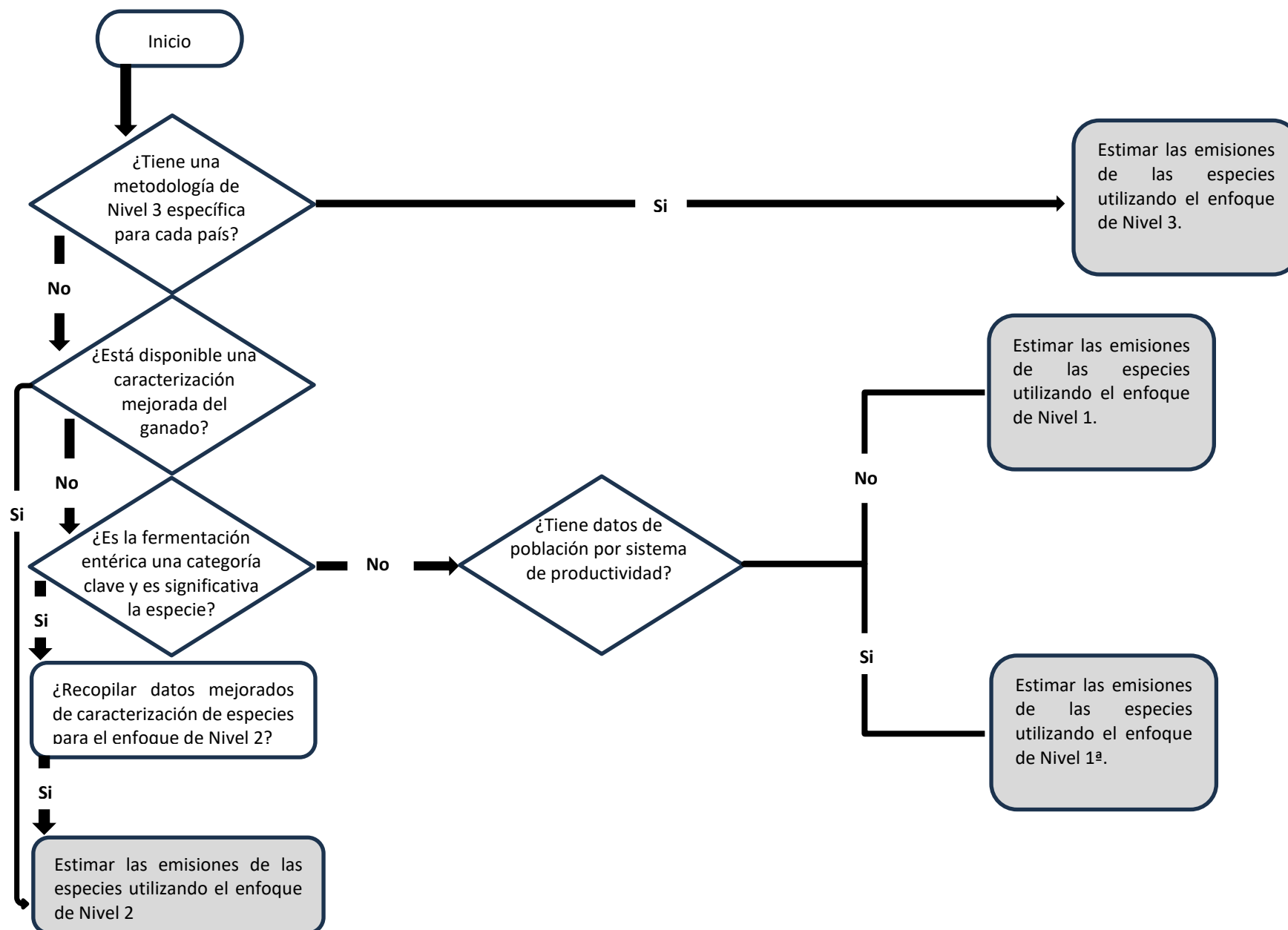


Figura 2. Árbol de decisiones para las emisiones de CH₄ derivadas de la fermentación entérica (Gavrilova *et al*, 2019).

Para realizar las estimaciones de CH₄ derivadas de la gestión del estiércol bajo la metodología de Nivel 2 revisada en la investigación de Gavrilova *et al* (2019)., requiere los datos detallados de cada país sobre la gestión del ganado, manejo y almacenamiento del estiércol. Se detallan los siguientes elementos necesario para estimar las emisiones:

- Tasas de excreción de sólidos volátiles (VS): esto representa la fracción orgánica del estiércol del ganado bovino y se tienen en cuenta componentes biodegradables y no biodegradables. En resumidas cuentas, el contenido de VS en el estiércol corresponde a la fracción de la dieta que no es digerida y es contenido en el estiércol. Para los países deben estimar la ingesta de energía bruta (GE) y la digestibilidad de la dieta (DE), dichos parámetros también forman parte de la metodología para estimar las emisiones por fermentación entérica.
- Valores B₀ (capacidad máxima de producción de metano): este se refiere a la capacidad máxima del estiércol para producir CH₄, este parámetro varía según la especie del animal y el tipo de dieta. Si a nivel nacionales no se han obtenido los valores de B₀, pueden emplearse valores por defecto del IPCC para obtener resultados aproximados.
- Factor de Conversión de Metano (FCM): significa el grado en el que alcanza el potencial máximo de producción de CH₄ (B₀) vinculado a un sistema específico destinado a la gestión del estiércol, el valor final está en función del tipo de sistema de manejo y refleja la proporción de SV excretados que posteriormente se transforman en CH₄. La cantidad de CH₄ que se genera está directamente relacionada a la gestión del estiércol y por la producción de VS, procesos anaeróbicos, temperatura y tiempo de retención del material orgánico. Si no se tienen valores nacionales, se puede considerar utilizar los valores del IPCC para obtener resultados aproximados ya que cuenta con diferentes especificaciones en los sistemas de gestión y almacenamiento del estiércol en diversas condiciones. Si se trabaja con sistemas de gestión y almacenamiento en un medio líquido, se recomienda registrar las temperaturas debido a que las emisiones incrementan exponencialmente debido a la incidencia de altas temperaturas.

Para llevar a cabo la selección de esta metodología se siguió el diagrama de árbol de decisiones para las emisiones de CH₄ derivadas de la gestión del estiércol:

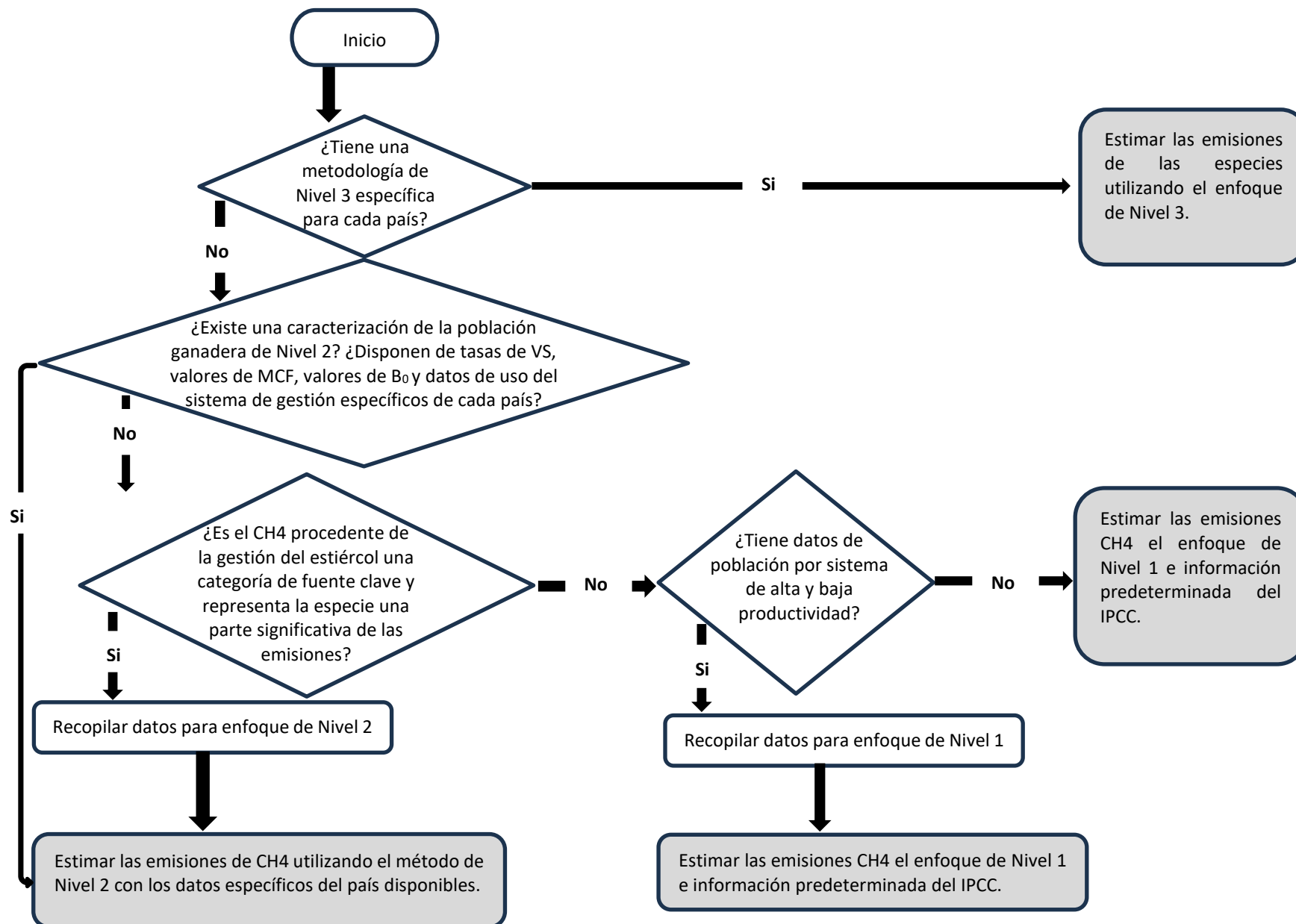


Figura 3. Árbol de decisiones para las emisiones de CH4 derivadas de la gestión del estiércol (Gavrilova *et al*, 2019).

Para realizar las estimaciones de N₂O derivadas de la gestión del estiércol bajo la metodología de Nivel 2, requiere los datos detallados de cada país sobre la gestión del ganado, manejo y almacenamiento del estiércol. Según Gavrilova *et al* (2019), los siguientes elementos necesario para estimar las emisiones son los siguientes:

- Para conseguir estimar las emisiones directas más precisas de este GEI se obtienen mediante la representación de las condiciones reales de los sistemas de gestión del estiércol, considerando la duración del almacenamiento, el tipo de tratamiento y variables ambientales como la aireación y la temperatura. Si, en el país no existe un registro preciso de estos datos el IPCC recomienda que se utilicen los valores por defecto que se encuentran diferenciados por sistemas de manejo del estiércol.
- Para conseguir estimar las emisiones indirectas más precisas de este GEI, es necesario cuantificar las pérdidas de nitrógeno por volatilización y por lixiviación o escorrentía. Las fracciones pueden estimarse por medio de los valores que proporciona el IPCC, sin embargo, para mantener la precisión en el registro de las emisiones, es necesario desarrollar el registro de valores específicos por país, especialmente si existen estrategias de mitigación que influyan en estas pérdidas.
- El IPCC, menciona que cuando se esté realizando una estimación de las emisiones N₂O y el estiércol este siendo gestionado a través de múltiples sistemas de manejo, los factores de emisión deben asignarse al sistema de almacenamiento dominante. Sin embargo, las emisiones pueden estimarse ponderado los factores de emisión de cada sistema para incluir esas emisiones en los resultados de dicha evaluación.

