



UNIVERSIDAD EAN  
FACULTAD DE INGENIERIA

**PLAN DE ACCIÓN DE RESIDUOS PARA LA ASOCIACIÓN ASOPRONEM DE  
LA LAGUNA DE FÚQUENE**

PROYECTO DE GRADO

**AUTORES**

OSCAR DANIEL LANCHEROS SÁNCHEZ  
CAROLINA RICO ROJAS  
HERNÁN IVÁN MONTOYA MOTATO

**DIRECTOR**

ALVARO DAVID AREVALO SALAZAR

BOGOTÁ

13 DE DICIEMBRE DE 2024

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO .....	6
ABSTRACT .....	6
1 INTRODUCCIÓN.....	7
2 OBJETIVOS .....	8
2.1 Objetivo General.....	8
2.2 Objetivos Específicos .....	8
3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	9
3.1 Pregunta de investigación.....	10
4 JUSTIFICACIÓN .....	10
5 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS .....	12
5.1 Requerimientos funcionales .....	12
5.1.1 Manejo adecuado de residuos orgánicos .....	13
5.1.2 Tratamiento de aguas residuales.....	13
5.1.3 Recolección y disposición de residuos sólidos.....	13
5.1.4 Educación y capacitación .....	13
5.2 Requerimientos no funcionales .....	13
5.2.1 Sostenibilidad .....	14
5.2.2 Cumplimiento regulatorio .....	15
5.2.3 Accesibilidad y facilidad de implementación.....	15
5.3 Requerimientos técnicos.....	16
5.3.1 Infraestructura necesaria.....	16
5.3.2 Equipamiento y tecnología.....	16
5.3.3 Software y herramientas de gestión.....	17
6 MARCO DE REFERENCIA.....	18
6.1 Contexto Histórico y Cultural de la Laguna de Fúquene .....	18
6.1.1 Laguna de Fúquene: Un paisaje Cultural .....	18
6.1.2 Historia Precolombina y Colonial .....	19
6.2 Conceptos clave para la gestión de residuos .....	21
6.2.1 Impacto de los Residuos Agropecuarios .....	21
6.2.2 Estrategias de Manejo de Residuos .....	21
6.2.3 Importancia de la Educación Ambiental .....	22
6.3 Economía Circular.....	22

6.3.1	Relevancia de la Economía Circular en la Producción Lechera.....	23
6.3.2	Beneficios de la Economía Circular .....	23
6.4	Gestión de Residuos de la Industria Lechera.....	23
6.4.1	Impacto del Estiércol y Aguas Residuales .....	24
6.4.2	Estrategias de Gestión de Residuos .....	24
6.5	Sostenibilidad Ambiental .....	25
6.6	Marco Normativo y Regulatorio.....	26
6.6.1	Normativas nacionales e internacionales.....	29
6.6.2	Políticas Locales de Saneamiento y protección Ambiental.....	31
6.7	Estudios y Casos análogos de Referencia.....	32
6.7.1	Investigaciones Académicas y Científicas Relevantes.....	32
6.7.2	Análisis de Casos de Éxito en Gestión de Residuos.....	33
6.8	Metodologías para la investigación .....	34
6.8.1	Glosario .....	35
6.8.2	Metodología para usar .....	36
6.8.3	Diagnóstico Ambiental.....	37
6.8.4	Metodologías Participativas para la Gestión Comunitaria .....	37
6.9	Límites y Alcance del Proyecto.....	38
6.9.1	Limitación Geográfica y Temporal .....	38
6.9.2	Enfoque Multidisciplinario.....	39
7	ANÁLISIS DE RESTRICCIONES .....	39
7.1	Restricciones Ambientales .....	39
7.2	Restricciones Económicas .....	40
7.3	Restricciones Legales .....	40
7.4	Restricciones Sociales .....	40
7.5	Restricciones Técnicas .....	41
7.6	Restricciones de Salud y Seguridad .....	41
8	METODOLOGÍA .....	41
8.1	Diseño de la investigación.....	41
	Enfoque, alcance y diseño de la investigación.....	41
8.1.1	Ubicación temporal y espacial.....	42
8.2	Población y muestra .....	42
8.2.1	Población .....	42
8.2.2	Muestra.....	43

8.3	Recolección de datos .....	44
8.4	Análisis de datos .....	44
8.4.1	Análisis Cuantitativo .....	44
8.5	Análisis de estadística descriptiva .....	45
9	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	46
9.1	Resultados obtenidos .....	47
9.2	Análisis comparativo de biodigestores para el plan de acción .....	50
9.2.1	Selección del modelo .....	53
9.2.2	Razones para descartar el biodigestor comunitario .....	53
9.2.3	Ventajas del biodigestor familiar .....	54
9.2.4	Conclusión general sobre los biodigestores .....	54
9.3	Validación técnica .....	55
9.4	Aspectos técnicos identificados .....	55
9.5	Viabilidad del proyecto .....	56
9.6	Recomendaciones clave .....	56
9.7	Integración de las recomendaciones en el prototipo del plan de acción .....	56
9.8	Impacto técnico y práctico .....	57
9.9	Análisis crítico .....	58
9.10	Prototipo del plan de acción .....	59
10	ANÁLISIS DE COSTOS .....	60
10.1	Costos iniciales .....	60
10.1.1	Equipos y Herramientas .....	60
10.2	Costos operativos .....	61
10.2.1	Mano de Obra .....	61
10.2.2	Materias Primas .....	62
11	CONCLUSIONES .....	64
11.1	Síntesis de los resultados .....	64
11.2	Aspectos novedosos del proyecto .....	64
11.3	Cumplimiento de los objetivos .....	65
11.4	Discusión sobre la metodología empleada .....	65
11.5	Limitaciones del proyecto .....	65
11.6	Proyecciones y posibilidades futuras .....	65
	ANEXOS .....	66
	REFERENCIAS .....	66

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Requerimiento funcional 1 .....	12
Tabla 2 Requerimiento funcional 2 .....	12
Tabla 3 Requerimiento funcional 3 .....	12
Tabla 4 Requerimiento funcional 4 .....	12
Tabla 5 Requerimiento no funcional 1 .....	14
Tabla 6 Requerimiento no funcional 2 .....	14
Tabla 7 Requerimiento no funcional 3 .....	14
Tabla 8 Requerimiento no funcional 4 .....	14
Tabla 9 Requerimiento no funcional 5 .....	15
Tabla 10 Requerimiento no funcional 6 .....	15
Tabla 11 Requerimiento no funcional 7 .....	15
Tabla 12 Requerimiento no funcional 8 .....	16
Tabla 13 Requerimiento técnico 1 .....	16
Tabla 14 Requerimiento técnico 2.....	16
Tabla 15 Requerimiento técnico 3.....	16
Tabla 16 Requerimiento técnico 4.....	17
Tabla 17 Requerimiento técnico 5.....	17
Tabla 18 Requerimiento técnico 6.....	17
Tabla 19. Legislación Colombiana, asociada a la protección del medio ambiente, aplicable para el cuidado y preservación de la Laguna de Fúquene. ....	26
Tabla 20 Comparación general biodigestores .....	53
Tabla 21. Costos del biodigestor .....	60
Tabla 22. Costos de contratación del personal operador .....	61
Tabla 23. Costos de mano de obra.....	61
Tabla 24 Costos de materias primas .....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca hidrográfica de la laguna de Fúquene .....	19
Figura 2. Diagrama de flujo del plan de acción (prototipo) .....	47
Figura 3. Insights de los datos del instrumento. ....	48
Figura 4. Gráfico de resultados obtenidos por encuesta.....	49
Figura 5 Feedback experta en Biodigestores .....	55
Figura 6 Elección biodigestor para la asociación .....	57
Figura 7 Cálculo de costos .....	63

## RESUMEN EJECUTIVO

La finalidad de esta investigación es crear un plan de acción que ayude a reducir los residuos generados por la Asociación ASOPRONEM de Fúquene, que terminan en las fuentes hídricas de la laguna de Fúquene. Utilizando una metodología de ecología circular sostenible, se busca identificar y proponer un modelo central para el plan de gestión de residuos que genera la asociación ASOPRONEM. El diseño del estudio será cuantitativo y experimental. Con la colaboración de la asociación se generará un caso de estudio para resolver de manera significativa la contaminación que produce la industria mediante la aplicación del plan propuesto. Con la economía circular, los desperdicios y residuos serán aprovechados eficientemente.

**Palabras clave:** plan de acción de residuos, ASOPRONEM, Laguna de Fúquene, economía circular.

## ABSTRACT

The purpose of this research is to create an action plan to help reduce the waste generated by the ASOPRONEM Association of Fúquene that ends up in the water sources of Fúquene Lake. Using a sustainable circular ecology methodology, we aim to identify and propose a central model for the waste management plan generated by the ASOPRONEM Association. The research design will be quantitative and experimental. With the collaboration of association, a case study will be conducted to significantly address the pollution caused by industry through the implementation of the proposed plan. Through circular economic practices, waste and residues will be utilized efficiently.

**Keywords:** waste action plan, ASOPRONEM, Laguna de Fúquene, circular economy

## 1 INTRODUCCIÓN

La laguna de Fúquene, ubicada entre Ubaté, Cundinamarca, y Chiquinquirá, Boyacá, a 80 km de Bogotá, es un ecosistema de gran importancia ecológica y cultural que ha sufrido un deterioro significativo en las últimas décadas. En 1940, este cuerpo de agua albergaba más de 80 especies de animales, incluyendo zorros andinos, patos, y diversas especies de peces. Sin embargo, el deterioro ambiental ha reducido esta biodiversidad en más del 40% en los últimos 60 años, dejando solo 24 especies de aves, 10 de mamíferos, 4 de reptiles, 4 de peces, 1 de crustáceos, 1 de arácnidos y 14 tipos de insectos (RTVC, 2014).

Además de su riqueza natural, la laguna de Fúquene es un lugar sagrado en la cosmovisión de la cultura muisca, junto con otras lagunas como Guatavita, Iguaque, Tota y Siecha. La preservación de este espacio no solo es vital para la conservación de los recursos hídricos, la flora y la fauna, sino también para mantener viva la herencia cultural de los muisca, que veían en estas lagunas lugares de gran importancia espiritual (Guzmán Carrillo, 2016).

A pesar de ello, desde la época de la conquista hasta el año 1974, el Estado, junto a intereses privados, impulsó proyectos de desecación de la laguna para explotar las tierras fértiles subyacentes. Este proceso comenzó con la concesión otorgada por Simón Bolívar en 1822, y aunque la laguna permaneció bajo el control estatal, los intentos por desecarla continuaron hasta que el decreto-ley 2811 de 1974 que estableció la protección de la franja boscosa alrededor de las lagunas (Méndez et al., 2020).

En 1995, como parte de los esfuerzos por estabilizar las zonas degradadas en la cuenca de la laguna, se llevó a cabo el proyecto Checua PROCAS (Méndez et al., 2020), que promovió prácticas agrícolas sostenibles como la labranza mínima y la rotación con abonos verdes. Sin embargo, la contaminación generada por la actividad humana ha continuado deteriorando la laguna.

Actualmente, se ha evidenciado que la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene, junto con otras fábricas de lácteos en la región, es responsable de una parte significativa de

la contaminación que afecta a la laguna. La descarga de residuos industriales sin tratamiento adecuado ha contribuido a la sedimentación y proliferación de plantas acuáticas invasoras, comprometiendo la salud del ecosistema y la calidad de vida de las comunidades locales.

Este proyecto pretende desarrollar un plan de acción de residuos para la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene, esperando mitigar su impacto negativo en este frágil ecosistema. Al abordar una de las principales fuentes de contaminación, se busca no solo restaurar el equilibrio ecológico de la laguna, sino también preservar la identidad cultural de las comunidades que dependen de ella.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Desarrollar un plan de acción de manejo de residuos para la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene, orientado a reducir la contaminación ambiental, mejorar la calidad de vida de sus miembros, y fomentar prácticas sostenibles en la producción lechera.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico de las prácticas actuales de manejo de residuos en la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene, con un enfoque en calidad, costos, precios y sostenibilidad, y presentar un informe detallado en octubre de 2024.
- Identificar oportunidades para aplicar un modelo de economía circular en la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene, explorando productos que se puedan generar a partir de los residuos y que agreguen valor, con fecha límite de octubre de 2024.



- Seleccionar y validar técnicamente los productos derivados de los residuos que puedan integrarse en un modelo de economía circular en el sector agro-lechero de Fúquene, asegurando su viabilidad mediante datos técnicos y científicos para noviembre de 2024.

### 3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Laguna de Fúquene, ubicada entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, es un ecosistema de alta importancia ecológica y cultural en la región. Sin embargo, la gestión inadecuada de residuos, especialmente provenientes de actividades agropecuarias como la lechería, ha llevado a una degradación significativa de este cuerpo de agua. Los residuos sólidos y líquidos descargados sin tratamiento adecuado están contribuyendo a la eutrofización de la laguna, la pérdida de biodiversidad, y el deterioro de la calidad del agua, afectando tanto la fauna y flora local como la salud de las comunidades aledañas.

En particular, la asociación ASOPRONEM es una de las fuentes de contaminación, debido a la falta de un sistema integral de gestión de residuos. Actualmente, los desechos generados por las actividades lecheras se disponen de manera ineficiente, lo que agrava la sedimentación y promueve la proliferación de especies invasoras, como el buchón de agua, que compiten con la vegetación nativa y cubren gran parte del espejo de agua. Esto no solo afecta la calidad del agua y la biodiversidad, sino que también pone en riesgo la economía local, que depende en gran medida del turismo, la pesca y otras actividades relacionadas con la laguna.

El impacto de estas actividades no solo ha resultado en un deterioro ambiental, sino también en una alarmante reducción de la biodiversidad. Desde la década de 1940, la laguna ha visto desaparecer más del 40% de sus especies animales, lo que incluye la pérdida de zorros andinos, patos, y diversas especies de peces. A esto se suma la presión cultural sobre la cosmovisión muisca, para quienes la laguna tiene un significado espiritual profundo (RTVC, 2014).

Esta situación es el resultado de un proceso histórico de degradación, que comenzó con la

concesión otorgada por Simón Bolívar en 1822 para la explotación de las tierras fértiles alrededor de la laguna. Aunque el Estado, mediante el decreto-ley 2811 de 1974, estableció la protección de la franja boscosa alrededor de las lagunas, los esfuerzos por restaurar el ecosistema han sido insuficientes frente a la creciente contaminación generada por actividades humanas, especialmente la lechería (Méndez et al., 2020).