Para llevar a cabo la selección de esta metodología se siguió el diagrama de árbol de decisiones para las emisiones directas e indirectas de N₂O derivadas de la gestión del estiércol:

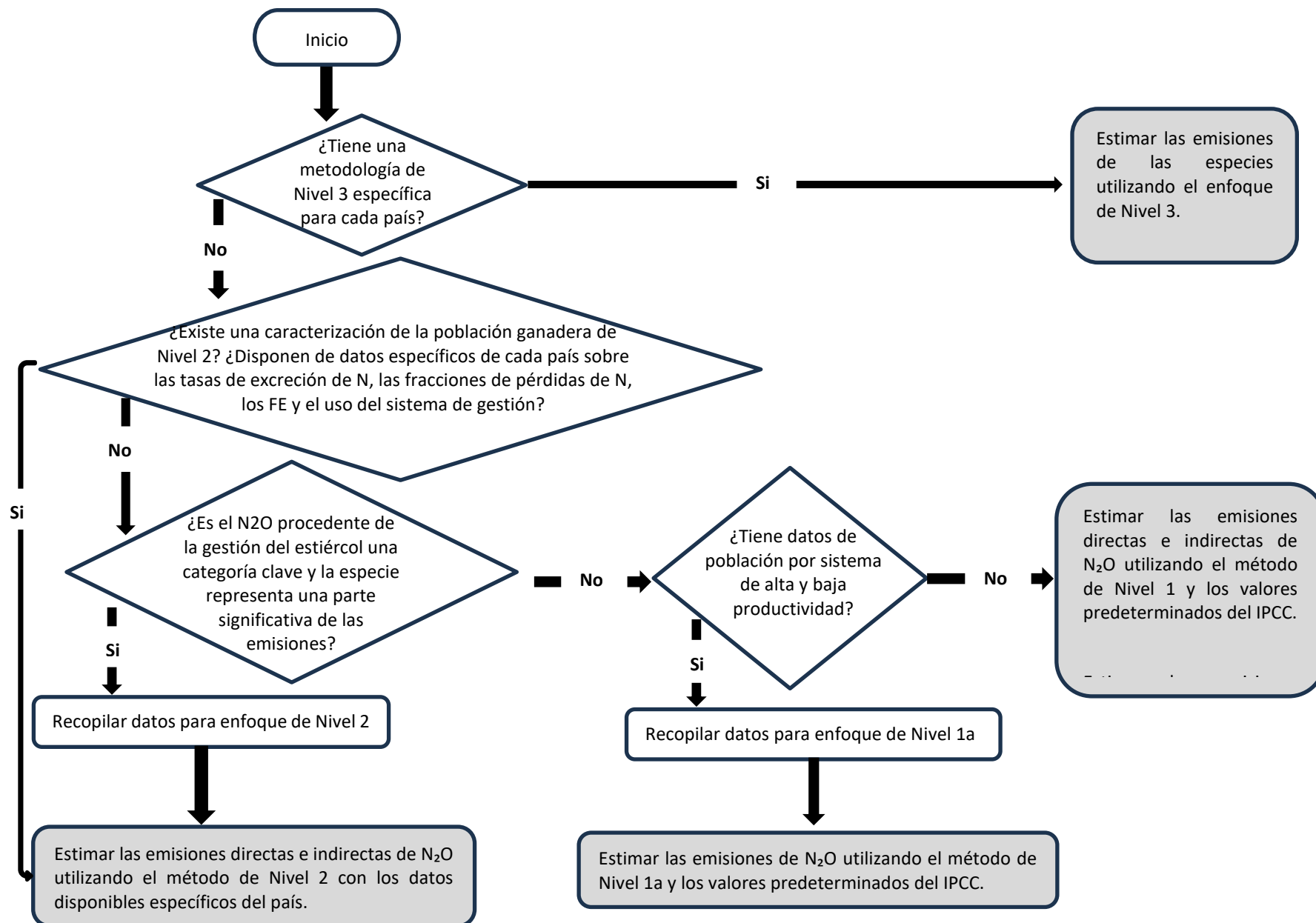


Figura 4. Árbol de decisiones para las emisiones directa e indirectas de N₂O derivadas de la gestión del estiércol (Gavrilova *et al*, 2019).

6.1.3.3. Directrices del IPCC 2006 y refinamiento 2019, Volumen 4 “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”, capítulo 11 “Emisiones de N₂O procedentes de suelos gestionados y emisiones de CO₂ procedentes de la aplicación de cal y urea”

Las aplicaciones de nitrógeno en los suelos incrementan las tasas de nitrificación y desnitrificación, esto provoca las emisiones de N₂O, las cuales se subdividen en emisiones directas (aplicaciones al suelo) e indirectas (volatilización y escorrentía o lixiviación). Acorde a (Hergoualc’h *et al*,2019), las emisiones de este tipo se originan debido a la intervención antropogénica al momento de realizar cambios en el uso del suelo o prácticas de manejo que favorecen el proceso de mineralización del nitrógeno orgánico del suelo. En la metodología de Nivel 2 para estimar las emisiones directas e indirectas de N₂O, se resaltan las siguientes fuentes de nitrógeno:

- Fertilizantes sintéticos.
- Nitrógeno orgánico aplicado como fertilizante.
- Nitrógeno de origen animal productos de la origina y el estiércol depositado en pastos, praderas y potreros.
- Nitrógeno producto a residuos de cultivos (incluyendo cultivos que fijan nitrógeno y forrajes)
- Mineralización de nitrógeno asociado a la perdida de MO en el suelo resultados del cambio o gestión de suelos minerales.
- Drenaje y gestión de suelos orgánicos (emisiones directas)

Con respecto a las emisiones indirectas N₂O, se perciben por la descomposición de la molécula de nitrógeno que cuando se volatiliza se genera amoniaco (NH₃) y óxidos de nitrógeno (Nox) y la deposición de este elemento sobre los suelos y cuerpos de agua donde posteriormente emite N₂O mediante procesos microbianos. Otra vía por la indirectamente se generan emisiones es por la lixiviación y escorrentía del nitrógeno en forma de nitrato, este material al exceder la demanda biológica del sistema suelo y vegetación, es transportado hacia aguas superficiales y subterráneas (Hergoualc’h *et al*,2019).

Para realizar las estimaciones de N₂O es posible aplicar las metodologías de Nivel 1 y Nivel 2 siguiendo los diagramas de árbol de decisiones para las emisiones directas e indirectas de N₂O derivadas de la aplicación de gestión del estiércol:

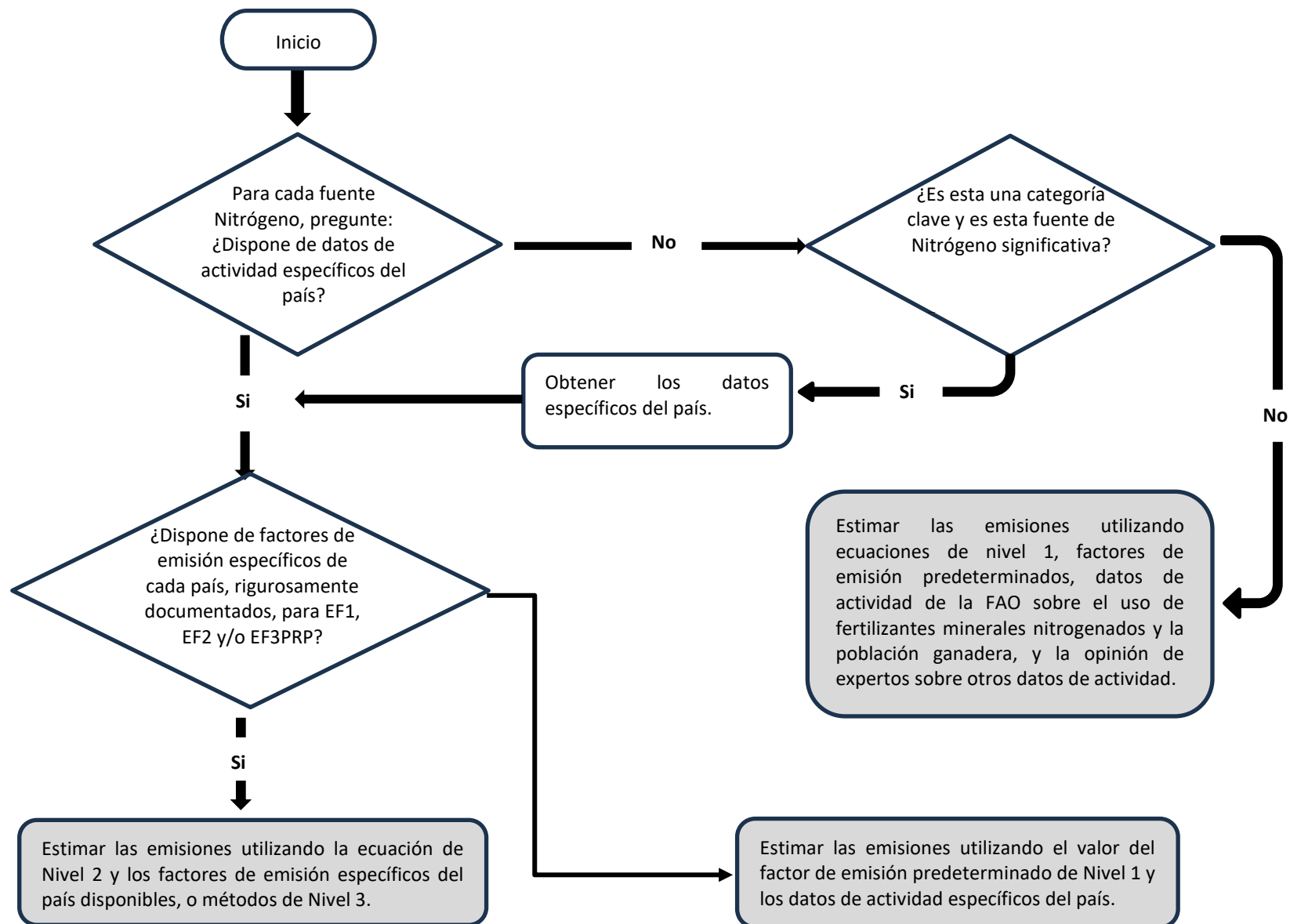


Figura 5. Árbol de decisiones para las emisiones directas de N₂O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Hergoualc'h *et al*,2019).

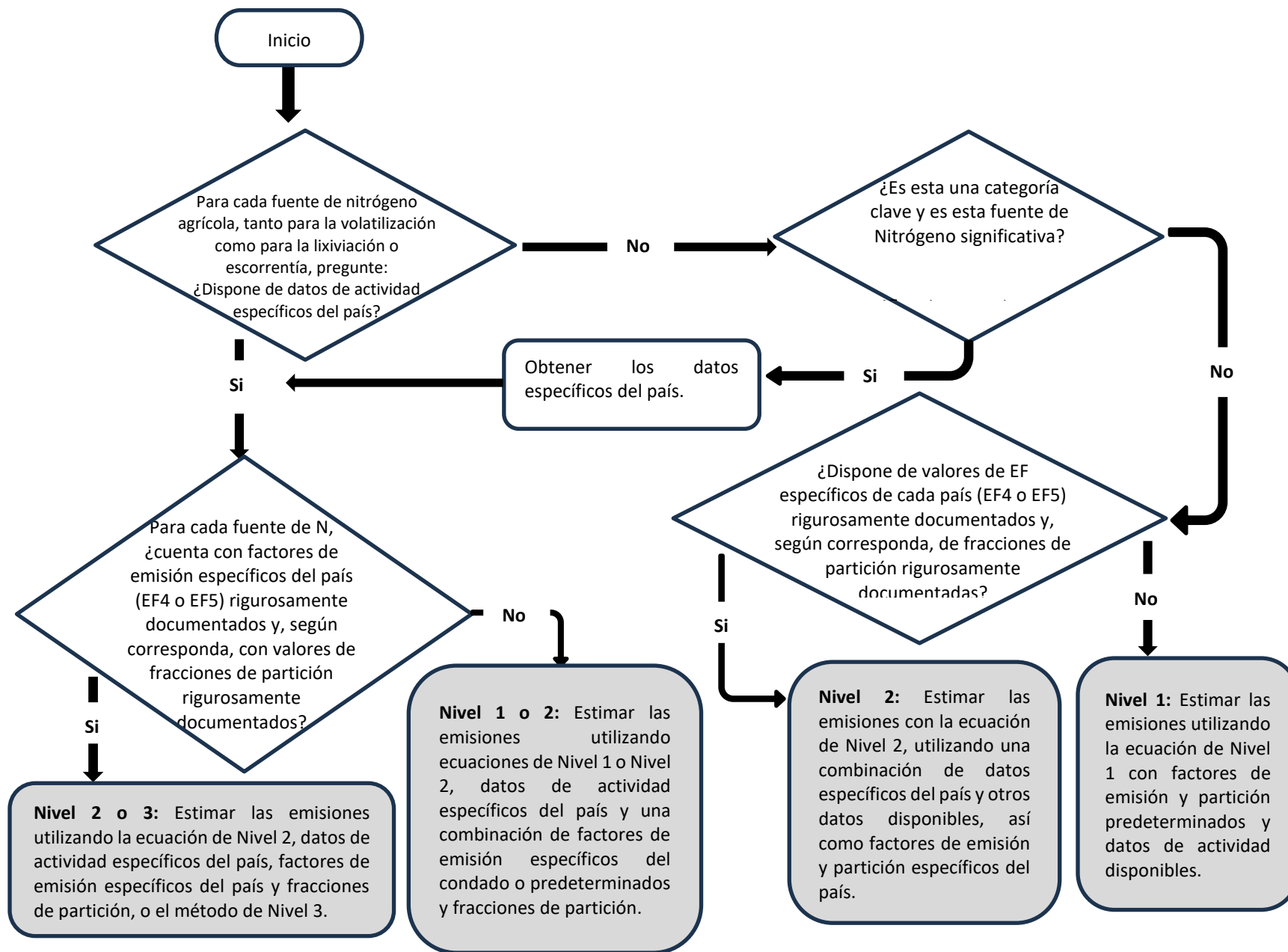


Figura 6. Árbol de decisiones para las emisiones indirectas de N₂O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Hergoualc'h *et al*, 2019).

6.2. Metodología de campo

6.2.1. Revisión y gestión de documentación técnica, financiera y administrativa del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” (fase de campo).

6.2.1.1. Visita a encargados de CDP’s y fincas piloto de la zona occidental del país para entrega de actas de transferencia de bienes.

Se realizó la coordinación logística para visitar las diferentes fincas pilotos y CDP’s distribuidos en la zona occidental para realizar la entrega oficial de bienes en calidad de donación, por lo que se trabajó en conjunto a la administración y personal técnico del IICA para contemplar los materiales catalogados como inventariables en el proyecto (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coordinación logística para visita a fincas piloto y CDP's de oriente de El Salvador.

ENCARGADO	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	TIPO	COORDENADAS
Mario Marín	San Vicente	San Ildefonso	FINCA PILOTO	13.7030556, -88.5847222
Jacqueline Guandique	Morazán	San Francisco Gotera	FINCA PILOTO	13.5600089, -88.06460
Nelson López	La Unión	Bolívar	CDP	13.6211111, -87.986667
Aristides Rodríguez	Morazán	San Carlos	CDP	13.620833, -88.115
Eustasio Mata	Morazán	San Francisco Gotera	FINCA PILOTO	13.7097045, -88.1121508
Margarita de la Cruz	Cabañas	San Isidro	CDP	13.820278, -88.701111

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Manejo de sistemas acuapónicos e hidropónicos para la producción de hortalizas dentro del laboratorio de pruebas para validación de innovaciones en sistemas de agricultura sostenible del IICA Representación El Salvador (Fase de campo).

6.2.2.1. Monitoreo de plagas y deficiencias en plantas establecidas en los sistemas productivos.

Dentro del Laboratorio de Prueba se intentan mantener los necesarios para el ingreso al área de los sistemas productivos, siguiendo las reglas básicas para el ingreso a estructuras de ambiente protegido para evitar en lo posible el ingreso de plagas y vectores de enfermedades (IICA, 2023).

Se recomienda también la inspección semanal en las plantas establecidas en los sistemas y previo al ingreso de plantines para realizar siembras. Si estos presentan algún ente patógeno, se deben desinfectar para evitar problemas posteriormente.

6.2.2.2. Atención a visitas al Laboratorio de Pruebas (invernadero).

El IICA cuenta con una iniciativa denominada “IICA de puertas abiertas” el cual promueve la visita de personas particulares, emprendedores, agencias de cooperación, productores de hortalizas y entre otras

personas a la visita a las diferentes oficinas del IICA en el continente para mostrar el trabajo de la oficina. Para la Representación de El Salvador se atienden visitas específicamente para el Laboratorio de pruebas en el durante el recorrido se explican las estructuras disponibles en el área productiva y el fundamento para su funcionamiento (IICA, 2025b).

6.2.2.3. Actividades de mantenimiento de sistema acuapónico y actividades generales del huerto e invernadero.

Por lo general los sistemas necesitan mantenimiento para su correcto funcionamiento, por lo que se requiere un monitoreo constante para evitar obstrucciones en las tuberías, bombas, barriles en los diferentes sistemas establecidos en el laboratorio:

- Sistema acuapónico de estructura tipo “A”.
- Sistema de camas flotantes
- Sistema de bambú multinivel
- Sistema de multinivel de hierro

También, la Representación de IICA El Salvador, cuenta con un huerto al costado del invernadero donde se cultivan diferentes tipos de hortalizas, tubérculos y plantas ornamentales por lo que se requieren labores de monitoreo en la calidad de las plantas establecidas en el área, control de la maleza y elaboración de estructuras para establecer cultivos como camellones, curvas a nivel y obras de conservación de suelos.

6.2.2.4. Manejo de tilapias y gestión de actividades en estanques.

En el sistema acuapónico establecido dentro del Laboratorio de pruebas se han utilizado tilapia gris (*Oreochromis niloticus*), las cuales son las que producen el amoníaco (NH_4) que es sintetizado por las bacterias nitrificantes transformando ese compuesto a nitrato (NO_3^-), el cual es asimilable por las plantas (López, 2019).

Adicionalmente, se debe hacer un manejo apropiado en la alimentación de las tilapias de los estanques A y B ofreciéndoles el alimento necesario para su desarrollo. Según las instrucciones realizadas por el personal técnico del IICA Representación El Salvador, se debe de realizar al menos una vez cada mes el control de peso de la población de las tilapias para realizar el cálculo de ración alimenticia diaria.

6.3. Actividades emergentes

6.3.1. Capacitación sobre el uso de drones para el “Fabrication Laboratory” (FABLAB) de IICA El Salvador.

Se asistió a la capacitación junto a personal técnico de la institución sobre el manejo de drones y los diferentes tipos de funciones que estos tienen y como pueden contribuir a la agricultura. El propósito de esto fue fortalecer al personal para instruir sobre el uso de drones y teledetección a visitantes del FAB-LAB del IICA a través de la iniciativa de IICA de puertas abiertas.

6.3.2. Jornada de capacitaciones junto a técnicos del MAG, impartidas por técnicos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

El IICA por parte de la Cooperación Sur-Sur y Triangular (CSST) recibió una delegación técnica del INTA para llevar a cabo una jornada de capacitaciones sobre ganadería bovina, sistemas de innovación e inocuidad en el tratamiento de la leche y atención sobre la amenaza del gusano barrenador en la región Centroamericana, por lo que se realizaron visitas a la zona occidental del país, específicamente Sonsonate y Ahuachapán en diferentes ganaderías bovinas, ganaderías caprinas y un rastro para faenado y procesamiento de carne bovina. El objetivo de las giras fue registrar lecciones aprendidas para dar sugerencias sobre sus prácticas de manejo, genética y recomendaciones para eficientizar los recursos disponibles.

6.3.3. Apoyo al IICA en revisión de documentación para cierre de proyecto “Remodelación de la ENA”. Y Apoyo al IICA en revisión de documentación para cierre de proyecto “Remodelación de la ENA”.

Se solicitó el apoyo por parte de la administración del IICA Representación El Salvador en el manejo de la documentación financiera, técnica y administrativa durante el periodo de cierre de un convenio de cooperación entre el IICA y la ENA. Realizando un control interno de la documentación administrativa que se entregaría al socio, también se apoyó en la elaboración de actas de entrega de bienes en concepto de donación de los activos adquiridos durante la ejecución del proyecto.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1. Organización de información técnica, administrativa y financiera del proyecto bajo las normas, reglas y nomenclaturas establecidos por el cooperante y remisión oficial de documentación.

Con toda la documentación organizada y validada por el Representante y la administración del IICA

El Salvador, se recibió una capacitación por parte del cooperante en la cual se asistió con personal técnico y administrativo para detallar los lineamientos para archivar la documentación previa a la remisión oficial de los documentos. Estos debían poseer una nomenclatura que hace referencia a cada componente planteado dentro del marco lógico del proyecto, las líneas de gasto del proyecto, documentación técnica y medios de verificación de las actividades realizadas. Estas debían almacenarse en las siguientes carpetas principales:

- Cierre técnico: planes operativos, informes, fuentes objetivas de verificación, productos del proyecto, estudios, documentos y material de asistencia técnica.
- Cierre administrativo: documentación financiera, administrativa e informe de auditoría.
- Comunicaciones
- Gestión del conocimiento
- Género
- Evaluación.