En este contexto, es imperativo desarrollar un plan de acción de residuos para la laguna de Fúquene, que aborde estos desafíos mediante un enfoque de economía circular. Este plan buscará no solo reducir la contaminación, sino también transformar los residuos en recursos útiles, generando beneficios tanto ambientales como económicos para la comunidad. La implementación de un sistema de gestión de residuos que sea sostenible y adaptado a las necesidades locales es esencial para mitigar los impactos negativos en la laguna y promover un desarrollo sostenible a largo plazo.

En este sentido, la investigación se centrará en responder la siguiente pregunta.

### **3.1 Pregunta de investigación**

¿De qué manera un plan de gestión de residuos, fundamentado en la economía circular, puede reducir la contaminación y promover el desarrollo sostenible en la Asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene, contribuyendo a la preservación del ecosistema y el patrimonio cultural de la región?

## **4 JUSTIFICACIÓN**

La asociación ASOPRONEM de Fúquene, está compuesta por campesinos. Muchos de ellos tienen sus parcelas, minifundios y latifundios en la zona cercana al lago Fúquene y, vierten los residuos en las quebradas, ríos que desembocan o la alimentan. Por tal motivo es conveniente estandarizar un plan de acción de residuos, que sirva de aprovechamiento en productos útiles y así generar una economía circular que ayude a disminuir los residuos que son arrojados a la hidrografía.

Este proyecto también tiene un impacto significativo en la comunidad local, ya que se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por (Naciones Unidas, 2015a). Específicamente, contribuirá al ODS 6, que promueve el acceso al agua limpia y el saneamiento; al ODS 11, enfocado en crear ciudades y comunidades sostenibles; al ODS 12, que aboga por la producción y el consumo responsables; al ODS 13, relacionado con la acción por el clima; y al ODS 14, que busca preservar la vida submarina. La implementación de un plan de acción de residuos adecuado no solo reducirá la contaminación, sino que también fomentará prácticas más sostenibles y responsables dentro de la Asociación ASOPRONEM Campesina de Fúquene, beneficiando tanto a los miembros de la asociación como a las comunidades que dependen de los recursos naturales de la Laguna de Fúquene y sus alrededores.

Ayudará a resolver la contaminación de residuos que son arrojados a la hidrografía de Fúquene por la ASOPRONEM. Ello generando un estándar de calidad que use los principios de la economía circular y sostenibilidad. Lo cual se verá reflejado día a día en los líquidos que llegan a la Laguna.

Con la publicación y confirmación de (MinAmbiente, 2022) de la ratificación del Estado de Colombiano en la ley que respalda el Acuerdo de Escazú. El cual consiste y permite que la naturaleza tenga derechos y que la información de proyectos con el medio ambiente sea transparente y proteja a los ciudadanos. También, permite hacer veeduría, solicitar avances y seguimiento de todo lo relacionado con el cambio climático y los ecosistemas naturales. Con lo cual podrán encontrar al final de esta investigación un documento con las decisiones de ingeniería que ayudaron a plantear el plan de residuos y el cual podrán consultar como fuente importante para futuras investigaciones.

El plan de acción de residuos podrá ser aplicado a otras asociaciones lecheras del país, incluso podrá servir para otros tipos de industrias que necesiten generar una economía circular sostenible ya que los principios metodológicos así lo permitirán.

## 5 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

### 5.1 Requerimientos funcionales

Tabla 1 Requerimiento funcional 1

<b>NOMBRE</b>	<i>DOCUMENTO ESCRITO CON EL PLAN INTEGRAL</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento funcional
<b>PRIORIDAD</b>	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El Plan de Acción de Residuos de la Asociación ASOPRONEM de Fúquene. Deberá tener un documento escrito el cual será el producto guía para las personas de la Asociación ASOPRONEM de Fúquene.

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla 2 Requerimiento funcional 2

<b>NOMBRE</b>	<i>ISO 9001:2008</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento funcional
<b>PRIORIDAD</b>	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El Plan de Acción de Residuos de la Asociación ASOPRONEM de Fúquene. Deberá seguir los lineamientos de la ISO 9001:2008 El cual consiste en gestión de la calidad.

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla 3 Requerimiento funcional 3

<b>NOMBRE</b>	<i>ISO 2000:2005</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento funcional
<b>PRIORIDAD</b>	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El Plan de Acción de Residuos de la Asociación ASOPRONEM de Fúquene. Deberá seguir los lineamientos de la ISO 2000:2005 Consiste en adoptar un sistema de gestión de Inocuidad de los alimentos y debe usar el ciclo PHVA.

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla 4 Requerimiento funcional 4

<b>NOMBRE</b>	<i>ISO 14001:2015</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento funcional
<b>PRIORIDAD</b>	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El Plan de Acción de Residuos de la Asociación ASOPRONEM de Fúquene. Deberá seguir los lineamientos de la ISO 14001:2015

	Consiste en adoptar un sistema de gestión de gestión ambiental y debe usar el ciclo PHVA.
--	---

*Fuente: Elaboración propia de los autores.*

### **5.1.1 Manejo adecuado de residuos orgánicos**

- Crear un plan de acción eficiente para manejar los residuos que se generan en las fincas lecheras, como el estiércol del ganado, restos de alimentos, y el suero de leche. Usar compostaje o biodigestores puede ser una buena opción para convertir estos desechos en fertilizantes o biogás.
- Promover que haya un espacio adecuado para almacenar temporalmente estos residuos, reduciendo riesgos de contaminación y aprovechándolos de la mejor manera posible.
- Fomentar la reutilización de estos residuos dentro de la propia finca, como usar el compost para fertilizar los pastos, ayudando a disminuir el uso de fertilizantes externos.

### **5.1.2 Tratamiento de aguas residuales**

- Utilizar métodos adecuados, como filtros de sólidos o tanques de sedimentación, para asegurarse de que el agua esté limpia antes de ser vertida de nuevo en el ambiente.

### **5.1.3 Recolección y disposición de residuos sólidos**

- Establecer un plan de acción para recoger y separar los residuos sólidos, como envases de productos veterinarios, plásticos usados en el empaquetado de productos lácteos y otros desechos.
- Promover el reciclaje, reutilizando envases siempre que sea posible y enviando los materiales reciclables a plantas de reciclaje locales.

### **5.1.4 Educación y capacitación**

- Capacitar continuamente a todos los empleados y miembros de la asociación sobre cómo manejar correctamente los residuos, reducir la contaminación y mejorar las prácticas sostenibles.
- Crear programas educativos para los productores lecheros sobre el impacto ambiental de sus prácticas y cómo mitigarlo de manera eficiente.

## **5.2 Requerimientos no funcionales**

## Eficiencia del sistema

Tabla 5 Requerimiento no funcional 1

<b>NOMBRE</b>	<i>FOMENTAR UNA MEJORA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento no funcional
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Se debe buscar un plan que permita fomentar que las operaciones y el manejo de los residuos producidos por la asociación ASOPRONEM de Fúquene sean lo más simples y rápidas posibles.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Requerimiento no funcional 2

<b>NOMBRE</b>	<i>MONITOREO EN TIEMPO REAL</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento no funcional
<b>PRIORIDAD</b>	MEDIA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Por medio de la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real se logrará identificar fallas o áreas de mejora en gestión de residuos. Por lo que de esta forma se logrará prevenir problemas, sino que también facilitará la toma de decisiones de una forma más fácil y eficiente.

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.1 Sostenibilidad

Tabla 7 Requerimiento no funcional 3

<b>NOMBRE</b>	<i>USO DE ENERGÍAS RENOVABLES</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento no funcional
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El plan de acción debe incorporar fuentes que permitan usar energía renovable, como el biogás para así garantizar que las operaciones diarias no operen exclusivamente de fuentes no renovables. Esto contribuirá a reducir el impacto ambiental de la cadena de producción.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Requerimiento no funcional 4

<b>NOMBRE</b>	<i>RECICLAJE DE AGUAS RESIDUALES</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento no funcional
<b>PRIORIDAD</b>	MEDIA

<b>DESCRIPCIÓN</b>	Es muy importante que en plan de acción se contemple la reutilización del agua tratada en productos que permitan su reutilización. Esto permitirá optimizar el uso de los recursos hídricos disponibles.
--------------------	--

Fuente: Elaboración propia

## 5.2.2 Cumplimiento regulatorio

Tabla 9 Requerimiento no funcional 5

<b>NOMBRE</b>	<i>CUMPLIMIENTO NORMATIVO LOCAL E INTERNACIONAL</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento no funcional
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El plan de acción debe cumplir con las normativas ambientales locales, como las leyes colombianas y decretos, así como con las directrices internacionales aplicables.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Requerimiento no funcional 6

<b>NOMBRE</b>	<i>CAPACITACIÓN SOBRE NORMATIVAS</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento no funcional
<b>PRIORIDAD</b>	MEDIA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Es muy importante que se incluya un programa de capacitación regular a los empleados y operadores sobre las normativas y leyes ambientales aplicables, junto a la importancia que tienen, para que se aseguren las mejores prácticas y el compromiso de todos los actores involucrados.

Fuente: Elaboración propia

## 5.2.3 Accesibilidad y facilidad de implementación

Tabla 11 Requerimiento no funcional 7

<b>NOMBRE</b>	<i>INSTRUCCIONES CLARAS Y ACCESIBLES</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento no funcional
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Todos los procedimientos y prácticas que estén relacionados con la gestión de residuos deben quedar documentados de manera clara y accesible para todos los actores involucrados.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Requerimiento no funcional 8

<b>NOMBRE</b>	<i>RECURSOS FORMATIVOS CONTINUOS</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento no funcional
<b>PRIORIDAD</b>	MEDIA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Se deben buscar diferentes didácticas que permitan que los diferentes actores involucrados no solo tengan acceso a capacitaciones, sino a talleres, reuniones, recursos educativos, posters y más para mantener la normativa y las mejores prácticas presentes.

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Requerimientos técnicos

#### 5.3.1 Infraestructura necesaria

Tabla 13 Requerimiento técnico 1

<b>NOMBRE</b>	<i>ADAPTACIÓN DE INSTALACIONES</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento técnico
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Se deben adaptar o construir instalaciones adecuadas para el almacenamiento y tratamiento de residuos, como fosas sépticas, biodigestores o lagunas de oxidación, garantizando que cumplan con las normativas ambientales.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Requerimiento técnico 2

<b>NOMBRE</b>	<i>ÁREAS DE MANEJO SEGURA</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento técnico
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Promover la existencia de áreas designadas para el manejo seguro de residuos sólidos y líquidos, siguiendo las normas de seguridad y ambientales para evitar la contaminación de la Laguna de Fúquene.

Fuente: Elaboración propia

#### 5.3.2 Equipamiento y tecnología

Tabla 15 Requerimiento técnico 3

<b>NOMBRE</b>	<i>EQUIPOS DE RECOLECCIÓN</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento técnico
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Adquirir equipos necesarios para la recolección y tratamiento de



	residuos, como contenedores especiales, vehículos de transporte, y sistemas de filtración o desinfección que sean eficientes y respetuosos con el medio ambiente
--	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Requerimiento técnico 4

<b>NOMBRE</b>	<i>MONITOREO DE RESIDUOS</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento técnico
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Implementar tecnología que permita un monitoreo constante y eficiente de los residuos y de los procesos de tratamiento, utilizando sensores IoT para la recolección de datos en tiempo real.

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3 Software y herramientas de gestión

Tabla 17 Requerimiento técnico 5

<b>NOMBRE</b>	<i>SOFTWARE DE GESTIÓN DE RESIDUOS</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento técnico
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Utilizar programas de gestión para controlar y registrar la cantidad y tipo de residuos generados, su recolección, tratamiento y disposición final, asegurando la trazabilidad de los residuos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Requerimiento técnico 6

<b>NOMBRE</b>	<i>APLICACIONES DIGITALES</i>
<b>TIPO</b>	Requerimiento técnico
<b>PRIORIDAD</b>	ALTA
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Emplear aplicaciones digitales para capacitar al personal y coordinar las actividades de gestión de residuos de manera eficiente, facilitando la comunicación entre los diferentes actores involucrados en el proceso.

Fuente: Elaboración propia

## **6 MARCO DE REFERENCIA**

El presente marco de referencia tiene como objetivo dar contexto sobre el desarrollo del plan de acción de residuos para la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene, un proyecto que busca mitigar los impactos ambientales derivados de las actividades que son llevadas en el proceso de producción de esta asociación en esta importante cuenca hidrográfica. La laguna de Fúquene, ubicada en el departamento de Cundinamarca, representa un ecosistema estratégico para la región, no solo por su biodiversidad, sino también por su relevancia para las comunidades locales, que dependen de sus recursos para las actividades económicas como la agricultura, el turismo, la pesca y la ganadería.

Para ello, se presentan las regulaciones ambientales pertinentes, tanto a nivel local como nacional e internacional, que influyen en la gestión de residuos en el área de estudio. Además, se exploran los principios teóricos que sustentan la gestión de residuos sólidos y líquidos, junto con metodologías efectivas para el monitoreo ambiental y la participación comunitaria en proyectos de conservación.

Con este marco de referencia se pretende proporcionar una base clara y sólida que oriente la implementación de un plan de acción de residuos adecuado a las necesidades de la Asociación ASOPRONEM, fomentando prácticas responsables y sostenibles que contribuyan a la protección de la Laguna de Fúquene.