Dentro de dichas carpetas principales se distribuiría toda la información según su clasificación para finalmente archivarse en una plataforma digital del cooperante y posteriormente, remitir la documentación archivada.

7.2. Atención a visitas del Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible (Invernadero)

Gracias a la iniciativa del “IICA de Puertas Abiertas” se contó con una gran participación de visitantes al invernadero a los que se les capacito en las diferentes tecnologías disponibles del laboratorio:

- Equipo de ozono aplicado en modo gas y modo hidro para desinfectar equipos y aplicar de manera foliar.
- Kit de energía renovable que cuenta con paneles que generan aproximadamente 2400 watts, las baterías de gel, inversor, monitor de capacidad de carga y funcionamiento del sistema.

- Sistemas hidropónicos tipo bambú, camas flotantes y vertical de torres en el que se siembran diferentes tipos de hortalizas y plantas aromáticas.
- Sistemas acuapónicos con el establecimiento y manejo de alrededor de 150 tilapias para la producción escalonada de lechugas y apios.

Durante la ejecución de esta actividad se contaron con la visita de personalidades como las siguientes:

- Viceministro de Gestión y Desarrollo en Salud, el Dr. Carlos Alvarenga
- Productor industrial de lechugas especializado en hidroponía con sistemas patentados con implementación de ozono inyectado en agua, Don Marcelino Interiano.
- Facilitador de las actividades ejecutadas dentro del laboratorio de prueba durante la ejecución de la ELTSA en IICA a 60 estudiantes de la escuela de verano agrícola, impulsada por RCS.
- Visita del director general del IICA, Dr. Manuel Otero.
- Visita de estudiantes del Instituto Hermanas Somascas para la implementación de huertos hidropónicos como proyecto de ciencias.
- Estudiantes de la cátedra de Economía Agropecuaria de la Universidad Técnica Latinoamericana (UTLA) para evaluar los costos de implementación, establecimiento y mantenimiento de sistemas tipo NFT.

Entre otros visitantes alcanzando un número estimado de visitas de 150 personas durante la ejecución de la pasantía entre personas interesadas en comprar lechugas, conocer sobre los sistemas implementados en el laboratorio de pruebas y personal de cooperación técnica interesado en la implementación de huertos a pequeña escala para fortalecer la soberanía y seguridad alimentaria.

7.3. Actividades técnicas ejecutadas en el Laboratorio de pruebas (invernadero) y huerto externo del IICA El Salvador.

Durante la ejecución de la pasantía se realizaron diferentes actividades relacionadas al laboratorio de pruebas de las cuales destacan las actividades de mantenimiento de los diferentes componentes del sistema acuapónico:

- Depuración de los sedimentadores de los estanques de tilapias: consta en el cierre de las válvulas

que regulan el paso de agua entre los estanques y que se encargan de absorber las excretas que se encuentran en el fondo del estanque A y B. El fundamento es que al no haber paso de agua entre los estanques y el separador mecánico, el nivel de agua empieza a subir en ambos estanques haciendo que exista más presión en el sedimentador que se encuentra al fondo, al abrir las válvulas de forma completa, el caudal llegará con fuerza al separador mecánico, absorbiendo los sedimentos acumulados en el fondo. Esta actividad se debe realizar cada tres días para evitar concentraciones de NH_4 que deriven en pérdida de apetito, estrés o mortalidad de las tilapias.

- Limpieza de las tuberías de sistema acuapónico: consta en retirar la acumulación de excretas, residuos orgánicos de las plantas como hojas, tallos o raíces en todo el sistema, esto puede llegar a causar taponamientos en los pasos de agua entre tubos del sistema. Se deben limpiar los conectores entre niveles que se encargan de drenar el agua hasta llegar al sumidero para que esto retorne a los estanques A y B. Para llevar a cabo esta actividad debe haber una desconexión total de los acoples del sistema acuapónico, debido a que se interrumpe el ciclo de retorno de agua, se debe actuar rápidamente para evitar el estrés y mortalidad de las tilapias. La actividad se debe hacer al menos cada dos meses para evitar problemas o posterior a 3 ciclos de cultivo de hortalizas del sistema.
- Cálculo de ración alimenticia para tilapias se debe extraer el agua de los estanques y extraer cada tilapia con una red o determinar una muestra de la población para obtener la biomasa de las tilapias, determinar la cantidad de población por estanque y estimar el peso promedio, con estos datos se procede a realizar el cálculo de ración diaria por estanque.

7.4. Elaboración de un instrumento para recolección de datos en fincas ganaderas bovinas.

Con base a lo revisado en el volumen 4 de las directrices del IPCC del 2006 y su refinamiento de 2019, se procedió a la elaboración del instrumento de recolección de datos para la implementación de un sistema MRV, en el cual se ha estructurado intentando ser fiel a las metodologías de Nivel 2 aplicadas en los capítulos 10 “Emisiones derivadas de la gestión del ganado y del estiércol” y capítulo 11 “Emisiones de N_2O de suelos gestionados y emisiones de CO_2 de la aplicación de cal y urea” con el propósito de poder registrar datos precisos sobre las prácticas realizadas en las ganaderías y el uso de los recursos disponibles dentro de las áreas a intervenir. La estructura del instrumento consta 5 secciones,

desglosadas de la siguiente forma:

- Sección 1 “Información general y objetivo del instrumento”: En este apartado se identifica la identidad del ganadero, nombre de la finca. los aspectos territoriales y georreferenciales. Adicionalmente, se colocan los objetivos y resultados esperados del instrumento en acción (**Anexo. 1**).
- Sección 2 “Caracterización del hato”: se delimitan los diferentes tipos de bovinos que componen los hatos más comunes de las ganaderías en El Salvador, la clasificación del sistema productivo/ganadería, el tipo de sistema de cría, la genética utilizada, forma de ordeño y producción de leche (**Anexo. 2**).
- Sección 3. “Caracterización de alimentación del hato” (**Anexo. 3**) y Sección 3.1. “Uso de suplementos y manejo de potreros” (**Anexo. 4**): Se delimita la información relacionada a la alimentación del hato mediante los Diagnósticos de Plan de Finca (DPF) realizados a los ganaderos intervenidos durante la ejecución técnica del proyecto, los documentos “Ampliación y actualización del perfil del productor y sistemas de producción a nivel nacional en el rubro de ganadería bovina”, “Manual de medidas de mitigación y adaptación en la ganadería bovina salvadoreña” y “Manual técnico de pastoreo rotacional y uso racional de potreros”, elaborados por el IICA, 2024.
- Sección 4. “Sistemas de gestión y tratamiento de estiércol”: Finalmente, en esta sección se toman los diferentes tipos de gestión del estiércol utilizados en las ganaderías bovinas, según el capítulo 10 “Emisiones de la gestión del ganado y del estiércol” y el capítulo 11 “Emisiones de N₂O de suelos gestionados y emisiones de CO₂ de la aplicación de cal y urea” del Refinamiento de las directrices del 2019 del IPCC (**Anexo 5**).

Sección 5. “Comentarios adicionales”: en este apartado se pueden colocar valoraciones generales de la finca ganadera y donde firma el propietario o encargado de la finca y la firma del técnico que visitó finca (**Anexo. 6**). Cabe destacar que cada una de las secciones contiene preguntas de selección múltiple, la opción “otro” para agregar elementos no contemplados en el instrumento y comentarios en los cuales el técnico podrá hacer análisis y aclaraciones sobre las respuestas seleccionadas.

7.5. **Compilación de ecuaciones para estimar emisiones de GEI en la ganadería bovina y aplicación de fertilizantes nitrogenados.**

Dentro de este documento, Para proceder con la elaboración de la calculadora de emisiones, se procedió a compilar las ecuaciones tomadas del Volumen 4 “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”, específicamente del capítulo 10 “Emisiones de la gestión del ganado y del estiércol” y el capítulo 11 “Emisiones de N₂O de suelos gestionados y emisiones de CO₂ de la aplicación de cal y urea” del “Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” del IPCC y delimitado en el documento “Línea base de emisiones por perfil, curvas de abatimiento de prácticas y proyección de emisiones de gases de efecto invernadero en El Salvador” elaborado por el IICA en 2024”.

7.5.1. **Ecuación general para estimar escenarios de mitigación de emisiones de GEI en ganaderías bovinas.**

Para realizar comparaciones entre escenarios sin mitigación y con mitigación, primero debe evaluarse la ganadería previa a la implementación de medidas de mitigación, obteniendo la línea base de emisiones que puede contrastarse con los datos obtenidos de la ganadería posterior a la implementación de medidas de mitigación (Ec 1.).

Ecuación 1. Estimación de reducciones GEI.

$$RE = ELB - EM$$

Dónde:

<i>RE</i>	: Reducción de emisiones	<i>Unidad</i> t CO _{2eq} /año
<i>ELB</i>	: Emisiones de línea base	t CO _{2eq} /año
<i>EM</i>	: Emisiones de escenario de mitigación	t CO _{2eq} /año

7.5.2. **Ecuaciones para estimar emisiones metano (CH₄) derivadas de la fermentación entérica**

Para estimar las emisiones relacionados a la alimentación de cada categoría dentro del hato, se obtiene la ecuación general para estimar el CH₄ liberado (Ec. 2). Para este enfoque se utilizarán desde la ecuación 2 hasta la ecuación 2.6, número indicado dentro del cuadro de la ecuación.

Ecuación 2. Emisiones de generales de CH₄ asociadas a fermentación entérica del ganado

$$EB_{CH_4,F} = \left[\sum_g \left(\frac{FE_{g,CH_4} \cdot N_g}{1000} \right) \right] \cdot PCG_{CH_4}$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
$EB_{CH_4,E}$: Emisiones de metano de línea base asociadas a fermentación entérica del ganado	t CO _{2eq} /año
FE_{g,CH_4}	: Factor de emisión de metano para la población definida para la categoría productiva “g”	kg CH ₄ /animal/año
N_g	: Cantidad de cabezas de ganado de la población definida para la categoría productiva “g”	-
PCG_{CH_4}	: Potencial de calentamiento global del metano. Equivalente a 28 t CO _{2eq} /t CH ₄ , a un horizonte de 100 años (IPCC, 2014).	t CO _{2eq} /t CH ₄
1000	: Conversión de kilogramos a toneladas de metano	-
g	: Categoría productiva del ganado	-

Cada categoría del hato posee un factor de emisión de metano en función de la alimentación ofrecida por día (Ec. 3).

Ecuación 3. Cálculo de factor de emisión de metano para cada categoría del hato

$$FE_{g,CH_4} = DMI \cdot \frac{RM}{1000} \cdot 365$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
FE_{g,CH_4}	: Factor de emisión de metano para la población definida para la categoría productiva “g”	kg CH ₄ /animal/año
DMI	: Ingesta de materia seca por día	kg/día
RM	: Rendimiento de metano por ingesta de materia seca	g CH ₄ /kg
365	: Conversión de día a año	-
1000	: Conversión de gramos a kilogramos de metano	-

Para estimar la ingesta por materia seca de la categoría del hato “terneros y terneras” se deben tener algunos datos importantes como el peso vivo y la Concentración de energía neta dietética que se obtiene según la alimentación disponible y el factor se obtiene a través de tablas del IPCC (Ec. 4).

Ecuación 4. Calculo para obtener la ingesta de materia seca por día (DMI) para terneros y terneras

$$DMI = PV^{0.75} \cdot \left(\frac{0.0582 \cdot NE_{mf} - 0.00266 \cdot NE_{mf}^2 - 0.1128}{0.239 \cdot NE_{mf}} \right)$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
<i>DMI</i>	: Ingesta de materia seca por día	kg/día
<i>PV</i>	: Peso vivo	kg
<i>NE_{mf}</i>	: Concentración de energía neta dietética estimada de la dieta	MJ/kg

Para estimar la ingesta por materia seca de la categoría del hato “toros, bueyes, toretes y novillos” se debe conocer peso vivo de la población que forma parte de esta categoría (Ec. 5).

Ecuación 5. Calculo para obtener la DMI para toros, bueyes, toretes y novillos

$$DMI = 3.83 + 0.0143 \cdot PV \cdot 0.96$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
<i>DMI</i>	: Ingesta de materia seca por día	kg/día
<i>PV</i>	: Peso vivo	kg

Para estimar la ingesta por materia seca de la categoría del hato “novillas” se debe conocer peso vivo de la población que forma parte de esta categoría (Ec. 6).

Ecuación 6. Calculo para obtener la DMI para novillas

$$DMI = 3.184 + 0.01536 \cdot PV \cdot 0.96$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
<i>DMI</i>	: Ingesta de materia seca por día	kg/día
<i>PV</i>	: Peso vivo	kg

Para estimar la ingesta por materia seca de la categoría del hato “vacas (lecheras)” se debe conocer el peso vivo, Kg de leche por día y % de grasa (sino usar valor promedio internacional) (Ec. 7).

Ecuación 7. Calculo para obtener la DMI en vacas lecheras

$$DMI = 0.0185 \cdot PV + 0.305 \cdot (0.4324 \cdot L_D + 16.216 \cdot G_D)$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
<i>DMI</i>	: Ingesta de materia seca por día	kg/día
<i>PV</i>	: Peso vivo	kg
<i>L_D</i>	: Cantidad de leche diaria producida por vaca	kg/día
<i>G_D</i>	: Cantidad de grasa en la leche diaria producida por vaca	kg/día

Para estimar la ingesta por materia seca de la categoría del hato “vacas maduras (no lecheras)” se debe conocer peso vivo de la población y el tipo de alimentación que forma parte de esta categoría (Ec. 8)

Ecuación 8. Calculo para obtener la DMI en vacas no lecheras

$$DMI = \frac{F_{f,l}}{100} \cdot PV$$

Dónde:		Unidad
<i>DMI</i>	: Ingesta de materia seca por día	kg/día
<i>PV</i>	: Peso vivo	kg
<i>F_{f,l}</i>	: Factor de corrección según el tipo de forraje "l"	-

7.5.3. Ecuaciones para estimar emisiones Metano (CH₄) derivadas de la gestión de estiércol en condiciones anaeróbicas

Para estimar las emisiones generales de CH₄ relacionados a la gestión del estiércol, se deben conocer los factores de emisión de cada categoría dentro del hato, tipo de sistema de producción utilizado y factores climáticos (Ec. 9). Para este enfoque se utilizarán desde la ecuación 3 hasta la ecuación 3.2, número indicado dentro del cuadro de la ecuación.

Ecuación 9. Emisiones de generales de CH₄ asociadas a la gestión de estiércol en condiciones anaeróbicas

$$EB_{CH_4,E} = \frac{\sum_{g,s,k} (N_{g,s,k} \cdot FE_{g,s,k,CH_4})}{1,000} \cdot PCG_{CH_4}$$

Dónde:		Unidad
<i>EB_{CH₄,E}</i>	: Emisiones de metano de línea base asociadas a la gestión de estiércol en condiciones anaeróbicas	t CO _{2eq} /año
<i>N_{g,s,k}</i>	: Cantidad de cabezas de ganado de la población definida "g" para la zona "s" y tipo de gestión "k"	-
<i>FE_{g,s,k,CH₄}</i>	: Factor de emisión para la población definida "g" para la zona "s" y tipo de gestión "k"	kg CH ₄ /animal/año
<i>PCG_{CH₄}</i>	: Potencial de calentamiento global del metano	t CO _{2eq} /t CH ₄
1,000	: Conversión de kilogramos a toneladas de metano	-
<i>s</i>	: Zona climática	-
<i>k</i>	: Tipo de sistema de producción utilizada	-
<i>g</i>	: Categoría productiva del ganado	-

Para estimar el factor de emisión de metano para cada categoría del hato se deben conocer los sólidos volátiles excretados por año, la máxima capacidad de producción de metano desde el estiércol, condiciones climáticas y los datos relacionados a los sistemas de gestión del estiércol (Ec. 10).

Ecuación 10. Estimación de factores de emisión para cada categoría del hato

$$FE_{g,s,k,CH_4} = V_{ST} \cdot B_0 \cdot 0.67 \cdot \sum_{s,k} \left(\frac{MCF_{s,k}}{100} \cdot AWMS_{s,k} \right)$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
FE_{g,s,k,CH_4}	: Factor de emisión para la población definida	Kg CH ₄ /animal/año
V_{ST}	: Sólidos volátiles excretados por año	kg SV/animal/año
B_0	: Máxima capacidad de producción de metano desde estiércol	m ³ CH ₄ /kg SV
0.67	: Conversión de m ³ a kilogramos de metano a condiciones estándar	-
$MCF_{s,k}$: Fracción de conversión de metano para la zona "s" y tipo de gestión "k"	-
$AWMS_{s,k}$: Fracción del estiércol total correspondiente a la zona "s" y tipo de gestión "k"	-

Para estimar los sólidos volátiles excretados por año para cada categoría del hato, se debe conocer el peso vivo y otros datos delimitados por la información obtenida según la caracterización de los sistemas productivos y manejo de la ganadería (Ec. 11).

Ecuación 11. Estimación de sólidos volátiles excretados por año para cada categoría del hato

$$V_{ST} = V_{ST,1000} \cdot \frac{PV}{1.000} \cdot 365$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
V_{ST}	: Sólidos volátiles excretados por año	kg SV/animal/año
$V_{ST,1000}$: Sólidos volátiles excretados por defecto (para 1,000 kg de peso)	kg SV/1,000 kg de animal/día
PV	: Peso vivo promedio de la población definida	kg

7.5.4. Ecuación general para estimar emisiones directa e indirectas de emisiones directas de Óxido Nitroso (N₂O) derivadas de la gestión de estiércol.

Para estimar las emisiones directas e indirectas de N₂O relacionados a la gestión del estiércol, se deben conocer los factores de emisión de cada categoría dentro del hato, tipo de sistema de producción utilizado y factores climáticos (Ec. 12). Para este enfoque se utilizarán desde la ecuación 4.1 hasta la ecuación 4.2.2, número indicado dentro del cuadro de la ecuación.

Ecuación 12. Emisiones de generales (directas e indirectas) de N₂O asociadas a la gestión de estiércol en condiciones anaeróbicas

$$EB_{N_2O,E} = (ED_{N_2O} + EI_{N_2O}) \cdot PCG_{N_2O}$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
$EB_{N_2O,E}$: Emisiones de óxido nitroso de línea base asociadas a la gestión de estiércol en condiciones anaeróbicas	t CO _{2eq} /año
ED_{N_2O}	: Emisiones directas de N ₂ O	t N ₂ O/año
EI_{N_2O}	: Emisiones indirectas de N ₂ O	t N ₂ O/año
	Potencial de calentamiento global del óxido nitroso.	
PCG_{N_2O}	: Equivalente a 265 t CO _{2eq} /t N ₂ O a un horizonte de 100 años (IPCC, 2019)	t CO _{2eq} /t N ₂ O

7.5.4.1. Ecuaciones para estimar emisiones directas de Óxido Nitroso (N₂O) derivadas de la gestión de estiércol en condiciones anaeróbicas.

Para estimar las emisiones directas de N₂O, se debe conocer el tipo de sistema de gestión de excretas y sus los factores de emisión, la cantidad de animales que componen el hato y su categoría, también se estima el promedio anual de excretas por animal (Ec.13).

Ecuación 13. Estimación de emisiones directas de N₂O asociadas a la gestión de estiércol

$$ED_{N_2O} = \left[\sum_k FE_{k,N_2O} \cdot (N_p \cdot Nex \cdot AWMS_k) \right] \cdot \frac{44}{28} \cdot \frac{1}{1,000}$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
ED_{N_2O}	: Emisiones directas de N ₂ O	t N ₂ O/año
FE_{k,N_2O}	: Factor de emisión directa de óxido nitroso para el tipo de gestión "k"	kg N ₂ O-N/kg N
N_p	: Cantidad de cabezas de ganado de la población definida	-
Nex	: Promedio anual de excreción de nitrógeno por cabeza	kg N/animal/año
$AWMS_k$: Fracción del estiércol total gestionado de forma "k"	-
44/28	: Conversión de emisiones de N ₂ O-N a N ₂ O	-
1/1,000	: Conversión de kilogramos a toneladas de óxido nitroso	-
k	: Tipo de gestión utilizada	-

Para estimar la cantidad de nitrógeno excretado por cada animal que compone el hato, se necesita obtener el peso vivo y otros datos delimitados por la información obtenida según la caracterización de los sistemas productivos y manejo de la ganadería.

Ecuación 14. Promedio anual de excreción de nitrógeno por cabeza

$$N_{ex} = N_{rate} \cdot \frac{PV}{1,000} \cdot 365$$

Dónde:		Unidad
N_{ex}	: Promedio anual de excreción de nitrógeno por cabeza	kg N/animal/año
N_{rate}	: Excreción de nitrógeno por defecto (para 1,000 kg de peso)	kg N/animal/día
PV	: Peso vivo promedio de la población definida	kg
365	: Conversión de día en año	-

7.5.4.2. Ecuaciones para estimar de emisiones indirectas de Óxido Nitroso (N₂O) derivadas de la gestión de estiércol.

Para estimar las emisiones indirectas de N₂O, se debe conocer el tipo de sistema de gestión de excretas y sus los factores de emisión, la cantidad de animales que componen el hato y su categoría y otros datos delimitados por la información obtenida según la caracterización de los sistemas productivos y manejo de la ganadería. (Ec.15).