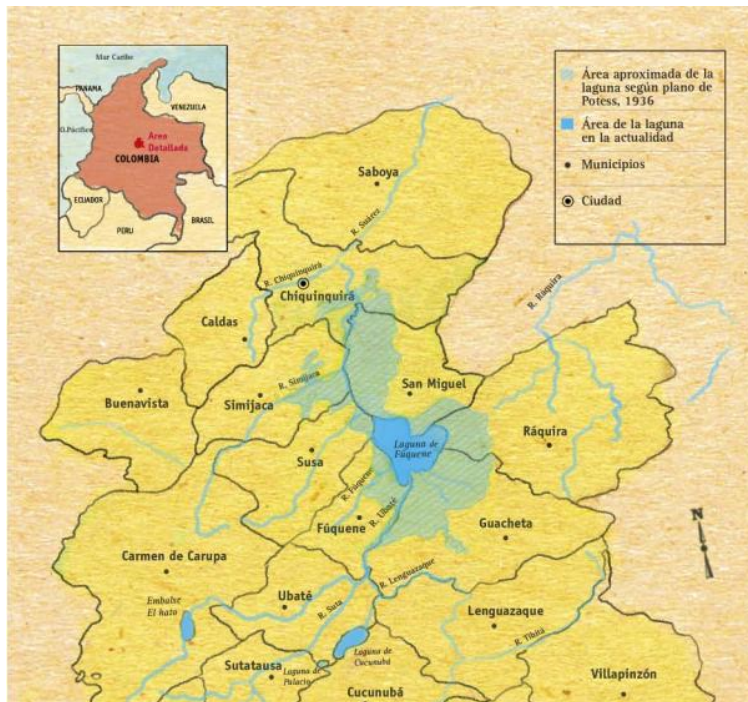
### **6.1 Contexto Histórico y Cultural de la Laguna de Fúquene**

#### **6.1.1 Laguna de Fúquene: Un paisaje Cultural**

La Laguna de Fúquene, ubicada en el altiplano cundiboyacense, es un ecosistema de gran relevancia tanto ecológica como cultural. La laguna de Fúquene está constituida principalmente desde el Valle de Ubaté hasta Suarez. Este cuerpo de agua ha sido testigo de la interacción entre el ser humano y la naturaleza a lo largos de los siglos, lo que ha modelado su historia y su entorno (Guerrero-García, 2014).

## Mapa, cuenca hidrográfica de la laguna de Fúquene

Figura 1. Cuenca hidrográfica de la laguna de Fúquene



Fuente: (Guerrero-García, 2014, p. 47.58).

### 6.1.2 Historia Precolombina y Colonial

La Laguna de Fúquene ha sido un elemento central en la cultura y economía de los pueblos muisca, quienes habitaron esta región del altiplano cundiboyacense. Para los muisca, el cuerpo de agua no solo tenía un valor económico, sino que también era considerado sagrado. Las lagunas, como la de Fúquene, estaban relacionadas con sus mitos de origen, lo que generaba una relación de respeto y equilibrio con la naturaleza. Estudios arqueológicos han revelado vestigios de asentamientos humanos alrededor de la laguna que datan del Periodo Herrera (800 a.C. – 800 d.C.), evidenciando que los grupos indígenas dependían de este ecosistema para sus actividades de pesca y agricultura (Guerrero-García, 2014).

Con la llegada de los conquistadores españoles en el siglo XVI, la relación de los muisca con la laguna sufrió cambios drásticos. Los pueblos indígenas fueron desplazados hacia las montañas, mientras que los colonizadores se apropiaron de los fértiles terrenos aledaños a la

laguna (ONIC, 2024). Los muiscas fueron obligados a pagar tributos por el derecho a vivir y cultivar en estas tierras, convirtiéndose en mano de obra para los colonizadores y este cambio marcó el inicio de una explotación intensiva de los recursos naturales de la región.

Tras la independencia de la Nueva Granada, se inició un proceso de desecación de la laguna, liderado por José Enrique París Prieto en 1885. Este empresario adquirió terrenos otorgados por el Estado colombiano como recompensa por sus servicios en la campaña libertadora. La propiedad de París Prieto abarcaba 66 km<sup>2</sup> de la laguna, y para facilitar su desecación, construyó un canal que lleva su nombre. Este canal permitió reducir significativamente los niveles de agua, disminuyendo el cuerpo hídrico y ampliando las zonas de tierra firme, lo que resultó en una drástica reducción de la extensión de la Laguna de Fúquene a tan solo 10 km<sup>2</sup> (Hettner, 1966). La transformación de la laguna de un espacio sagrado a uno productivo refleja la evolución de las relaciones entre el ser humano y la naturaleza en la región. La desecación, impulsada por intereses económicos y políticos, marcó el inicio de una serie de intervenciones que han moldeado el ecosistema hasta la actualidad. Según (Silva-Silva et al., 2023), el daño a la laguna comenzó en 1830, asociado al uso de la tierra para el desarrollo de actividades de ganadería y agricultura, lo que ha llevado a una disminución alarmante de su calidad, extensión y biodiversidad.

En el siglo XX, el desarrollo industrial y la expansión de la ganadería intensiva continuaron afectando la laguna. La superficie del espejo de agua ha disminuido considerablemente debido a prácticas insostenibles, incluyendo el vertimiento de desechos industriales y agrícolas (Montañez-Quiroga, 2019). Se estima que, en las últimas cinco décadas, la laguna ha perdido cerca de 40 hectáreas por año, lo que podría llevar a su desaparición en menos de 15 años si no se toman medidas urgentes para su conservación y (Mireya Porras, 2023) A pesar de estos desafíos, la Laguna de Fúquene sigue siendo un espacio culturalmente significativo para las comunidades locales. Actividades como la pesca y la agricultura mantienen una estrecha relación con la laguna, aunque ahora enfrentan problemas derivados de la contaminación y la disminución de recursos naturales. Proyectos comunitarios enfocados en la educación ambiental y la recuperación de la memoria histórica han tratado de integrar a las comunidades en los procesos de recuperación ecológica, buscando

reconstruir el vínculo entre la cultura y el cuidado del ecosistema(Valderrama, 2023).

## **6.2 Conceptos clave para la gestión de residuos**

La gestión de residuos en el sector agropecuario es una cuestión crítica debido a la cantidad y tipo de desechos generados durante las actividades productivas. Según ProCycla (2022), "la gestión de residuos orgánicos del sector agropecuario se ha convertido en uno de los problemas más crecientes y uno de los mayores desafíos para el cuidado del medioambiente, tanto a nivel nacional como internacional". En particular, las granjas lecheras generan una variedad de residuos, incluyendo estiércol, aguas residuales y residuos sólidos. La gestión efectiva de estos residuos es esencial para minimizar su impacto ambiental y proteger los recursos naturales. Según Álvarez Nicolliello & Carballo. (2021), "La promoción del manejo sustentable de los residuos orgánicos en las actividades agropecuarias reviste importancia en la reducción de los impactos ambientales negativos resultado de dichas actividades". Este nuevo párrafo incluye una fuente que respalda la afirmación inicial sobre la importancia de la gestión de residuos en el sector agropecuario.

### **6.2.1 Impacto de los Residuos Agropecuarios**

Los residuos generados por las actividades lecheras son una fuente importante de contaminación. Según Montañez-Quiroga (2019), "el estiércol y las aguas residuales de las granjas lecheras aportan nutrientes como nitrógeno y fósforo a la laguna, lo que provoca eutrofización". Este proceso resulta en el crecimiento excesivo de algas, que a su vez disminuye la calidad del agua y afecta la biodiversidad acuática. Se estima que la carga contaminante proveniente de las actividades agropecuarias ha contribuido a la disminución del espejo de agua de la laguna, que ha pasado de aproximadamente 12,000 hectáreas hace dos siglos a menos de 500 hectáreas en la actualidad (Mireya Porras, 2023).

### **6.2.2 Estrategias de Manejo de Residuos**

Para mitigar los efectos negativos de los residuos agropecuarios, es fundamental implementar estrategias de manejo sostenible. La gestión adecuada de los residuos agrícolas resulta una

tarea fundamental para promover la sostenibilidad y minimizar el impacto ambiental (La importancia de la gestión de residuos agrícolas, 2024). La digestión anaerobia y el compostaje son técnicas que pueden transformar los residuos orgánicos en recursos útiles, como biogás y fertilizantes orgánicos. Estas prácticas no solo ayudan a reducir la cantidad de desechos, sino que también mejoran la calidad del suelo y disminuyen la dependencia de fertilizantes químicos (Altadill-Colominas et al., 2012). Además, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es crucial para reducir la carga contaminante que llega a la laguna. La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) ha iniciado la construcción de PTAR en municipios cercanos, como Ubaté y Susa, para evitar el vertido directo de aguas servidas a la laguna (Mireya Porras, 2023). Estas iniciativas son esenciales para restaurar la calidad del agua y proteger el ecosistema de la laguna.

### **6.2.3 Importancia de la Educación Ambiental**

La educación ambiental juega un papel fundamental en la gestión de recursos en la Laguna de Fúquene (Silva-Silva et al., 2023). Es esencial que los agricultores y ganaderos reconozcan cómo sus prácticas afectan el ecosistema, lo que les permitirá adoptar métodos más sostenibles. Campañas de sensibilización y capacitación pueden fomentar la implementación de prácticas de manejo de residuos que benefician tanto a la economía local como al medio ambiente (Valderrama, 2023).

### **6.3 Economía Circular**

La economía circular se presenta como un modelo innovador que puede transformar la gestión de residuos en el sector agropecuario, especialmente en el contexto de la Laguna de Fúquene. Según Raudales-García et al. (2024), “la economía circular busca que el sector agropecuario cierre ese círculo de producción lineal y emigre al nuevo modelo, en pro de un mayor rendimiento en sus operaciones”. Este enfoque propone un cambio fundamental en la forma en que se gestionan los recursos, pasando de un modelo lineal de "extraer, producir y desechar" a uno que cierra los ciclos de recursos, minimizando el desperdicio y reintroduciendo materiales en la cadena productiva.

### **6.3.1 Relevancia de la Economía Circular en la Producción Lechera**

En el contexto específico de la producción lechera, la acumulación de estiércol y el manejo inadecuado de las aguas residuales pueden resultar en la contaminación de cuerpos de agua cercanos, como la Laguna de Fúquene (Achucarro, 2020). La contaminación puede ser provocada por nutrientes excesivos que llevan a la eutrofización del agua. Este fenómeno, descrito por (Paredes García & Roldan Panaifo (2022)), ocurre cuando los nutrientes provenientes de los residuos promueven un crecimiento descontrolado de algas, lo que reduce el oxígeno disponible y afecta negativamente a la fauna acuática. Por lo tanto, la gestión de estos residuos debe enfocarse en prácticas que minimicen estos impactos, tales como el uso de sistemas de tratamiento de estiércol y técnicas de manejo de aguas residuales.

### **6.3.2 Beneficios de la Economía Circular**

La transición hacia un modelo de economía circular en el sector agropecuario no solo tiene beneficios ambientales, sino que también puede resultar en ventajas económicas significativas (de Miguel et al., 2021). Este enfoque permite la reducción de residuos y el aprovechamiento de subproductos, lo que puede disminuir costos operativos y generar nuevas fuentes de ingresos. Por ejemplo, la comercialización de biogás o compost ofrece a los productores alternativas económicas viables, al tiempo que contribuyen a la sostenibilidad del ecosistema de la Laguna de Fúquene. Al adoptar prácticas de economía circular, los agricultores no solo mejoran su rentabilidad, sino que también ayudan a preservar los recursos naturales y mitigar el impacto ambiental de sus actividades (AgroSpray, 2022).

## **6.4 Gestión de Residuos de la Industria Lechera**

La gestión de residuos en la industria lechera es un aspecto crítico que impacta directamente en la salud ambiental de la Laguna de Fúquene (Jiménez Hernández et al., 2020). Este sector genera una variedad de desechos, entre los que se incluyen estiércol, aguas residuales y residuos sólidos. La acumulación y manejo inadecuado de estos residuos pueden tener consecuencias devastadoras para el ecosistema acuático, contribuyendo a la contaminación y a la eutrofización de la laguna.

#### **6.4.1 Impacto del Estiércol y Aguas Residuales**

El estiércol de las granjas lecheras, si no se gestiona adecuadamente, puede liberar nutrientes en exceso, como nitrógeno y fósforo, en las aguas cercanas. Estos nutrientes son responsables de la eutrofización, un proceso que provoca un crecimiento descontrolado de algas en el agua, lo que a su vez reduce los niveles de oxígeno disuelto y afecta negativamente a la fauna acuática (Paredes García & Roldan Panaifo, 2022b).

La proliferación de algas, junto con la acumulación de biomasa vegetal, puede crear zonas muertas donde la vida acuática no puede sobrevivir (Grajales Bobadilla, 2024). Además, las aguas residuales generadas en las lecherías, que a menudo son vertidas sin tratamiento previo, contribuyen a la contaminación de la laguna y la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales en los municipios aledaños ha exacerbado este problema, como lo documenta la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2023) La contaminación resultante no solo afecta la calidad del agua, sino que también pone en riesgo la salud de las comunidades que dependen de este recurso para su vida diaria.

#### **6.4.2 Estrategias de Gestión de Residuos**

Para mitigar los impactos negativos de los residuos generados por la industria lechera, es fundamental implementar estrategias de gestión adecuadas. La adopción de prácticas sostenibles, como el compostaje del estiércol y la implementación de sistemas de digestión anaerobia, puede transformar estos desechos en recursos útiles. La digestión anaerobia, por ejemplo, no solo reduce la cantidad de residuos, sino que también produce biogás, una fuente de energía renovable que puede ser utilizada en las operaciones de la granja (Montañez-Quiroga, 2019). Además, la creación de plantas de tratamiento de aguas residuales es crucial para evitar el vertido directo de contaminantes en la laguna. La CAR ha comenzado a trabajar en la construcción de infraestructuras para el tratamiento de aguas residuales en los municipios cercanos, lo que es un paso positivo hacia la mejora de la calidad del agua en la Laguna de Fúquene (Mireya Porras, 2023). La colaboración entre los productores lecheros y las autoridades ambientales es esencial para garantizar que se implementen estas prácticas de



manera efectiva.

## 6.5 Sostenibilidad Ambiental

La contaminación de los ecosistemas acuáticos representa una amenaza grave y creciente para la biodiversidad y la salud ambiental a nivel global (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2018). Uno de los impactos más notables de la contaminación en la Laguna de Fúquene es la eutrofización, donde existen nutrientes que estimulan un crecimiento desmedido de algas y plantas acuáticas (Paredes García & Roldan Panaifo, 2022b).

El buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), una especie invasora conocida por su rápida proliferación ha colonizado grandes áreas de la laguna, compitiendo con las especies nativas y modificando de manera significativa la estructura del ecosistema (Gómez-Castañeda et al., 2021). Este fenómeno no solo desplaza a las especies autóctonas, sino que también tiene repercusiones en la calidad del agua, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto, lo que puede llevar a la creación de zonas muertas y donde la vida acuática no puede sobrevivir. La acumulación de biomasa vegetal, cuando se descompone, aumenta la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), exacerbando aún más los niveles de desoxigenación en el agua (Sánchez Cárdenas, 2015).

La contaminación y la eutrofización han provocado una disminución drástica de la biodiversidad en la Laguna de Fúquene (RTVC, 2014) Especies nativas de peces y otras formas de vida acuática, antes comunes en la laguna, se han reducido debido a la pérdida de hábitat y la competencia con especies invasoras. La fauna acuática, en particular, ha experimentado un declive alarmante, como lo documenta RTVC (2014), lo que pone en peligro la integridad ecológica del ecosistema y su capacidad para sostener a las especies endémicas que dependen de él.

La reducción en la calidad del agua causada por la contaminación afecta no solo al ecosistema, sino también a las comunidades humanas que dependen de la laguna. La eutrofización disminuye la potabilidad del agua y reduce su utilidad para fines agrícolas e

industriales, lo que genera un impacto negativo en la economía local y en la salud de los habitantes (CAR, 2023).

## 6.6 Marco Normativo y Regulatorio

El desarrollo de un plan de acción de residuos para la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene requiere una comprensión clara del entorno normativo que regula las actividades relacionadas con el manejo de desechos en esta región. Este marco se compone de las diferentes leyes tanto a nivel nacional como internacional, destinadas a proteger los recursos hídricos, la biodiversidad, la cultura y la salud de las comunidades locales.

*Tabla 19. Legislación Colombiana, asociada a la protección del medio ambiente, aplicable para el cuidado y preservación de la Laguna de Fúquene.*

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
<b>Leyes</b>	
Ley 23 de 1973	En esta ley se establecieron las disposiciones para la protección y el desarrollo de los recursos naturales y el medio ambiente, se introdujo la regulación ambiental en Colombia, promoviendo el uso sostenible de los recursos y la renovación de los ecosistemas. En esta se consolidó la responsabilidad estatal y social en la protección del medio ambiente (Constitución Política de Colombia, Ley 23, 1973)
Ley 99 de 1993	Esta una de las leyes más importantes, debido a que con esta ley se creó el marco normativo fundamental para la gestión ambiental colombiana, en la que su objetivo principal es establecer los principios y mecanismos para la protección y conservación del medio ambiente. Para este fin y con esta ley se creó el ministerio del medio ambiente, que se encarga de tomar la responsabilidad de coordinar y formular políticas ambientales en Colombia (Constitución Política de Colombia, Ley 99, 1993)
Ley 164 de 1994	En esta se aprobó la “Convención del marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático”, que se firmó en Nueva York el 9 de mayo de 1992. Esta ley demuestra el compromiso del país en la lucha contra el cambio climático, promoviendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el desarrollo de prácticas sostenibles (Constitución Política de Colombia, Ley 164, 1994).
Ley 373 de 1997	Con esta ley se estableció la obligación de implementar planes de ahorro y uso eficiente del agua en el país. Esta normativa es aplicable tanto para entidades públicas como para las privadas, por lo que es necesario que todas

	adopten medidas para optimizar el consumo de agua, fomentar su uso racional y posible reutilización (Constitución Política de Colombia, Ley 373, 1997).
Ley 629 de 2000	En esta se aprobó el “Protocolo de Kioto”, de la convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, que se firmó en Kioto el 11 de diciembre de 1997. En este se establecieron compromisos específicos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Constitución Política de Colombia, Ley 629, 2000).
Ley 1333 de 2009	En esta ley se estableció el régimen de sanciones correspondientes a los infractores que afecten al medio ambiente. En esta se otorgan facultades a las autoridades ambientales para imponer sanciones administrativas a personas o empresas que incumplan la normativa ambiental (Constitución Política de Colombia, Ley 1333, 2009).
Ley 1844 de 2017	En esta ley se aprobó el Acuerdo de París en Colombia, sumándose al tratado internacional sobre el cambio climático, donde el objetivo es limitar el aumento de la temperatura global y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Con esta ley Colombia se comprometió a promover el uso de energías limpias, la protección de los ecosistemas y la adaptación de los sectores vulnerables (Constitución Política de Colombia, Ley 1844, 2017).
Ley 1931 de 2018	En esta ley se estableció el marco legal para la gestión adecuada del cambio climático, buscando que el país se adapte a los impactos del cambio climático y que se reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero. Se definieron los principios de la sostenibilidad, equidad y responsabilidad, promoviendo de esta forma la creación de planes de adaptación y mitigación de afectación al medio ambiente por parte de los sectores público y privado (Constitución Política de Colombia, Ley 1931, 2018).
Ley 2011 de 2021	La ley del Cambio Climático, en esta se estipuló la creación de un sistema nacional de cambio climático, que se encargue de coordinar los esfuerzos entre entidades gubernamentales, el sector privado y la sociedad civil. En este sistema se deben incluir la formulación de planes nacionales de adaptación y mitigación, así como la implementación de medidas sectoriales para de esta forma reducir la vulnerabilidad logrando mejorar la resiliencia de los ecosistemas y la población (Constitución Política de Colombia, Ley 2111, 2021).
Ley 2273 de 2022	En esta ley se aprobó el acuerdo de Escazú, esta tiene por objetivo la gestión ambiental, proteger los derechos de los defensores del medio ambiente y fomentar la participación ciudadana en la toma de decisiones que se relacionen con el medio ambiente (Constitución Política de Colombia, Ley 2273, 2022).
Ley 2294	En este se refuerzan los lineamientos para el fortalecimiento de la gestión

de 2023	ambiental a nivel local, especialmente en áreas rurales y de alto valor ecológico. Con esta ley se promovieron la creación de mecanismos locales de participación y vigilancia comunitaria en el manejo de residuos y la protección de recursos naturales. A la vez se exigió la implementación de sistemas integrales de gestión de residuos que incluyan la reducción, reciclaje, reutilización y disposición final (Constitución Política de Colombia, Ley 2294, 2023).
<b>Decretos</b>	
Decreto 2811 de 1974	El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, en este se presentó una definición amplia de los recursos naturales y los diferentes cuidados que deben tenerse en cuenta. Este decreto estableció que los recursos naturales son patrimonio de la nación y deben ser utilizados de manera racional para garantizar su permanencia y calidad, ya que el ambiente es patrimonio común (Constitución Política de Colombia, Decreto 2811, 1974).
Decreto 3930 de 2010	En este se reguló el uso, la protección y el manejo de los recursos hídricos. En esta se establecieron las normas para la conservación de las fuentes de agua, su aprovechamiento y los procedimientos para otorgar permisos relacionados con vertimientos y concesiones de agua. Esto para lograr un uso sostenible de los diferentes recursos hídricos, su preservación y diferentes sanciones aplicables para quienes hagan caso omiso de este (Constitución Política de Colombia, Decreto 3930, 2010)
Decreto 1076 de 2015	En este decreto se compilaron y actualizaron las normativas relacionadas con la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible en Colombia. Gracias a este decreto se consolidó y sintetizó la legislación existente en el ámbito ambiental, para de esta forma establecer directrices para una mejor gestión ambiental (Constitución Política de Colombia, Decreto 1076, 2015).
Decreto 298 de 2016	En este decreto se organizó y reguló el sistema nacional del cambio climático, cuyo objetivo es coordinar las acciones del estado y las diferentes entidades en la implementación de políticas de protección ambiental. Se establecieron las responsabilidades para identificar los riesgos, formular los planes de adaptación, mitigación y promoción de prácticas sostenibles (Constitución Política de Colombia, Decreto 298, 2016).
<b>Resoluciones</b>	
Resolución 1023 de 2005	Emitida por el ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, en la que se adoptaron las guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación cuyo objetivo es garantizar una gestión adecuada de los residuos que se producen debido a diversas actividades económicas para reducir los riesgos para el medio ambiente y la población en general (Constitución Política de Colombia, Resolución No. 1023, 2005).

Resolución 3585 de 2008	Su objetivo es asegurar la calidad e inocuidad de la leche producida, definiendo los procesos que deben seguir los productores para obtener la certificación (Constitución Política de Colombia, Resolución No. 3585, 2008).
Resolución 0631 de 2015	En esta se establecieron los parámetros y valores límite permisibles para el vertimiento de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales y alcantarillados públicos (Constitución Política de Colombia, Resolución No. 0631, 2015).
Resolución 1256 de 2021	Con esta resolución, se busca como objetivo que los usuarios con acceso al agua siempre que sea factible tanto técnica como económicamente, desarrollen procesos que permiten la recirculación de las aguas residuales (Constitución Política de Colombia, Resolución No. 1256, 2021).

*Fuente: Elaboración propia de los autores.*

### **6.6.1 Normativas nacionales e internacionales**

Para garantizar la conservación del agua, la fauna y la flora, junto a la prevención de la contaminación que se genera por la industrial de la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene, es fundamental considerar directrices internacionales, como lo es el European Green Deal. En el que, aunque por ahora solo es implementado en la Unión Europea tiene el desarrollo de un marco que contiene una agenda más competitiva y sostenible que puede ser útil para desarrollar políticas locales.

En el European Green Deal se subraya la importancia de una gestión eficiente de los recursos hídricos como parte de su objetivo de restaurar y proteger los ecosistemas naturales (European Union, 2020). Dentro de las recomendaciones que pueden ser usadas para este proyecto se incluyen:

- La optimización del uso del agua: en este se promueve la implementación de tecnologías que reduzcan el consumo del agua y su reciclaje. European Union (2020). Esto puede implicar que se implementen sistemas de reutilización del agua en las operaciones lecheras, con el fin de minimizar el impacto sobre la laguna de Fúquene.
- Prevención de la contaminación: en este se recomienda establecer sistemas de gestión de residuos que reduzcan la contaminación potencial. La correcta separación y tratamiento de residuos junto a la gestión adecuada de aguas residuales son

fundamentales para evitar la liberación de contaminantes, como en el caso de la Laguna de Fúquene, que, a raíz de esto, presenta una proliferación de maleza invasora como el buchón.

- Monitoreo y regulación: se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo para verificar el cumplimiento de las normas de calidad del agua y asegurar que las prácticas de manejo de residuos cumplan con los estándares internacionales. Para de esta forma, que el agua contaminada que se libere genere el menor impacto sobre el medio ambiente.

Desde una perspectiva internacional, Colombia se adhiere al Acuerdo de Escazú, ratificado en 2022, en el que se marcó un hito en términos de transparencia y acceso a la información ambiental. Este acuerdo internacional busca asegurar que las decisiones ambientales sean tomadas con una participación de los ciudadanos, garantizando que se respeten los derechos de las comunidades a ser informadas y a participar en procesos que impacten ya sea directa o indirectamente en su entorno (CEPAL, 2022).

Para la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene, esto significa que cualquier plan de acción de residuos debe ser comunicado de manera efectiva a las comunidades locales y otros actores interesados, asegurando que todas las partes tengan la oportunidad de conocer los detalles de las intervenciones y sus posibles impactos.

Según el acuerdo de Escazú, la participación pública es un pilar fundamental para la gestión sostenible de los recursos naturales. Esta participación debe buscar facilitar y promover de forma inclusiva, para de esta forma garantizar que todos los diferentes actores involucrados, especialmente las voces de las comunidades afectadas sean escuchadas y consideradas (CEPAL, 2022).

El acuerdo de Escazú también aborda el acceso a la justicia en asuntos ambientales, estableciendo que los países firmantes deben proporcionar mecanismos que sean adecuados para que las personas puedan recurrir a las autoridades judiciales en caso de que se vean afectados sus derechos ambientales (CEPAL, 2022). En relación con la Laguna de Fúquene,

este principio no solo refuerza la obligación de las autoridades locales de brindar canales claros y asequibles para cualquier afectado por prácticas inadecuadas de manejo de residuos, sino que también busca que los afectados cuenten con herramientas que los respalden ante cualquier queja o demanda legal.

Uno de los enfoques más importantes del Acuerdo de Escazú, es en el que se reconoce el derecho a todas las personas a vivir en un medio ambiente sano, limpio y sostenible, donde se establece que los países deben adoptar todas las medidas necesarias para proteger ese derecho (CEPAL, 2022).

### **6.6.2 Políticas Locales de Saneamiento y protección Ambiental**

La protección de la Laguna de Fúquene requiere la implementación de políticas locales adecuadas que aborden tanto el saneamiento como la conservación del medio ambiente. La CAR es la entidad que está generando planes que buscan recuperar la laguna, por medio de diferentes medidas, como las siguientes:

- Control de vertidos y tratamiento de aguas residuales, para este se han implementado medidas para controlar los vertidos de aguas residuales en la laguna. Esto incluye la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios aledaños (CAR, 2018).
- Restauración de ecosistemas, para este, se están llevando a cabo proyectos de restauración ecológica en la cuenca de la laguna para de esta forma recuperar áreas degradadas y mejorar de esta forma sus ecosistemas circundantes que en algún momento tuvieron un ecosistema rico y variado (CAR, 2018).
- Gestión de residuos, para esto la CAR a promovido la correcta gestión de residuos en la región enfocándose en la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, también se han establecido programas para la recolección y disposición adecuada de residuos sólidos (CAR, 2018).
- Monitoreo y regulación ambiental, para esto la CAR ha fortalecido el monitoreo y la regulación ambiental para asegurar el cumplimiento de las normativas relacionadas con

la conservación de la laguna. Esto incluye inspecciones periódicas y la aplicación de sanciones para quienes no cumplan con las regulaciones (CAR, 2018).

- Educación y participación comunitaria, se han desarrollado iniciativas para educar a la comunidad local sobre la importancia de la conservación de la laguna y fomentar su participación en las actividades de protección ambiental (CAR, 2018).

## **6.7 Estudios y Casos análogos de Referencia**

La industria lechera produce una gran cantidad de residuos orgánicos y líquidos que, si no se manejan adecuadamente, pueden continuar afectando seriamente los ecosistemas locales, especialmente los cercanos a las fuentes de agua (Hussain, 2022). En el caso de la Laguna de Fúquene en Colombia, este problema ha ganado importancia debido al aumento de la actividad agropecuaria y su efecto en la calidad del agua y la biodiversidad (CAR, 2024). Es por esto por lo que es clave la implementación de la economía circular, que fomenta la reutilización de residuos para mermar la utilización de recursos naturales, disminuir el impacto ambiental y proponer soluciones que permitan que esos residuos se conviertan en productos que le aporten al sistema productivo en otra fase.