Ecuación 15. Estimación de emisiones indirectas de N₂O asociadas a la gestión de estiércol

$$EI_{N_2O} = (N_{vol} \cdot FE_{vol} + N_{lix} \cdot FE_{lix}) \cdot \frac{44}{28} \cdot \frac{1}{1000}$$

Dónde:		Unidad
EI_{N_2O}	: Emisiones indirectas de N ₂ O	t N ₂ O/año
N_{vol}	: Pérdidas de nitrógeno por volatilización	kg N/año
FE_{vol}	: Factor de emisión para las emisiones de N ₂ O de la deposición atmosférica de nitrógeno en el suelo y superficies de agua	kg N ₂ O-N/kg N
N_{lix}	: Pérdidas de nitrógeno por lixiviación	kg N/año
FE_{lix}	: Factor de emisión para las emisiones de N ₂ O por lixiviación y escorrentía de nitrógeno	kg N ₂ O-N/kg N
44/28	: Conversión de emisiones de N ₂ O-N a N ₂ O	-
1/1000	: Conversión de kilogramos a toneladas de óxido nitroso	-

Para estimar las perdidas por volatilización de nitrógeno, se debe conocer la cantidad de animales que componen el hato y sus categorías, los sistemas de manejo de excretas y otros datos delimitados por la información obtenida según la caracterización de los sistemas productivos y manejo de la ganadería.

Ecuación 16. Estimación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización

$$N_{vol} = \sum_k (N_p \cdot Nex \cdot AWMS_k \cdot Frac_{vol,k})$$

Dónde:	<i>Unidad</i>
N_{vol} : Pérdidas de nitrógeno por volatilización	kg N/año
N_p : Cantidad de cabezas de ganado de la población definida	-
Nex : Promedio anual de excreción de nitrógeno por cabeza	kg N/animal/año
$AWMS_k$: Fracción del estiércol total gestionado de forma "k"	-
$Frac_{vol,k}$: Fracción de nitrógeno que se volatiliza como NH ₃ y NO _x gestionado de forma "k"	-

Para estimar las perdidas por escurrimiento o lixiviación de nitrógeno, se debe conocer la cantidad de animales que componen el hato y sus categorías, los sistemas de manejo de excretas y otros datos delimitados por la información obtenida según la caracterización de los sistemas productivos y manejo de la ganadería.

Ecuación 17. Estimación de las pérdidas de nitrógeno por escurrimiento o lixiviación.

$$N_{lix} = \sum_k (N_p \cdot Nex \cdot AWMS_k \cdot Frac_{lix,k})$$

Dónde:	<i>Unidad</i>
N_{lix} : Pérdidas de nitrógeno por lixiviación	kg N/año
N_p : Cantidad de cabezas de ganado de la población definida	-
Nex : Promedio anual de excreción de nitrógeno por cabeza	kg N/animal/año
$AWMS_k$: Fracción del estiércol total gestionado de forma "k"	-
$Frac_{lix,k}$: Fracción de nitrógeno lixiviado gestionado de forma "k"	-

7.5.5. Ecuación general para estimar emisiones directa e indirectas de N₂O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Para estimar las emisiones directas e indirectas de N₂O (Ec. 18), se deben hacer los cálculos independientes para cada tipo de emisión. Para este enfoque se utilizarán desde la ecuación 5.1 hasta la ecuación 5.3, número indicado dentro del cuadro de la ecuación.

Ecuación 18. Estimación general de emisiones directas e indirectas de N₂O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

$$E DI_{N_2O} = (ED_{N_2O} + EI_{N_2O}) \cdot PCG_{N_2O}$$

Dónde:	<i>Unidad</i>
$E DI_{N_2O}$: Emisiones directas e indirectas de N ₂ O de asociadas al uso de fertilizantes	tCO _{2eq} /año
ED_{N_2O} : Emisiones directas de Óxido Nitroso (N ₂ O)	tN ₂ O/año
EI_{N_2O} : Emisiones indirectas de Óxido Nitroso (N ₂ O)	tN ₂ O/año
PCG_{N_2O} : Potencial de calentamiento global del Óxido Nitroso (N ₂ O)	tCO _{2eq} /tN ₂ O

7.5.5.1. Cálculo de emisiones directas e indirectas de Óxido Nitroso (N₂O) derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Para estimar las emisiones de N₂O, se debe conocer la cantidad de fertilizante que se está utilizando de manera anual y otros datos delimitados por la información obtenida según la caracterización de los sistemas productivos y manejo de la ganadería.

Ecuación 19. Calculo para determinar la cantidad Nitrógeno aplicado por año

$$N_{\text{año}} = \left[\frac{\% \text{Nitrógeno}_{\text{fertilizante}}}{100} \right] \cdot \text{Aplicación } F \cdot \text{Frecuencia } AF \cdot \text{Área } F$$

Dónde:		Unidad
N año	: Cantidad de nitrógeno aplicado anual	Kg N/año
%Nfertilizante	: % nitrógeno en el fertilizante aplicado	-
Aplicación F	: Cantidad de fertilizante aplicado al año	Kg/Ha
Frecuencia F	: Frecuencia de aplicación de fertilizante	Año
Área fertilizada	: Área de aplicación de fertilizante	Ha

Para estimar las emisiones directas, se debe obtener en primer lugar la cantidad de nitrógeno aplicado anual y otros datos delimitados por la información obtenida según la caracterización de los sistemas productivos y manejo de la ganadería.

Ecuación 20. Cálculo de emisiones directas de Óxido Nitroso (N₂O) derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

$$ED_{N_2O} = \left[\sum_{q,f} \left[\frac{F_{q,f} \cdot (FE_{q,f,N_2O,D})}{1,000} \right] \right] \cdot \frac{44}{28}$$

Dónde:		Unidad
ED_{N_2O}	: Emisiones directas de óxido nitroso	t N ₂ O/año
$F_{q,f}$: Cantidad de nitrógeno aplicado a los suelos en forma de fertilizante en las condiciones "q" y del tipo "f"	kg N/año
$FE_{q,N_2O,D}$: Factor de emisión directa de óxido nitroso-nitrógeno en las condiciones "q"	kg N ₂ O-N/kg N
1,000	: Conversión de kilogramos a toneladas de óxido nitroso	-
44/28	: Conversión de N ₂ O-N a N ₂ O	-
q	: Condiciones en que se aplica el fertilizante	-
f	: Tipo de fertilizante aplicado	-

Para estimar las emisiones directas, se debe obtener en primer lugar la cantidad de nitrógeno aplicado anual y otros datos delimitados por la información obtenida según la caracterización de los sistemas productivos y manejo de la ganadería.

Ecuación 21. Cálculo de emisiones indirectas de N₂O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

$$EI_{N_2O} = \left[\sum_{q,f} \frac{[F_{q,f} \cdot (FRAC_{vol,f} \cdot FE_{q,N_2O,I} + FRAC_{lix} \cdot FE_{lix,N_2O,I})]}{1,000} \right] \cdot \frac{44}{28}$$

Dónde:		<i>Unidad</i>
EI_{N_2O}	: Emisiones indirectas de óxido nitroso	t N ₂ O/año
$F_{q,f}$: Cantidad de nitrógeno aplicado a los suelos en forma de fertilizante en las condiciones “q” y del tipo “f”	kg N/año
$FRAC_{vol,f}$: Fracción de nitrógeno en el fertilizante que se volatiliza como NH ₃ y NO _x	-
$FRAC_{lix}$: Fracción de nitrógeno en el fertilizante que es lixiviado	-
$FE_{q,N_2O,I}$: Factor de emisión indirecta de óxido nitroso-nitrógeno que se volatiliza en las condiciones “q”	kg N ₂ O-N/kg N
$FE_{lix,N_2O,I}$: Factor de emisión indirecta de óxido nitroso-nitrógeno que es lixiviado	kg N ₂ O-N/kg N
1,000	: Conversión de kilogramos a toneladas de óxido nitroso	-
44/28	: Conversión de N ₂ O-N a N ₂ O	-

7.6. Diseño de una calculadora en Excel y automatización de ecuaciones para estimar emisiones de GEI en las ganaderías bovinas de El Salvador.

- Adaptación de las tablas de factores de emisiones para los enfoques de evaluación.
- Estructura y adaptación de fórmulas para los enfoques de la evaluación.
- Proceso de automatización de fórmulas para eficientizar proceso de datos en campo.
- Estructura y elaboración de formato para el registro de información en fincas ganaderas bovinas para evaluar prácticas de manejo.
- Ecuación para comparar la línea base de emisiones con el escenario de mitigación.

Para el proceso de elaboración de la calculadora de emisiones, se utilizaron algunos de los recursos elaborados en el marco del proyecto “Construcción de la NAMA en ganadería bovina de El Salvador”, tomando datos que se apeguen a las labores, prácticas y culturales en las ganaderías del país, así como sobre las condiciones climáticas donde las ganaderías están establecidas. La calculadora consta de 7 hojas de cálculo en Excel, las cuales son:

1. Portada del archivo de EXCEL: descripción general del contenido total del archivo, objetivos de la

herramienta, bibliografía, fecha de elaboración y # de versión (**Anexo. 7**).

2. Factores de emisión CH₄ y N₂O: dentro de esta hoja se encuentran diferentes tablas de las cuales se toman los diferentes datos y coeficientes para aplicar en las ecuaciones, todas estas tablas están tomadas y adaptadas de las Directrices del IPCC 2006 y refinamiento de 2019, específicamente del volumen 4 y de los capítulos 10 y 11.
3. Fermentación entérica (CH₄): contiene ecuaciones automatizadas para estimar las emisiones derivadas de la alimentación del ganado bovino, según clasificación del alimento ofrecido, clasificación del sistema productivo y animales que componen el hato
4. Gestión del estiércol (CH₄): Cabe destacar que la gestión del estiércol tiene 2 tipos de emisiones las directas e indirectas, esta hoja contiene ecuaciones automatizadas para estimar las emisiones en función del manejo y gestión de las deposiciones del ganado bovino, utilizando coeficientes adaptados al país.
5. Gestión del estiércol (N₂O): Al igual que en el apartado anterior, el N₂O se debe estimar de manera directa e indirecta, contiene ecuaciones automatizadas para estimar las emisiones en función del manejo y gestión de las deposiciones del ganado bovino, utilizando coeficientes adaptados al país.
6. Fertilizantes (N₂O): Dentro de este apartado se podrá utilizar la fórmula general para obtener el resultado de las de emisiones de N₂O y también se determinarán las cantidades exactas de Nitrógeno aplicados al suelo. Al igual que el anterior se deben determinar las emisiones de manera directa e indirectas, contiene ecuaciones automatizadas para estimar las emisiones en función de la cantidad nitrógeno aplicado en las ganaderías, tipo de fertilizante, considerando los diferentes tipos de fugas que este puede tener como por volatilización, lixiviación/arrastre y en las condiciones climáticas de la zona.

Los productos elaborados durante la pasantía están disponibles en una carpeta de Google Drive con el propósito que sean consultados, modificados y ajustados para dar continuidad a los esfuerzos continuos para obtener inventarios nacionales actualizados y posteriormente, presentar informes a las dependencias correspondientes para contribuir con el compromiso país de reducir las emisiones de GEI y cumplirlas metas planteadas en las NDC's (**Anexo 8**).