### **6.7.1 Investigaciones Académicas y Científicas Relevantes**

Las investigaciones científicas han avanzado significativamente en el desarrollo de estrategias sostenibles para la implementación de la industria circular en la industria lechera, abordando problemas clave como la eutrofización, el uso de biodigestores y el compostaje (Callan J. Glover et al., 2023). Un estudio reciente de Callan J. Glover et al. (2023), explora los efectos de los residuos de la industria lechera en la calidad del agua, en este estudio se subraya la necesidad de implementar plantas que se encarguen del tratamiento de las aguas residuales y de esta forma mitigar el impacto negativo de estos desechos en cuerpos hídricos. Este estudio concluyó que la implementación de estas plantas puede reducir significativamente los nutrientes que se vierten en el agua como el fósforo y el nitrógeno, que en exceso pueden causar eutrofización, lo que deteriora la calidad del agua, la biodiversidad de esta y el ecosistema que rodee el cuerpo hídrico.



También el estudio realizado por V. Burg et al. (2022), evalúa el uso de biodigestores como solución para transformar los residuos lecheros en biogás, lo que presenta una alternativa de energía renovable. En este estudio se destaca que la utilización de biodigestores reduce la dependencia de combustibles fósiles y disminuye los gastos operativos a largo plazo (V. Burg et al., 2022).

Un análisis realizado por Ahmad et al. (2019) se enfoca en el potencial que presenta la utilización de estos desechos para el compostaje permite generar una gestión de los residuos sólidos de la industria lechera. Esta investigación demuestra que el compostaje no solo reduce la cantidad de residuos enviados a los vertederos, sino que también genera compost de alta calidad como fertilizante en las tierras agrícolas, lo que le devuelve nutrientes a la tierra, recompensando un poco la afectación generada (Ahmad et al., 2019).

Los estudios nombrados anteriormente demuestran que la adopción de tecnologías que permitan implementar la economía circular en la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene va a lograr que la industria genere estrategias sostenibles para toda la cadena de producción, reduciendo el impacto ambiental y sumando beneficios económicos.

### **6.7.2 Análisis de Casos de Éxito en Gestión de Residuos**

La creciente demanda de productos de la industria lechera en diversos países impulsa el crecimiento de la industria lo que, a su vez, incrementa la generación de residuos, como por ejemplo el suero, los lodos lácteos y las aguas residuales, que provienen de los procesos de fabricación, limpieza y sanitización (K. Bella & P. Venkateswara Rao, 2021). Estos residuos son ricos en nutrientes y presentan altas concentraciones de demanda biológica (DBO) y química de oxígeno (DQO), además de contener materiales orgánicos e inorgánicos (Ahmad et al., 2019).

El desarrollo de un aprovechamiento sostenible en la industria lechera se ha vuelto muy importante para mejorar la gestión de recursos. Con este enfoque se promueve el uso de nuevas tecnologías y abonos orgánicos, haciendo un gran aporte al medio ambiente. De igual

forma, la adopción de prácticas eficientes ha logrado una reducción en los residuos que se generan por la industria lechera.

Sin embargo, el sector lechero enfrenta desafíos relacionados con la implementación de iniciativas específicas cuyo objetivo sea mitigar el impacto ambiental de los residuos. Estas iniciativas no solo deben centrarse en la reutilización de los residuos, sino que a su vez también generen nuevas oportunidades económicas integrando sostenibilidad y eficiencia. Lo que, en conjunto, abre nuevas oportunidades para un desarrollo responsable de parte de la industria.

Uno de los grandes referentes es el programa adoptado por una cooperativa de industria lechera en Nueva Zelanda, que logro reducir el 90% de sus residuos mediante la implementación de un sistema circular que recicla los subproductos, como el suero de la leche, utilizándolos para la producción de biogás. Por lo que este biogás no solo genera una alternativa de reutilización para estos residuos, sino que genera energía para las diferentes operaciones de producción de la cooperativa lechera y a su vez reduce la huella de carbono producida por esta industria (Romera et al., 2020).

En Dinamarca, una granja lechera adopto la economía circular, implementando un sistema de gestión de residuos que convierte los desechos orgánicos en compost y fertilizantes. Este enfoque que tomo la granja no solo permite mejorar la calidad del suelo, sino que también reduce la dependencia de fertilizantes químicos. (Oliveira et al., 2021). De igual forma, en Australia

Se han presentado propuestas, como la de utilizar el suero lácteo en la alimentación de animales, como por ejemplo para engordar a los cerdos, que, debido a su sistema digestivo de alta resistencia, tiene la capacidad de absorber micotoxinas, competir e inhibir la actividad y desarrollo de moho y bacterias peligrosas para su salud. (Araujo Guerra et al., 2013).

## **6.8 Metodologías para la investigación**

### 6.8.1 Glosario

- **Biol:** Fuente natural de nutrientes para las plantas.
- **Biomasa:** Materia orgánica de origen animal o vegetal que puede usarse como fuente de energía.
- **BPA:** Buena Prácticas Agropecuarias.
- **Codigestión:** Digestión anaerobia conjunta de dos m más sustratos de diferente origen.
- **COV's:** Compuestos orgánicos volátiles. Que contenga Carbono y participe en reacciones fotoquímicas atmosféricas

Exitoso en régimen termofílico y mesofílico.

- **DA:** Digestión Anaeróbica.
- **Digestatos:** Material residual que se genera a partir de la digestión anaeróbica.
- **Efluente:** Abono orgánico líquido proveniente de la biodigestión anaeróbica.
- **Fango:** Lodo glutinoso formado por agua estancada.
- **ESG:** Environmental Social and Governance. Factores Ambientales, Sociales y de buen Gobierno.
- **ETS:** Emissions Trading System. Sistema de Comercio de Emisiones.
- **FNCER:** Fuentes No Convencionales de Energía Renovable.
- **FORSU:** Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos.
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero
- **Lípidos:** Grasas de origen animal.
- **Lixiviados:** Líquidos que circulan en los residuos de los vertederos. Al producirse la descomposición y fermentación de los residuos.
- **MO:** Materia Orgánica.
- **Miscible:** Propiedad de dos sustancias que al mezclarse forman una solución homogénea.
- **NAR:** Normalización de Aguas Residuales.
- **PNCTE:** Programa Nacional de Cuotas de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
- **Purines:** Excrementos de animales mezclados con agua. Estiércol y/u orina.
- **RNP:** Vertederos de Residuos No Peligrosos.
- **RO:** Residuos orgánicos.

- **RP:** Vertederos de Residuos Peligrosos.
- **RSU:** Residuos Sólidos urbanos.

### 6.8.2 Metodología para usar

Canales et al. menciona que la biomasa [en la presente investigación será residuos agro-lecheros] se degrada aerobiamente [en ausencia de oxígeno] por acción de bacterias y microorganismos que actúan sobre ella. Donde se obtienen productos como biogás y otros productos. Para lograr tal transformación hay varias tecnologías de la digestión anaerobia. (p. 747-748)

Al hablarse de tecnologías de la digestión, se debe incluir a los biodigestores. La empresa ACD Desarrollos los define como una tecnología que le da otra oportunidad a los residuos de forma sostenible. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

Para ACD Desarrollos (2023) “la clasificación de los biodigestores puede variar dependiendo del tipo de material orgánico que se utiliza, tamaño y el diseño”. Ellos coinciden en que la clasificación más usada es por el sistema de carga y descarga. Los cuales pueden ser discontinuo, mezcla total y de contacto. Discontinuo o por lotes: Una vez cargado el sistema no se puede volver a alimentar de residuos hasta que termina su proceso. Semicontinuo: Son alimentados diariamente por una carga parcial y tienen unos tiempos establecidos para la descarga. El uso más común es para ir depurando el agua contaminada y la generación es casi diaria.

Mezcla total o mezcla completa: Las cargas frecuentes de residuos se mezclan con el contenido que está en el biodigestor con lo cual genera diariamente salida de biogás y elixiación [Líquidos que se produce de la descomposición y fermentación de los residuos]o también para la presente investigación esa elixiación puede ser llamado efluente [Abono orgánico líquido proveniente de la biodigestión anaeróbica].

Hay una clasificación adicional que ofrece (EcoInventos, 2022) la cual llama biodigestores de flujo de presión y en ella lo describe como un digestor tubular horizontal en cuyos

extremos tiene el sistema de carga y descarga. Es ideal para excretas humanas y/o desperdicios de sacrificios de animales que llevan un prolongado tiempo, el autor menciona que es de bajo costo y familiar.

La Red de Biodigestores para Latino América y el Caribe RedBioLAC menciona que los biodigestores familiares y de bajo costo son muy buenos para la salud y economía de las familias porque el biogás es una energía renovable y las personas que cocinaban con leña no tendrán problemas de salud por la inhalación del humo. Además, esa tecnología es barata, requiere poco mantenimiento y es accesible a pequeños y grandes productores.

### **6.8.3 Diagnóstico Ambiental**

Las (Naciones Unidas, 2015b) establecieron los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en el cual todos los países del mundo se comprometieron a cumplir los 17 ODS antes del año 2030. Por tal compromiso la República de Colombia en la Ley 2111 de 2021, 2021) creó un Sistema Integral donde incluye todas las leyes previas para cumplir estratégicamente dicho acuerdo con los sectores público-privado y, adicionó la Ley 2273 de 2022 en la cual ratifica el acuerdo de Escazú.

La nación colombiana encabezada por DNP el actualizó la planeación de 2022-2026, la cual llamó Colombia potencia mundial de la vida y estableció los planes donde establece protección de los ecosistemas de forma integral, hidrografía, forestación con la ayuda de la población. Con la participación ciudadana, campesina quiere fortalecer la institucionalidad, relación estado-ciudadano.

Con la restauración participativa de los ecosistemas y ayuda de infraestructura público-privada adaptadas al cambio climático. Se quiere mejorar la bioeconomía, reindustrializar con tecnologías de convergencia y afrontar el cambio climático. (DNP, 2023a)

### **6.8.4 Metodologías Participativas para la Gestión Comunitaria**

El estado colombiano declaró en el plan del DNP, 2023 que desea implementar medidas para fortalecer el vínculo Estado-Ciudadanía y combatir la corrupción con transparencia,

digitalización, innovación e inclusión. De acuerdo con DNP el estado seguirá las recomendaciones y buenas prácticas dadas por la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OCDE) para mejorar el Gobierno digital con ayuda de la modernización tecnológica. (pp.237:239)

Colombia creó la (Ley 1844, 2017) en la cual se aprobó el Acuerdo de París. Adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París Francia. En dicha ley establece un Sistema de Comercio de Emisiones (ETS). Fue llamado en dicha ley Programa Nacional de Cuotas de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (PNCTE). El propósito es recibir compensación del impuesto al carbono, comercio internacional bajo el artículo 6 del Acuerdo de París, participación en mercados voluntarios de carbono MinAmbiente (2017)

Los bancos (Banco de Bogotá; Grupo Bancolombia, 2024) tienen líneas de préstamos sostenibles, dentro de cada una de ellas hay según el cliente y/o empresa un préstamo o leasing adecuado. Ese tipo de préstamo o leasing tiene unos beneficios como tasas de interés, asistencias técnicas experta en la identificación de proyectos, asesoría en la obtención de beneficios tributarios, asesoría y acompañamiento especializada que le conviene a la sociedad colombiana.

## **6.9 Límites y Alcance del Proyecto**

### **6.9.1 Limitación Geográfica y Temporal**

De acuerdo con las coordenadas dadas por (Google, 2024) el municipio de Fúquene Cundinamarca, Colombia está ubicado en las siguientes coordenadas:

Latitud: 5.404300949696466 y Longitud: -73.79507844861233

La limitación geográfica está sujeta a las personas que hacen parte de la Asociación ASOPRONEM de Fúquene y que tienen un predio en esa Zona lagunar llamada Fúquene, Cucunubá y Palacio, que corresponde la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)

Solo a partir de la entrega del documento y anexos del presente trabajo investigativo se podrá empezar a aplicar El Plan de Acción del manejo de Residuos de la Asociación ASOPRONEM de Fúquene. Adicional, es bueno resaltar que dependerá en gran medida de la ejecución del plan si tiene el visto bueno (VoBo) de la asociación y sus integrantes.

El presente trabajo podría ser de fácil escalabilidad para ser aplicado en otros lugares geográficos de Colombia y/o Latinoamérica que sean del mismo sector agropecuario y tengan las mismas características de agro-lechería.

### **6.9.2 Enfoque Multidisciplinario**

La comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2022) en el acuerdo regional de Escazú es un instrumento jurídico en protección ambiental y un tratado de derechos humanos para la región. Cuyo objetivo es garantizar el acceso a la información oportuna y adecuada y que puedan participar en las decisiones que afectan sus vidas y el entorno (pp. 7-8).

Según CEPAL (2022) el enfoque basado en los derechos con el cual podría superar el flagelo de la corrupción dando transparencia, apertura y participación de cada ciudadano. (p. 8), Con ello se puede interpretar que la multidisciplinariedad se da porque incluye a todas las personas de la región Latino Americana y del Caribe. Con ello se comprometen personas de todos los sectores económicos y se financiarían gracias al apoyo público y privado.

## **7 ANÁLISIS DE RESTRICCIONES**

Este plan de acción enfrenta diversas restricciones que deben ser abordadas de forma cuidadosa, para garantizar que sea viable. Estas restricciones incluyen aspectos ambientales, económicos, legales, de salud, seguridad y socioculturales. A continuación, se presenta un análisis detallado de cada una de estas restricciones.

### **7.1 Restricciones Ambientales**

- **Contaminación del Ecosistema:** La gestión inadecuada de residuos puede continuar afectando la calidad del agua y la biodiversidad de la laguna, lo que limita las opciones para cualquier intervención o mejora.
- **Biodiversidad Reducida:** La pérdida de especies y el deterioro del hábitat natural pueden restringir las prácticas sostenibles que se intenten implementar.

## **7.2 Restricciones Económicas**

- **Costos de Implementación:** La inversión necesaria para adaptar o construir instalaciones adecuadas para el tratamiento de residuos puede ser elevada, lo que representa un desafío financiero para la asociación.
- **Modelo Económico Circular:** La transición hacia un modelo de economía circular puede requerir recursos adicionales para investigación y desarrollo de productos a partir de residuos, lo cual puede ser un obstáculo si no se cuenta con financiamiento adecuado.

## **7.3 Restricciones Legales**

- **Cumplimiento Normativo:** Es esencial cumplir con las regulaciones ambientales locales e internacionales, lo que puede limitar algunas prácticas si no se ajustan a estas normativas. (EcoLabel, 2023)
- **Requisitos de Licencias:** La obtención de permisos y licencias necesarios para operar instalaciones de tratamiento puede ser un proceso largo y complicado.

## **7.4 Restricciones Sociales**

- **Resistencia Comunitaria:** Puede haber resistencia por parte de los miembros de la comunidad o la asociación a adoptar nuevas prácticas debido a falta de información o miedo al cambio.



## 7.5 Restricciones Técnicas

- **Capacitación y Educación:** Es necesario implementar programas educativos continuos para asegurar que todos los miembros comprendan y adopten las nuevas prácticas, lo cual puede ser un desafío logístico y temporal.
- **Infraestructura Inadecuada:** La falta de instalaciones adecuadas para el tratamiento y almacenamiento de residuos puede limitar la efectividad del plan propuesto.

## 7.6 Restricciones de Salud y Seguridad

- **Riesgos Sanitarios:** La gestión inadecuada de residuos puede generar problemas de salud pública en las comunidades cercanas, lo que podría llevar a una mayor regulación y supervisión por parte de autoridades sanitarias.
- **Condiciones Laborales:** Las condiciones inseguras en el manejo de residuos pueden poner en riesgo a los trabajadores, lo que requiere atención especial en el diseño del plan.

# 8 METODOLOGÍA

## 8.1 Diseño de la investigación

El plan de acción utiliza un diseño de investigación cuantitativo, usando método de análisis de datos técnicos sobre los biodigestores para evaluar su adecuación al contexto local. Esto permite identificar soluciones viables para el manejo de residuos en la asociación ASOPRONEM de la laguna de Fúquene.

### **Enfoque, alcance y diseño de la investigación**

El enfoque cuantitativo, permite realizar un análisis detallado de los datos técnicos de los biodigestores, como la capacidad de producción de biogás, costos de implementación y mantenimiento, y tiempo de retorno de la inversión. Estos datos proporcionarán una base sólida para poder comparar las distintas opciones tecnológicas y seleccionar aquellas más

adecuadas para las necesidades de la ASOPRONEM.

Este tipo de análisis proporciona una visión integral del problema, permitiendo no solo seleccionar la solución técnica más eficiente, sino también asegurar que, de esta forma, el proyecto sea factible y adecuado para las condiciones de la comunidad.

### **8.1.1 Ubicación temporal y espacial**

La investigación se llevará a cabo en la región de la laguna de Fúquene, ubicada entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, donde se encuentra la asociación ASOPRONEM de Fúquene, el principal sujeto de estudio. Esta área ha sido seleccionada debido a su relevancia tanto ecológico como productiva, ya que las actividades agropecuarias de la región, especialmente la producción lechera, que tiene un impacto significativo en el ecosistema local.

Temporalmente, el estudio abarcará un período de varios meses, en el cual se analizará la situación actual del manejo de residuos por parte de la ASOPRONEM, con especial atención en los biodigestores como posible solución. Los datos cuantitativos serán recolectados y analizados dentro de este plazo, para de esta forma ofrecer conclusiones que puedan aplicarse en un corto plazo. El marco temporal está orientado a obtener una implementación efectiva del plan de acción de residuos antes de que finalice el año.

## **8.2 Población y muestra**

La población del estudio está formada por los productores de la asociación ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene. Se seleccionarán miembros activos en la producción lechera como sujetos de estudio. La muestra incluirá varios modelos de biodigestores utilizados en contextos similares, para evaluar su viabilidad en la región.

### **8.2.1 Población**

La población de este estudio está conformada por los 22 asociados (Ver anexo1) productores

agropecuarios que integran la asociación ASOPRONEM de la laguna de Fúquene. Estos productores tienen fincas lecheras en los alrededores de la laguna y generan residuos derivados de sus actividades, como estiércol y aguas residuales, que contribuyen a la contaminación del ecosistema. La población objetivo incluye a todos los miembros de la asociación que participan activamente en la producción lechera y que, por ende, son responsable del manejo de residuos. Su participación es fundamental para evaluar las prácticas actuales y diseñar soluciones sostenibles que se alineen con las características y necesidades de la región.

### 8.2.2 Muestra

La muestra estará compuesta por los miembros de la asociación ASOPRONEM de la laguna de Fúquene. Se seleccionarán entre 15 y 20 productores lecheros que representan una diversidad de características, tales como:

- **Tamaño de las fincas:** Para asegurar que se incluyan tanto pequeños como medianos productores.
- **Tipo de residuos generados:** Considerando las diferentes prácticas de manejo en las fincas.
- **Experiencia previa** con tecnologías de manejo de residuos, incluidos biodigestores.

Esto permitirá una visión amplia sobre las necesidades y expectativas de los productores en relación con la implementación de biodigestores, así como su disposición a adoptar nuevas tecnologías.

Se seleccionará una muestra representativa de los diferentes biodigestores que puedan ser implementados por la asociación ASOPRONEM de la laguna de Fúquene. La selección se basará en una combinación de criterios como:

- Capacidad del biodigestor para procesar los residuos de las fincas lecheras.
- Costo de instalación y mantenimiento en relación con las capacidades económicas de los productores.
- Adaptabilidad a las condiciones locales (clima, tipo de residuos, tamaño de las fincas).

Se seleccionarán tres modelos de biodigestores ya implementados en otras regiones similares

o recomendados por estudios previos sobre manejos de residuos en el sector agropecuario. Estos modelos serán evaluados a través de datos técnicos obtenidos de fuentes secundarias confiables. Esta muestra proporcionará un marco comparativo para determinar cuál biodigestor es el más adecuado para las necesidades de la ASOPRONEM.

### **8.3 Recolección de datos**

La recolección de datos se realizará por medio de encuestas, que permitan conocer tanto las necesidades de los diferentes actores de ASOPRONEM como entender los puntos de mejora del plan de acción.

### **8.4 Análisis de datos**

El análisis de datos es fundamental para interpretar los resultados de esta investigación y extraer conclusiones significativas. Se llevará a cabo un enfoque cuantitativo con diseño experimental e instrumento cuestionario, permitiendo evaluar tanto la eficacia de los biodigestores como las percepciones y necesidades de los miembros de ASOPRONEM en relación con el manejo de residuos.

#### **8.4.1 Análisis Cuantitativo**

En esta sección se analizarán los datos técnicos recopilados sobre los diferentes modelos de biodigestores. Se empleará estadística descriptiva para comparar factores como:

- **Costos de instalación:** Evaluación del costo inicial y mantenimiento a largo plazo.
- **Eficiencia en la producción de biogás:** Medición del volumen de biogás producido en relación con la cantidad de residuos procesados.
- **Capacidad de tratamiento de residuos:** Análisis de la cantidad y tipo de residuos que cada biodigestor puede manejar.

Este análisis facilitará la identificación del biodigestor más adecuado para las condiciones específicas de la asociación ASOPRONEM en la Laguna de Fúquene.

##### **8.4.1.1 Análisis Cualitativo**

La recolección de datos cualitativos se realizará mediante encuestas dirigidas a los miembros de ASOPRONEM. Estas encuestas incluirán preguntas que te permitirán comprender:

- **Las necesidades y expectativas** respecto al uso y funcionamiento de los biodigestores.
- **Puntos de mejora del plan de acción**, considerando las experiencias previas en el manejo de residuos.

La encuesta constará de 20 preguntas, divididas en 10 cuantitativas (que abordarán aspectos numéricos como la cantidad de vacas, tamaño de producción, etc.) y 10 cualitativas (que explorarán percepciones y sugerencias).

#### **VARIABLES PARA CONSIDERAR:**

- **Miembros de ASOPRONEM:** Todos los miembros registrados en el acta constitutiva.
- **Cantidad de vacas por finca:** Importante para determinar el volumen potencial de estiércol generado.
  - **Tamaño de producción:** Clasificación del productor como pequeño, mediano o grande, lo que influye en la cantidad total de residuos generados.

### **8.5 Análisis de estadística descriptiva**

De acuerdo con el diseño del instrumento se recogió la información para procesar y analizar la información de la Asociación ASOPRONEM. Se recolectó la información en Microsoft Form una herramienta de la Suite de Microsoft. Suite que usa la Universidad Ean y se les compartió a los asociados por medio del vicepresidente de la Asociación señor Roberto Forero Paez y también por medio de la contadora y asistente de la Asociación señora Valentina Pinilla. Ellos distribuyeron la encuesta por medio de redes sociales, específicamente usaron el grupo de WhatsApp de la asociación para hacer llegar la encuesta a todos.

Se procesó y analizó la información recolectada por el 100% del Universo. En este caso al ser un Universo de 22 asociados fue necesario aplicar la muestra igual al Universo, ello por recomendaciones técnicas estadísticas. Logrando así, que el nivel de confianza sea mayor al 95% que es lo mínimo y muy cerca del 99%. Se realizó estadística descriptiva a los resultados recolectados y la cual se encuentra en el anexo adjunto llamado “2. Estadística realizada, encuestas.xlsx”.

Se puede destacar de los resultados que:

El 91% de los asociados estarían dispuestos a implementar un Plan para reducir costos y cuidar el medio ambiente mejorando las prácticas de los residuos.

El 68% de los asociados gasta mensualmente entre CO\$417000 y CO\$1250000 en disposición de residuos.

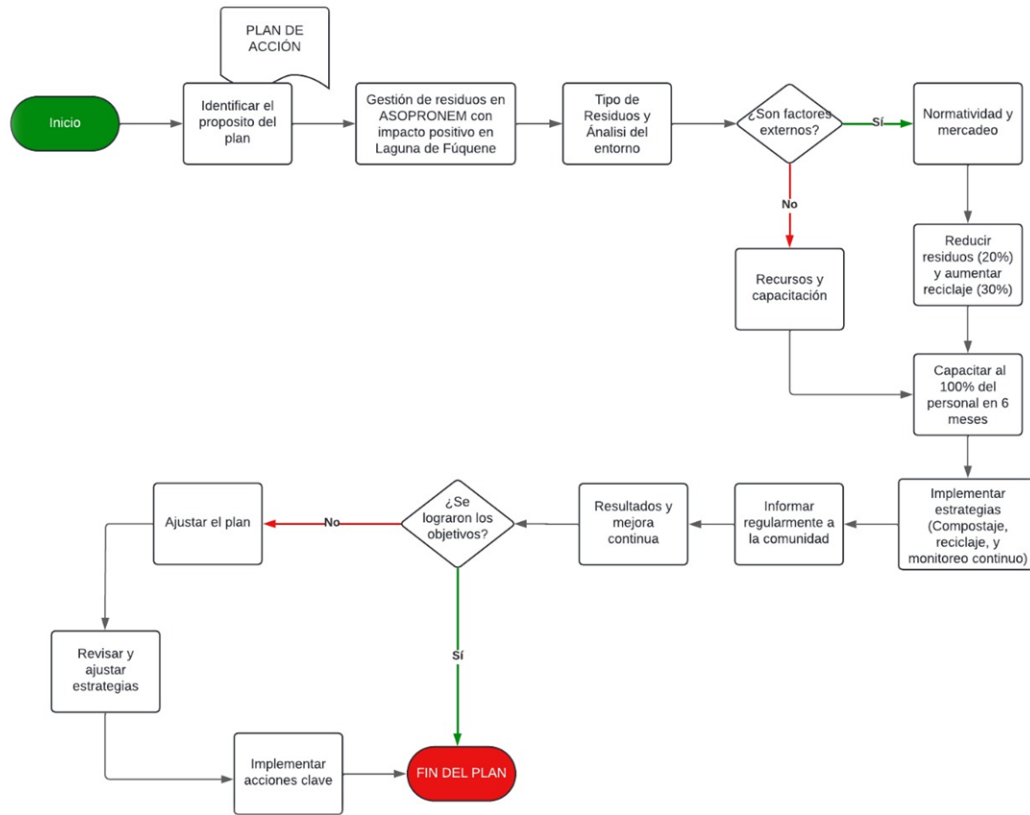
El 77% de los asociados gasta mensualmente entre COP\$208000 y COP\$625000 en compra de fertilizantes. Otro beneficio es que la cantidad de empleados que tiene los asociados oscila entre tres a siete personas y la cantidad de vacas que tiene ellos pueden suplir la necesidad de Biogás ya que la cantidad de excretas de los pequeños productores sería suficiente para suplir y reemplazar el servicio de gas metano por el Biogás que generará el biodigestor.

Esos hallazgos permiten evidenciar que si los asociados implementan el Plan de Acción planteado-económica y ecológicamente verán en mediano plazo muy buenos resultados.

## **9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

A continuación, se presenta un diagrama de flujo que refleja el plan de acción el cual hace parte de la solución de ingeniería del presente proyecto.

Figura 2. Diagrama de flujo del plan de acción (prototipo)



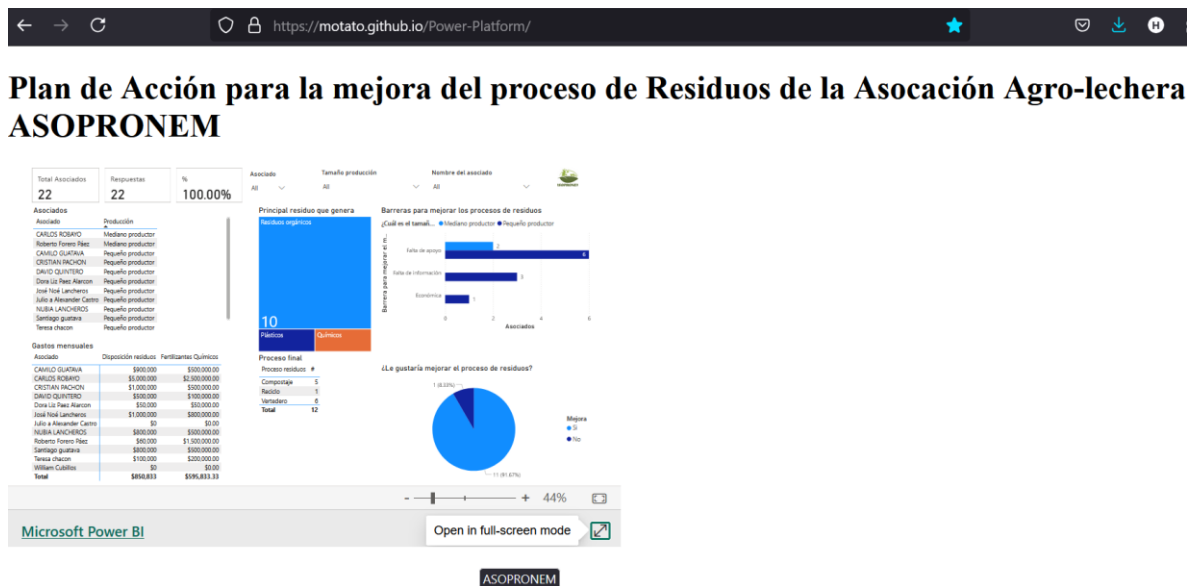
Fuente: Elaboración propia de los autores.