8. CONCLUSIONES

- La gestión de la información administrativa, técnica y financiera durante el periodo de cierre del proyecto “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” permitió consolidar, validar y organizar la documentación conforme a los lineamientos establecidos por el cooperante, asegurando su correcta remisión oficial. Este proceso contribuyó al cumplimiento de los requerimientos institucionales del IICA y respaldó la adecuada ejecución de los recursos asignados. Asimismo, se fortalecieron el orden y la trazabilidad documental necesarios para un cierre técnico y administrativo eficiente del proyecto ejecutado.
- La estructuración de un instrumento para la recolección de datos en fincas ganaderas bovinas y el diseño de una calculadora automatizada para la estimación de emisiones de GEI permitieron disponer de herramientas técnicas estandarizadas para el cálculo de emisiones derivadas de la fermentación entérica, la gestión del estiércol y la aplicación de fertilizantes nitrogenados presentes en el sector ganadero de El Salvador. Estas herramientas facilitan la recopilación, el procesamiento y el análisis de la información, contribuyendo a la implementación y fortalecimiento de un sistema de MRV orientado a la medición de emisiones en la ganadería bovina.
- El manejo de los sistemas acuapónicos e hidropónicos del Laboratorio de Pruebas para la Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible permitió asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas establecidos en el invernadero, garantizando la continuidad de las actividades productivas durante la ejecución de la pasantía. Las actividades técnicas desarrolladas y la capacitación brindada a los visitantes fortalecieron el carácter demostrativo del laboratorio, promoviendo las innovaciones implementadas y la adopción de tecnologías sostenibles. De esta manera, el Laboratorio de Pruebas se consolidó como un espacio de transferencia tecnológica, aprendizaje y apoyo a iniciativas orientadas al fortalecimiento de la agricultura familiar, así como de la seguridad y soberanía alimentaria.

9. RECOMENDACIONES

- Elaboración de planes previos al período de cierre de proyectos con el propósito de mantener y fortalecer los procedimientos de gestión documental, esto debe ser independientemente el proyecto que se haya ejecutado, con el fin de estandarizar la organización, validación y remisión de información técnica, administrativa y financiera en futuros proyectos. Contemplar los aspectos necesarios para el cierre de los proyectos contribuirá a asegurar la trazabilidad documental, el cumplimiento de los requerimientos de los cooperantes y evidenciar la adecuada ejecución de los recursos institucionales gestionados.
- Mantener actualizados el instrumento de recolección de datos en fincas ganaderas y la calculadora para la estimación de emisiones de GEI, considerando que los factores de emisión y las ecuaciones utilizadas son susceptibles a modificaciones en futuras revisiones de las directrices del IPCC y los valores presentados en los informes de Potencial de Calentamiento Global establecidos por el GHG Protocol. La actualización periódica de ambas herramientas permitirá fortalecer la implementación de un sistema MRV, facilitando la generación de información para la toma de decisiones y el diseño de estrategias de mitigación en el sector ganadero nacional.
- Continuar con el fortalecimiento técnico y tecnológico del Laboratorio de Pruebas para la Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible, mediante la adquisición de equipos de mayor precisión que permitan un manejo adecuado de los sistemas hidropónicos y acuapónicos establecidos. La incorporación de estos equipos facilitará la medición de parámetros fisicoquímicos del agua, optimizando la aplicación de nutrientes en los sistemas hidropónicos y conocer la calidad del agua del sistema acuapónicos. Asimismo, dar continuidad a las iniciativas del laboratorio como un espacio demostrativo y de transferencia tecnológica, promoviendo actividades de capacitación dirigidas a estudiantes y actores del sector agropecuario.
- Aprovechar la capacidad de articulación interinstitucional entre el IICA, entidades gubernamentales, centros educativos y organismos de cooperación, con el propósito de replicar las experiencias y herramientas desarrolladas durante la ejecución de la pasantía. Permitiendo fortalecer la sostenibilidad de las acciones implementadas y catalizar su impacto en el sector agropecuario nacional.

10. BIBLIOGRAFIA

- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (2022). *Formulación de acciones Euroclima+: Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador*. <https://repositorio.iica.int/server/api/core/bitstreams/0a3000cd-2696-43c2-b78d-455690c0a779/content>
- Asamblea Legislativa de El Salvador. (2012). *Ley del Medio Ambiente (actualización 2012)*. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/instrument/files/Ley%20del%20Medio%20Ambiente%20actualizacio%CC%81n%202012.pdf>
- Ayala, K., Gutiérrez, J., & Jarquín, C. (2024). *Manual técnico sobre la cosecha de agua como práctica agroecológica*. Universidad Nacional Agraria. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/renp10a973.pdf>
- Calvo, E., Guendehou, S., Limmeechokchai, B., Pipatti, R., Rojas, Y., Sturgiss, R., Tanabe, K., Wirth, T., Romano, D., Witi, J., Garg, A., Weitz, M., Cai, B., Ottinger, D., Dong, H., MacDonald, J., Ogle, S., Rocha, M., Sanz Sanchez, M. ... (2019). *Overview*. En Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), *2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R_V0_01_Overview.pdf
- Center for Climate and Energy Solutions. (s. f.). *Main greenhouse gases*. <https://www.c2es.org/content/main-greenhouse-gases/>
- Doody, A. (2020, 27 de febrero). *Plagas, enfermedades y cambio climático: ¿están vinculados?*. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/plagas-enfermedades-y-cambio-climatico-estan-vinculados/>
- Econovedades. (2020). *Diferentes usos del agua ozonizada*. Agua de vida <https://somosaguadevida.com/wp-content/uploads/2020/05/Usos-del-ozono-y-beneficios-santi.pdf>
- Gavrilova, O., Leip, A., Dong, H., MacDonald, J. D., Gomez Bravo, C. A., Amon, B., Barahona Rosales, R., del Prado, A., de Lima, M. A., Oyhantçabal, W., van der Weerden, T. J., & Widiawati, Y. (2019). *Emissions from livestock and manure management*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf?utm_source=chatgpt.com

- GE, M., Friedrich, J. & Vigna, L. (2024, 5 de diciembre). *Where Do Emissions Come From? 4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Sector*. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors>
- GHG Protocol. (2024, 7 de agosto). Global warming potential values (GWP). GHG Protocol. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>
- Goodwin, J., Gillenwater, M., Romano, D., & Radunsky, K. (2019). Introduction to national GHG inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/1_Volume1/19R_V1_Ch01_Introduction.pdf
- Hergoualc'h, K., Akiyama, H., Bernoux, M., Chirinda, N., del Prado, A., Kasimir, Å., MacDonald, J. D., Ogle, S. M., Regina, K., & van der Weerden, T. J. (2019). *N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf
- IICA. (s. f. c). Tienda IICA Natura: un espacio donde el campo cobra vida (cacao, café y miel) [Video]. <https://www.facebook.com/IICAnoticias/videos/si-visitas-la-sede-del-iica-en-costa-rica-no-te-pierdas-la-tienda-iica-natura-un/1319573749948091/>
- Instituto de Nutrición de Centro America y Panamá. (2006). *Hidroponía: Sistema de cultivo NFT*. CASI/INCAP. <https://share.google/Beuwjy2CYKvuqi6gA>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2019). *Apoyo al Gobierno electo de El Salvador para el diseño de las bases de un Programa de Modernización Agropecuaria en El Salvador 2019-2024*. <https://apps.iica.int/DashboardProyectos/programas/Detalle?CRON=4649&SCRON=59>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2025a, 27 de octubre). *En visita a El Salvador, Director General del IICA recorrió espacios dedicados a innovación y sostenibilidad en agricultura y fue condecorado en la Cancillería por sus contribuciones a seguridad alimentaria*. <https://iica.int/es/prensa/noticias/en-visita-a-el-salvador-director-general-del-iica-recorrio-espacios-dedicados-a-innovacion-y-sostenibilidad-en-agricultura-y-fue-condecorado-en-la-cancilleria-por-sus-contribuciones-a-seguridad-alime/>

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2020a). *Convenio de cooperación IICA-MAG: Fortalecimiento del Ministerio de Agricultura y ganadería*.
https://www.transparencia.gob.sv/descarga_archivo.php?id=Mzg0Mjcw&inst=384270
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2020b). *PROCAGICA apoya la diversificación de fincas cafetaleras de El Salvador mediante la siembra de frutales y musáceas*.
<https://iica.int/es/press/noticias/procagica-apoya-la-diversificacion-de-fincas-cafetaleras-de-el-salvador-mediante-la/>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2021). *Reactivación y Producción Agrícola para la Seguridad y Soberanía Alimentaria de El Salvador*.
<https://apps.iica.int/DashboardProyectos/programas/Detalle?CRON=5025&SCRON=07>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2022). *Construcción de la NAMA en ganadería bovina de El Salvador*.
<https://apps.iica.int/DashboardProyectos/programas/Detalle?CRON=5270&SCRON=00>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2024a). *Reactivación del Sector Agropecuario y Renovación del Parque Cafetalero en El Salvador*.
<https://apps.iica.int/DashboardProyectos/programas/Detalle?CRON=5401&SCRON=00>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2025b, octubre 10). *IICA El Salvador — Logros 2025* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=JStAEncf094>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2024b). *Línea base de emisiones por perfil. Curvas de abatimiento de prácticas y proyección de emisiones de gases de efecto invernadero en El Salvador*. IICA.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2024c). *Nama Ganadera Bovina de El Salvador*. IICA.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2024d). *Manual de medidas de mitigación y adaptación en la ganadería bovina salvadoreña*. IICA.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2023). *Buenas Prácticas Agrícolas. Representación de El Salvador*. IICA Noticias. <https://youtu.be/fp9jWMuP3pk?si=x3OHvEcl8zJXEwKk>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (s. f.a). *El Salvador*.
<https://iica.int/es/countries/elsalvador-es/>