## 9.1 Resultados obtenidos

A lo largo del desarrollo del plan de acción, se lograron resultados relevantes que respaldan la viabilidad técnica y práctica del prototipo, basados en la información compartida, las conversaciones sostenidas con los miembros de la ASOPRONEM y la retroalimentación de los expertos.

## Diseño y simulaciones

Figura 3. Insights de los datos del instrumento.



Fuente. Elaboración propia de los autores. Diseñado en Power BI. Recuperado de <https://motato.github.io/Power-Platform/>

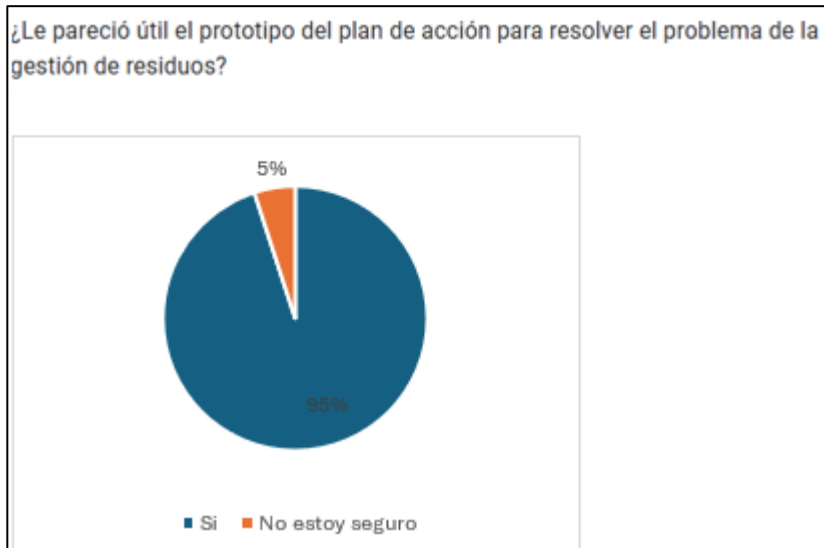
Los usuarios pueden ver los insights que se desarrollaron gracias al análisis de la información recolectada en el instrumento de encuestas realizado a la comunidad de la asociación. Los insights, están diseñados en un Power BI que está accesible al público gracias a que está alojado en un hosting y website de Hernán Montoya, el cual es uno de los autores del presente proyecto. El reporte es interactivo, cualquier usuario que use la url proporcionada en la fuente de la imagen anterior podrá tener detalles acordes a la información que quiera filtrar.

- Transformación teórica de residuos: a partir de los datos recogidos en la investigación, se estimó que el prototipo podría transformar eficientemente los diferentes residuos de la ASOPRONEM en biogás y compost, proyectando una reducción significativa de residuos contaminantes.
- Proyección de impacto ambiental: según la proyección realizada, la implementación del prototipo reduciría el volumen de los desechos orgánicos en hasta un 30 o 40%, disminuyendo la contaminación no solo en el terreno sino también en la laguna de Fúquene.



## Aceptación comunitaria

Figura 4. Gráfico de resultados obtenidos por encuesta



Fuente. Elaboración propia de los autores.

A través de las encuestas realizadas a los miembros de la ASOPRONEM, se evidenció un 95% de percepción positiva sobre la utilidad del prototipo y un 85% de expectativa respecto a las posibilidades de impacto y mejora ambiental. Esto refuerza su alineación con la necesidad de buscar y darle solución a esta problemática que ha generado la contaminación sobre la laguna de Fúquene y alrededores.

### Cumplimiento de objetivos proyectados

Aunque el prototipo no se implementó físicamente, los resultados proyectados y las expectativas de los usuarios reflejan un cumplimiento teórico de los objetivos planteados en un principio, posicionando el plan de acción como una solución técnica viable.

**Ver anexo:** 2. Estadística realizada, encuestas.xlsx, hoja preguntas cualitativas 2.

### Encuesta final

#### a) Opinión general sobre el plan de acción

El plan de acción presenta una sólida aceptación entre los encuestados:

- Un 85% lo calificó como excelente, mientras que el 15% lo considero bueno.
- El 90% recomendaría el plan a otros miembros de la comunidad, reflejando un alto nivel

de confianza en su efectividad y alcance.

**b) Accesibilidad económica**

La percepción sobre el costo revela un punto crítico:

- El 50% considera que el prototipo es económicamente accesible, mientras que el otro 50% cree que su implementación depende de incentivos o ayudas externas. Este hallazgo evidencia la necesidad de explorar apoyos gubernamentales para poder garantizar su adopción en la comunidad.

**c) Utilidad y contribución ambiental**

El impacto ambiental se posiciona como el atributo más valorado:

- El 95% de los encuestados está seguro de que el plan de acción es útil para lograr abordar los problemas de gestión de residuos, y el 85% considera que con el plan de acción se contribuirá directamente a mejorar las condiciones ambientales de la comunidad.
- En cuanto a la ASOPRONEM y la laguna de Fúquene, el 65% clasifica el plan de acción como una solución muy importante para su cuidado, mientras que el 35% lo considera importante lo que reafirma su alineación con objetivos de sostenibilidad.

**d) Comprensión del prototipo**

El prototipo del plan de acción es accesible y comprensible para la ASOPRONEM:

- Un 50% calificó su funcionamiento como muy fácil de entender y el otro 50% los consideró fácil. Esto genera un incentivo para durante la implementación del plan de acción continuar con lo propuesto y mejorar de acuerdo con lo que se vaya observando que la comunidad requiera para poder garantizar la comprensión y adopción del plan de acción.

**9.2 Análisis comparativo de biodigestores para el plan de acción**

Durante el desarrollo del proyecto, se realizó el análisis sobre tres tipos principales de biodigestores para identificar el más adecuado según las condiciones ambientales, económicas y sociales para la ASOPRONEM. A través de este análisis se realizó una revisión detallada de las características, ventajas y desventajas y aplicaciones de cada

modelo, considerando las necesidades específicas de los productores locales.

### **Biodigestor familiar**

Este modelo está diseñado para el uso en fincas pequeñas, que cuentan con la capacidad para procesar residuos generados por un número reducido de animales, residuos agrarios y producir biogás para consumo doméstico (Miogas, 2024).

#### **Ventajas:**

- **Bajo costo de implementación:** este biodigestor es ideal para pequeños productores con recursos limitados.
- **Fácil instalación:** este biodigestor no requiere de equipos completos ni personal especializado.
- **Producción directa de energía:** cubre con las necesidades energéticas básicas, como lo es la cocción de alimentos.

#### **Desventajas:**

- **Capacidad limitada:** no es recomendado para fincas que tengan una alta producción de residuos.
- **Mantenimiento frecuente:** requiere de limpieza regular para así evitar obstrucciones.

**Conclusión respecto a este modelo:** este modelo es una opción viable para los pequeños productores, contribuyendo al manejo básico de residuos y a la reducción de costos energéticos.

### **Biodigestor comunitario**

En cuanto al biodigestor comunitario, está diseñado para ser compartido por varias fincas o una comunidad entera, optimizando recursos y promoviendo la colaboración entre la misma comunidad (Miogas, 2024).

#### **Ventajas:**

- **Mayor capacidad:** procesa residuos de múltiples fincas, aumentando de esa forma

la eficiencia.

- **Impacto ambiental significativo:** debido a que permite reunir un mayor número de desechos, reduce la contaminación en áreas con alta densidad de producción agro-lechera.
- **Optimización de costos:** permite distribuir el costo de instalación y mantenimiento entre varios usuarios.

#### **Desventajas:**

- **Gestión compartida:** requiere de la coordinación entre los diferentes miembros de la comunidad, lo que puede generar conflictos.
- **Infraestructura más compleja:** demanda espacio y acceso adecuado para su instalación.
- **Difícil manejo de residuos:** debido a que es un solo biodigestor para varias fincas, puede ser complicada la recolección y transporte de los residuos hasta el punto en el que se encuentra el biodigestor.

**Conclusión:** el biodigestor comunitario es ideal para áreas en las que los productores estén organizados y dispuestos a colaborar, ofreciendo un balance entre capacidad y costo.

#### **Biodigestor industrial**

Este tipo de biodigestor industrial está diseñado para manejar grandes volúmenes de residuos, siendo adecuado para cooperativas, plantas de procesamiento o fincas grandes (Miogas, 2024).

#### **Ventajas:**

- **Alta capacidad:** procesa grandes cantidades de estiércol y lactosuero, maximizando así la producción de biogás y fertilizantes.
- **Eficiencia energética:** genera energía escala, apta para operaciones grandes e industriales.
- **Reducción masiva de residuos:** minimiza de forma significativa el impacto ambiental debido a su alta capacidad de procesamiento.

### Desventajas:

- **Altos costos iniciales:** requiere de una inversión inicial significativa en cuanto a infraestructura y tecnología.
- **Mantenimiento especializado:** se requiere capacitar al personal que se vaya a encargar de su operación.

**Conclusión:** este modelo es adecuado para grandes fincas, cooperativas o industrias que buscan una solución integral para la gestión de residuos.

### 9.2.1 Selección del modelo

Tabla 20 Comparación general biodigestores

Comparación general			
Criterio	Familiar	Comunitario	Industrial
Capacidad	Baja	Moderada	Alta
Costo inicial	Bajo	Moderado	Alto
Facilidad de operación	Alta	Moderada	Baja
Facilidad de operación	Alta	Moderada	Baja
Impacto ambiental	Local	Regional	A gran escala

Fuente. Elaboración propia de los autores.

Para el desarrollo del plan de acción, se dejaron dos opciones viables para la implementación, estas son el biodigestor familiar y el biodigestor industrial. La exclusión del biodigestor comunitario se fundamenta en los desafíos logísticos y operativos que este modelo presenta en el contexto rural de la laguna de Fúquene.

### 9.2.2 Razones para descartar el biodigestor comunitario

Aunque este biodigestor ofrece ventajas en cuanto a términos de uso compartido y reducción de costos iniciales, enfrenta limitaciones importantes:

- **Complejidad en cuanto al transporte de residuos:** la necesidad de trasladar el estiércol y el lactosuero desde varias fincas hasta un punto central en el que este el biodigestor, eleva los costos para el proceso y requiere de una infraestructura que no siempre estará disponible.
- **Gestión complicada:** coordinar el uso y mantenimiento del biodigestor entre varias personas de la comunidad puede generar conflictos, especialmente en la asignación del

biogás producido y la responsabilidad de las tareas de mantenimiento.

- **Limitación del impacto local:** a diferencia del biodigestor familiar, el biodigestor comunitario no descentraliza los beneficios, dificultando que cada finca optimice el uso de los residuos generados.

### 9.2.3 Ventajas del biodigestor familiar

El biodigestor familiar se considera mejor opción para pequeños y medianos productores, esto debido a:

- **Gestión autónoma:** con este biodigestor, cada finca puede manejar sus propios residuos, reduciendo costos operativos y logísticos.
- **Bajo costo y simplicidad:** es accesible para familias que cuenten con recursos limitados, con una instalación sencilla y un mantenimiento básico.
- **Beneficio directo:** este biodigestor genera biogás suficiente para lograr satisfacer necesidades domésticas, como la cocción de alimentos y fertilizantes para los cultivos.

### Ventajas del biodigestor industrial

Este biodigestor, fue seleccionado como solución para las fincas con una producción grande, que cuenten con capacidad para manejar grandes volúmenes de residuos. Sus beneficios incluyen:

- **Capacidad de procesamiento:** es adecuado para grandes fincas que generen altos volúmenes de estiércol, lactosuero y demás residuos agrícolas.
- **Producción energética a gran escala:** permite abastecer de energía a instalaciones grandes y producir fertilizantes en grandes cantidades.

### 9.2.4 Conclusión general sobre los biodigestores

La elección del biodigestor familiar e industrial para el plan de acción garantiza su adaptabilidad a las condiciones y capacidades de los miembros de la ASOPRONEM. Estas dos opciones permiten maximizar el impacto ambiental positivo, reducir costos operativos y facilitar la adopción por parte de la comunidad. Al excluir el biodigestor comunitario, se asegura la eficiencia operativa y se evitan complicaciones logísticas que podrían comprometer los resultados del plan de acción. Este enfoque equilibrado busca responder a las necesidades locales y asegura que el proyecto sea viable a corto y largo plazo.

### 9.3 Validación técnica

Figura 5 Feedback experta en Biodigestores



Fuente. Elaboración propia de los autores. Tomado de la charla con la experta Erika Jiménez.

Recuperado de <https://shorturl.at/nEhfh>

Para poder realizar la validación del prototipo de nuestro plan de acción, contamos con la asesoría de Erika Jiménez, ella es una experta en biodigestores con amplia experiencia en soluciones ambientales para hogares y empresas. Erika quien trabaja en DISTRILATAM, ha participado en la V feria Verde de Bogotá en el año 2024 y gracias a su experiencia ofreció valiosas recomendaciones basadas en casos reales.

El proceso incluyó dos conversaciones telefónicas realizadas en 21 de noviembre de 2024, en la se le compartieron los objetivos del proyecto y se dio la discusión respecto a los diferentes aspectos técnicos y logísticos. Por medio de esta validación se tuvo la oportunidad de contrastar las ideas principales del plan de acción, con la experiencia práctica de Erika y así abordar posibles desafíos desde una perspectiva profesional.

### 9.4 Aspectos técnicos identificados

- Recolección del estiércol: (Jiménez, 2024) desde su experiencia, indicaba que uno de los mayores retos para los pequeños productores es recoger el estiércol necesario para

alimentar el biodigestor, esto debido a que cuando las vacas están en pastoreo, se dificulta recoger el estiércol, por lo que lo recomendable, es recogerlo cuando se encuentren en el área de ordenamiento.