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (s. f.b). *Sobre el IICA / about us*.
<https://iica.int/es/about-us/main/>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (s. f. c). *Zanjas de infiltración*. IICA.
<https://aguayagricultura.iica.int/copy-of-tecnologias-1-1/zanjas-de-infiltraci%C3%B3n?>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018, 18 de mayo). *Gases y compuestos de efecto invernadero*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- López, J. (2019). *Cultivo Acuapónico guía especializada: aquaponic culture - tool kit*. Aula del Mar.
<https://cifalmalaga.org/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>
- Martí, J. (2011). *Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos*. IDEASS: Innovación para el Desarrollo y la Cooperación Sur-Sur.
<https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Biodigestores-de-bajo-costo.pdf>
- Merino, J. G. (2003). *Cambio climático y su impacto en la salud: Los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria y nutricional en El Salvador* (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá – INCAP/OPS). Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).
<https://www.snet.gob.sv/noticias/cambioclima/INCAPOPS.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2024, 03 de marzo). *Cooperación internacional destaca el éxito de AGRO-INNOVA*. <https://www.mag.gob.sv/2024/03/22/cooperacion-internacional-destaca-el-exito-de-agro-innova/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Contribuciones Nacionalmente Determinadas de El Salvador (NDC's)*. MARN. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/El%20Salvador%20NDC-%20Updated%20Dic.2021.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero: Año 2000 – Informe descriptivo (Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático)*. Gobierno de El Salvador.
<https://rcc.marn.gob.sv/bitstream/handle/123456789/223/Inventario%20de%20Gases%20de%20Efecto%20Invernadero%20A%C3%B1o%202000-Informe%20Descriptivo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Contribuciones Nacionalmente Determinadas de El Salvador*. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/El%20Salvador%20NDC-%20Updated%20Dic.2021.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022a). *Plan nacional de cambio climático 2022-2026*. Gobierno de El Salvador. <https://cidoc.ambiente.gob.sv/documentos/plan-nacional-de-cambio-climatico-2022-2026/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022b). *Plan nacional de cambio climático 2022-2026*. Gobierno de El Salvador. <https://cidoc.ambiente.gob.sv/documentos/plan-nacional-de-cambio-climatico-2022-2026/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022c). *Planes Sectoriales para la Implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de El Salvador*. MARN. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/els228075.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
- Naciones Unidas. (2021, 2 de junio). *Cambio climático y medioambiente*. Naciones Unidas. <https://news.un.org/es/story/2021/06/1492762>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2025a, 10 de abril). *El Niño & La Niña (El Niño-Southern Oscillation)*. <https://www.climate.gov/enso>
- NOAA. (2025b, 13 de febrero). *February 2025 La Niña update: La Niña today, gone tomorrow?*. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/february-2025-la-nina-update-la-nina-today-gone-tomorrow>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. FAO. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/captacion_agua_de_lluvia.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (s. f.). *¿Qué es el cambio climático?*. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-chnge>

- Parlamento Europeo. (2023, 23 de marzo). *Cambio climático: gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global*. Parlamento Europeo. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230316STO77629/cambio-climatico-gases-de-efecto-invernadero-que-causan-el-calentamiento-global>
- Pérez, M. (s.f.). *Tratamientos con Ozono: el ozono en la agricultura*. CosemarOzono <https://www.cosemarozono.com/wp-content/uploads/2015/11/AGUA-DE-RIEGO1.pdf>
- Radulovich, R., Rodríguez, A., & Moncada, O. (1994). *Captación de agua de lluvia en el hogar rural*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/612?utm_source=
- Ramos, O. (2024, 3 de octubre). *Innovación y Agricultura familiar*. El diario de hoy. <https://www.elsalvador.com/h-opinion/h-editoriales/produccion-de-alimentos-/1172454/2024/>
- Salas, M. (2023). *Reservorios de agua*. GIZ. <https://www.delcampoalplato.com/wp-content/uploads/2023/06/27.-Reservorios-de-agua-1.pdf>
- van Veenhuizen, R. & Anaya, M. (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: microcaptación, cultivos anuales y perennes, México*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/4/ai128s/ai128s03.pdf>
- Yang, Y., Tilman, D., Jin, Z., Smith, P., Barrett, C., Zhu, Y., Burney, J., D'Odorico, P., Fantke, P., Fargione, J., Finlay, C., Rulli, C., Sloat, L., van Groenigen, J., West, P., Ziska, L., Michalak, A., Lobell, D. ... (2024). *Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture*. *Science*, 385(6713). <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adn3747>
- Zárate, M. (2014). *Manual de Hidroponía*. Instituto de Biología UNAM MX. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf

11. ANEXOS

A - 1: Sección 1 del instrumento de recolección de datos donde se obtiene información general de la ganadería a intervenir.

RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES - FICHA DE DIAGNOSTICO			
Sección 1. Información general			
Nombre de la finca			
Propietario/Encargado		Área de la finca	
Departamento		Municipio	
Cantón		MSNM	
Ubicación geográfica		Fecha	
Objetivos generales			
Objetivo	Determinar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que producen las ganaderías bovinas de El Salvador derivadas de la fermentación entérica, gestión del estiércol y aplicación de fertilizantes nitrogenados.		
Resultados esperados	Cuantificar las emisiones en las ganaderías bovinas y evaluar el impacto de las prácticas de manejo realizadas en las áreas intervenidas.		

A - 2: Sección 2 del instrumento de recolección de datos donde se obtiene información sobre la caracterización del hato, las subcategorías y el tipo de sistema productivo.

Sección 2. Caracterización del hato							
Hembras	Cantidad de cabezas	Peso promedio (Kg)	Promedio alimentación diaria (Kg/día)	Machos	Cantidad de cabezas	Peso promedio (Kg)	Promedio alimentación diaria (Kg/día)
Ternereras (0-9 meses)				Terneros (0-9 meses)			
Novillas (10 - 24 meses)				Novillos de engorde			
Vacas adultas (herras/secas)				Toros			
Vacas en producción				Bueyes			
Subtotal del hato				Subtotal del hato			
Hato total (Σ)							
Raza Bovina			Tipo de sistema productivo		Sistema de cría del hato		
<input type="checkbox"/> Brahman	<input type="checkbox"/> Jersey	<input type="checkbox"/> Holstein	<input type="checkbox"/> Subsistencia		<input type="checkbox"/> Pastoreo		
<input type="checkbox"/> Pardo Suizo	<input type="checkbox"/> Gyr	<input type="checkbox"/> Indubrasil	<input type="checkbox"/> Doble propósito		<input type="checkbox"/> Semiestabulado		
<input type="checkbox"/> Gyrolando	<input type="checkbox"/> Sardo negro	<input type="checkbox"/> Criollo	<input type="checkbox"/> Tecnificado lechero		<input type="checkbox"/> Estabulado		
<input type="checkbox"/> Otro (indicar):	<input type="checkbox"/> Encaste (indicar)						
Forma de ordeño			Producción de leche				
<input type="checkbox"/> Manual	<input type="checkbox"/> Mecanizada		Cantidad de ordeños al día (unidad):		Promedio de producción diaria de botellas de en leche (ml a Kg/leche):		
Comentarios							

A - 5: Sección 4 del instrumento de recolección de datos donde se obtiene información sobre la caracterización de la gestión del estiércol para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O, los sistemas de gestión de las deposiciones y la sección de comentarios adicionales para especificar tiempo de almacenamiento, temperaturas de la granja, entre otros aspectos que se consideren relevantes.

Sección 4. Sistemas de gestión y tratamiento de estiércol Determinación de emisiones de metano (CH ₄) y óxido nitroso (N ₂ O)		
1	Laguna anaeróbica descubierta	<input type="checkbox"/>
2	Por pastoreo	<input type="checkbox"/>
3	Almacenamiento líquido (purín) en tanques o estanques de tierra - con cubierta de corteza natural	<input type="checkbox"/>
4	Almacenamiento líquido (purín) en tanques o estanques de tierra - sin cubierta de corteza natural	<input type="checkbox"/>
5	Almacenamiento líquido (purín) en tanques o estanques de tierra - con cubierta de corteza natural	<input type="checkbox"/>
6	Almacenamiento en foso por debajo del confinamiento animal	<input type="checkbox"/>
7	Camas profundas (> 1 mes)	<input type="checkbox"/>
8	Camas profundas (< 1 mes)	<input type="checkbox"/>
9	Almacenamiento sólido	<input type="checkbox"/>
10	Almacenamiento sólido, cubierto y compacto	<input type="checkbox"/>
11	Almacenamiento sólido con adición de agente de carga	<input type="checkbox"/>
12	Almacenamiento sólido con aditivos	<input type="checkbox"/>
13	Corral de engorde	<input type="checkbox"/>
14	Esparcido (propagado) diariamente	<input type="checkbox"/>
15	Compostaje en recipientes	<input type="checkbox"/>
16	Compostaje en pilas estáticas (aireación forzada)	<input type="checkbox"/>
17	Compostaje hileras intensivas	<input type="checkbox"/>
18	Compostaje hileras pasivas (volteo poco frecuente)	<input type="checkbox"/>
19	Tratamiento aeróbico Sistema de aireación natural	<input type="checkbox"/>
20	Tratamiento aeróbico Sistema de aireación forzada	<input type="checkbox"/>
21	Quemado como combustible	<input type="checkbox"/>
22	Digestor anaeróbico con poca fuga, alta calidad de almacenamiento, mejor tecnología disponible	<input type="checkbox"/>
23	Digestor anaeróbico con poca fuga, baja calidad de almacenamiento, buena calidad industrial	<input type="checkbox"/>
24	Digestor anaeróbico con poca fuga, almacenamiento abierto, buena calidad industrial	<input type="checkbox"/>
25	Digestor anaeróbico con alta fuga, alta calidad de almacenamiento, mala calidad tecnológica	<input type="checkbox"/>
26	Digestor anaeróbico con alta fuga, baja calidad de almacenamiento, mala calidad tecnológica	<input type="checkbox"/>
Comentarios Adicionales		

A - 6: Sección 5 del instrumento de recolección de datos donde se dispone de un apartado para colocar valoraciones u observaciones relevantes de la ganadería intervenida.

Sección 5. Comentarios Adicionales

Firma Propietario/Encargado

Firma del técnico
Nombre: _____

A - 7: Portada de la calculadora para estimar los GEI en la ganadería bovina y emisiones directas e indirectas de N₂O producto de aplicaciones de fertilizantes nitrogenados.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Representación El Salvador.
Universidad de El Salvador.

Calculadora de emisiones de Gases de Efecto invernadero (GEI) para ganaderías bovinas de El Salvador.

- > Fermentación Entérica (CH₄)
- > Gestión de estiércol (CH₄ y N₂O)
- > Aplicación de fertilizantes nitrogenados (N₂O)

Objetivo: Simplificar el desarrollo de cálculos basados en el refinamiento del 2019 en las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) del 2006 para Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, sobre los datos registrados en fincas ganaderas para la implementación de un sistema Medición Registro y Verificación (MRV).

Elaborador por: Salvador Ernesto Escobar Larreynaga, en el marco de la pasantía profesional:

"Apoyo en actividades durante el periodo de cierre del proyecto "Construcción de la NAMA en ganadería bovina de El Salvador" y manejo de sistemas de producción de hortalizas dentro del Laboratorio de Pruebas para Validación de Innovaciones en Sistemas de Agricultura Sostenible, en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)".



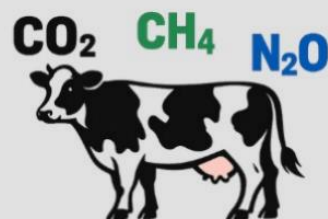
Información delimitada a través del documento:
"Línea base de emisiones por perfil, curvas de abatimiento de prácticas
y proyección de emisiones de gases de efecto invernadero en El Salvador, IICA, 2024".
Santa Tecla, La Libertad, 2025



versión 02.

A - 8: Código QR con acceso a los productos elaborados durante la ejecución de la pasantía profesional.

Estimaciones GEI en ganadería bovina SV



IICA-UES-EL17006-2026