- Mantenimiento del biodigestor: Jiménez (2024) también enfatizó en la importancia de realizar revisiones diarias a las válvulas y trampas de ácido sulfhídrico, además del vaciado periódico, nos hizo la recomendación de hacer este proceso cada año y máximo cada dos años, dependiendo del uso.
- Diseño recomendado: Jiménez (2024) propuso biodigestores individuales de flujo continuo por ser más económicos, manejables y adaptables al tamaño de cada finca.

### **9.5 Viabilidad del proyecto**

- Para los pequeños productores, Jiménez (2024) recomendó que lo mejor, es que cada finca cuente con su propio biodigestor, ya que compartir los equipo puede terminar generando inconvenientes logísticos, para transportar el estiércol y los diferentes residuos.
- Para los productores medianos, la recomendación fue la de complementar los biodigestores con sistemas de compostaje y lombricultura, aprovechando así los residuos vegetales para producir fertilizantes orgánicos.

### **9.6 Recomendaciones clave**

- Instalar tanques de entrada de 500 a 1000 litros y salida de 250 litros para simplificar la operación del biodigestor.
- Considerar espacios de 10x3 metros para el montaje de biodigestores de 8 metros.
- Implementar sistemas de lombricultura para así transformar residuos agrícolas en fertilizantes líquidos y sólidos.

### **9.7 Integración de las recomendaciones en el prototipo del plan de acción**

Parte de los comentarios realizados por parte de la experta Erika Jiménez, fueron enfocados directamente al diseño final del prototipo:



- Especificaciones del biodigestor  
Capacidad: 8 metros para pequeños productores.  
Espacio requerido: 10x3 metros.  
Sistema de entrada y salida mejorado con tanques de 500 a 1000 litros y 250 litros, respectivamente para así permitir que se facilite la operación diaria.
- Documentación complementaria  
Se desarrolló un registro de anomalías y evaluación semanal para monitorear el rendimiento del biodigestor y asegurar así su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo.
- Protocolo del compostaje  
Para los residuos vegetales, se recomienda la implementación de camas de lombrices, promoviendo la producción de fertilizantes orgánicos líquidos y sólidos.

## 9.8 Impacto técnico y práctico

Para comenzar con el impacto técnico y práctico cabe destacar que la selección del prototipo se hizo previamente. Es bueno aclarar, que la elección del biodigestor fue la solución de ingeniería que se obtuvo gracias a los hallazgos en el marco teórico. Por ello, para elegir el tipo de biodigestor adecuado para la asociación se tuvo en cuenta 10 variables. Cada variable tiene un peso y un puntaje asignado. Ver imagen a continuación:

Figura 6 Elección biodigestor para la asociación

Conjunto	Variable	Evaluación del tipo de Biodigestor			Peso
		Biodigestor a pequeña escala	Biodigestor a mediana escala	Biodigestor a gran escala	
Evaluación de las necesidad de la comunidad	Requerimiento energético	1	1	1	3
Evaluación de las necesidad de la comunidad	Disponibilidad de desperdicios orgánicos	10	10	10	5
Consideración de condiciones ambientales	Clima	10	10	10	5
Consideración de condiciones ambientales	Condiciones de la tierra y agua	10	10	10	2
Análisis de viabilidad económica	Costo	10	7	5	5
Análisis de viabilidad económica	Financiamiento y subsidios	10	10	10	5
Evaluación socila y factores técnicos	Participación de la comunidad	10	5	5	4
Evaluación socila y factores técnicos	Soporte técnico	10	7	5	5
Ejecución de la prueba piloto	Testeo del prototipo	10	7	7	5
Ejecución de la prueba piloto	Retroalimentación y ajustes	10	7	7	5
<b>Elección</b>		<b>413</b>	<b>333</b>	<b>313</b>	

Peso: 1 a 5  
Puntos: 1 a 10  
Semáforo: el menor resultado: rojo, el medio: amarillo, el más alto: verde

Fuente. Elaboración propia de los autores.

Por lo tanto, la lectura de la imagen anterior permite determinar que el biodigestor a pequeña escala es el adecuado para los asociados de ASOPRONEM. Para darle un mejor entendimiento y facilidad a los usuarios le llamamos biodigestor familiar, el cual es un

nombre más adecuado para los agricultores y que incluso es más conocido así en los países de habla hispana.

En efecto, el impacto técnico del prototipo desarrollado a lo largo del plan de acción ha sido significativo para el contexto del problema abordado. Esto nos lleva, a que la implementación del biodigestor no solo presenta una solución viable para la gestión de residuos, sino que también ofrece un enfoque innovador que puede transformar los desechos orgánicos en recursos valiosos. La proyección de que el prototipo podría reducir el volumen de desechos orgánicos en un 30% a 40% es un indicativo claro de su potencial para disminuir la contaminación, tanto en el terreno como en la Laguna de Fúquene.

La aceptación comunitaria, evidenciada por el 95% de percepción positiva sobre la utilidad del prototipo, refuerza su alineación con las necesidades de los miembros de ASOPRONEM. Esto sugiere que la solución propuesta no solo es técnicamente viable, sino que también cuenta con el respaldo y la expectativa de los usuarios respecto a su impacto positivo en el medio ambiente. Además, aunque el prototipo no se ha implementado físicamente, los resultados proyectados reflejan un cumplimiento teórico de los objetivos planteados al inicio del proyecto, posicionando el plan de acción como una solución técnica viable y práctica.

## **9.9 Análisis crítico**

A pesar de los resultados positivos obtenidos, es importante reflexionar sobre las limitaciones del prototipo y la solución inmediata propuesta. Uno de los principales desafíos identificados es la recolección del estiércol necesario para alimentar el biodigestor. Este proceso puede ser complicado para los pequeños productores, especialmente cuando las vacas están en pastoreo, lo que dificulta la recolección eficiente del estiércol. Por lo tanto, se recomienda establecer un sistema organizado para la recolección del estiércol cuando los animales estén en áreas designadas.

Además, aunque se ha validado técnicamente la viabilidad del biodigestor y se han propuesto recomendaciones específicas para su diseño y mantenimiento, es crucial considerar la accesibilidad económica para los pequeños productores. La inversión inicial en biodigestores

puede ser una barrera; por lo tanto, se sugiere explorar opciones de financiamiento o subsidios que faciliten su adopción.

Otra área de mejora radica en la necesidad de capacitación continua para los asociados sobre el manejo adecuado del biodigestor y los sistemas complementarios como el compostaje y lumbricultura. Implementar programas educativos que aborden estos temas puede aumentar la efectividad del sistema propuesto y asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

Finalmente, aunque el proyecto tiene un alto potencial para ser escalado a otros sectores agropecuarios, es fundamental realizar estudios adicionales sobre la adaptabilidad del prototipo en diferentes contextos y condiciones operativas. Esto permitirá ajustar el diseño y las prácticas recomendadas para maximizar su rendimiento y efectividad en diversas situaciones.

#### **9.10 Prototipo del plan de acción**

Como parte del presente proyecto, se desarrolló un plan de acción detallado que presenta una guía para la comprensión e implementación de su puesta en acción. Este plan se centra en proponer e implementar estrategias basadas en la economía circular, como lo es el uso de biodigestores para transformar residuos en biogás y fertilizantes, acompañado de prácticas como el compostaje y la reutilización de aguas residuales.

Incluye un enfoque colaborativo, considerando la capacitación de los productores, el cumplimiento de normativas ambientales y la promoción de alianzas con entidades gubernamentales y ONGs para garantizar su sostenibilidad. Además, el plan contempla indicadores clave para así, lograr medir el impacto ambiental y económico, junto con acciones de mejora continua que lo convierten en un modelo replicable para más comunidades.

Además, se ha diseñado un folleto informativo, incluido como anexo, que ofrece un resumen visual y práctico del prototipo, destacando sus beneficios ambientales y económicos. Ambos materiales representan un soporte esencial para los asociados de la ASOPRONEM en el proceso de adopción de este plan de acción.

## 10 ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos es esencial para evaluar la viabilidad y efectividad del "Plan de Acción de Residuos" propuesto para la Asociación ASOPRONEM. Este análisis no solo identifica los costos asociados a la implementación del plan, sino que también proporciona una guía clara sobre las inversiones necesarias para mejorar el manejo de residuos en las actividades lecheras. A continuación, se presenta un desglose de los costos que los asociados deberán considerar al implementar las acciones recomendadas en el prototipo.

### 10.1 Costos iniciales

Los costos iniciales son aquellos gastos necesarios para comenzar la implementación del plan. Incluyen:

#### 10.1.1 Equipos y Herramientas

Los equipos necesarios para implementar el plan incluyen herramientas y maquinaria que faciliten el manejo y tratamiento de residuos.

Tabla 21. Costos del biodigestor

Concepto	Cantidad Estimada	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)
<b>Metros Plástico para biodigestor</b>	7 metros	\$24.000	\$168.000
<b>Metros de cobija sintética</b>	5 metros	\$17.000	\$85.000
<b>Kit de accesorios de salida de gas</b>	1 kit	\$45.000	\$45.000
<b>Metros de poli sombra Azul al 80%</b>	5 metros	\$16.500	\$82.500
<b>Galón de microorganismos eficientes</b>	1 galón	\$128.000	\$128.000
<b>Total</b>			\$508.500

Fuente: Elaboración Propia

## 10.2 Costos operativos

Los costos operativos son aquellos gastos recurrentes necesarios para mantener el sistema de gestión de residuos una vez implementado. Incluyen:

### 10.2.1 Mano de Obra

La mano de obra incluye los costos asociados a los trabajadores que participarán en la implementación del plan, así como en la capacitación del personal sobre manejo adecuado de residuos.

- **Personal para Implementación:**
- **Operadores:** Personas encargadas del manejo diario del sistema de gestión de residuos.
- **Capacitación:** Costos relacionados con la formación del personal sobre prácticas sostenibles.

Tabla 22. Costos de contratación del personal operador

Costo	Porcentaje (%)	Costo Total (COP)
Salario	0	\$1.671.900
Auxilio de transporte	0	\$162.000
Salud	8.50	\$142.112
Pensión	12	\$200.628
ARL	0.52	\$8.694
Parafiscales	9	\$150.471
Prima	8.33	\$139.269
Cesantías	8.33	\$139.269
Int de cesantías	12	\$16.712
Vacaciones	4.17	\$69.718
Dotaciones	2	\$35.946
<b>Total, Costo Mensual</b>		<b>\$2.715.325</b>

Fuente: Elaboración Propia de los autores.

Tabla 23. Costos de mano de obra

Concepto	Cantidad Estimada	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)
Operadores	(4) 1 mes	\$2.715.325	\$10.861.300

personas)			
<b>Capacitación</b>	10 horas	\$100.000	\$1.000.000
<b>Total</b>			\$11.861.300

Fuente: Elaboración propia de los autores.

### 10.2.2 Materias Primas

Las materias primas necesarias para implementar el plan de acción de residuos incluyen insumos para el tratamiento y manejo de residuos generados por las actividades lecheras.

- **Materiales para Compostaje:**
- **Estiércol:** Utilizado como materia prima principal para el compostaje.
- **Restos de Alimentos:** Desperdicios generados en las fincas que pueden ser compostados.
- **Materiales Carbonosos:** Como aserrín o paja, que ayudan a equilibrar la mezcla en el compost.
- **Materiales para Recolección y Almacenamiento:**
- **Contenedores:** Para la recolección y separación de residuos sólidos.
- **Bolsas biodegradables:** Para el manejo adecuado de residuos orgánicos.

Tabla 24 Costos de materias primas

Concepto	Cantidad Estimada	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)
<b>Estiércol (compostaje)</b>	5 toneladas	\$100.000	\$500.000
<b>Restos de alimentos</b>	2 toneladas	\$150.000	\$300.000
<b>Materiales carbonosos</b>	1 tonelada	\$200.000	\$200.000
<b>Contenedores</b>	10 unidades	\$50.000	\$500.000
<b>Bolsas biodegradables</b>	200 unidades	\$1.000	\$200.000
<b>Total</b>			\$1.700.000

Fuente: Elaboración Propia de los autores.

## Cálculo de Costos

Figura 7 Cálculo de costos

CALCULO DE COSTOS						
PLAN DE ACCIÓN DE RESIDUOS PARA LA ASOCIACIÓN ASOPRONEM DE LA LAGUNA DE FÚQUENE						
Tiempo Indefinido						
Ítem	Detalle	Cantidad	Unidades	Costo unitario	Costo total	Tipo de costo
1	Inversión total para la compra de contenedores y bolsas biodegradables	200	Unidades	\$ 1.000,00	\$ 200.000,00	Capital
2	Servicio de asesoría para la identificación de necesidades en manejo de residuos	15	horas	\$ 150.000,00	\$ 2.250.000,00	Directo
3	Capacitación del personal sobre manejo adecuado de residuos	10	horas	\$ 100.000,00	\$ 1.000.000,00	Directo
4	Nómina del operador encargado del manejo diario de residuos	2	personas	\$ 2.715.325,00	\$ 5.430.650,00	Directo
5	Nómina del asistente administrativo para gestión documental y logística	2	personas	\$ 2.715.325,00	\$ 5.430.650,00	Directo
6	Servicio de energía utilizada para las operaciones del plan (estimación mensual)	12	meses	\$ 200.000,00	\$ 2.400.000,00	fijo
7	Canon de arrendamiento del lugar para almacenamiento temporal de insumos	12	meses	\$ 1.500.000,00	\$ 18.000.000,00	fijo
8	Materiales para compostaje (estiércol, restos orgánicos, materiales carbonosos)	-	-	\$ 1.500.000,00	\$ 1.500.000,00	Directo
9	Publicidad y sensibilización sobre el plan de acción en la comunidad	-	-	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00	Directo
10	Biodigestores	1	Unidades	\$ 508.500,00	\$ 508.500,00	Directo
<b>Total</b>		<b>254</b>	<b>-</b>	<b>\$ 11.390.150,00</b>	<b>\$ 38.719.800,00</b>	
<b>Costo total plan de acción</b>					<b>\$ 38.719.800,00</b>	
<b>Precio de venta</b>					<b>\$ 50.000.000,00</b>	
<b>Rentabilidad</b>					<b>29,13%</b>	

Fuente: Elaboración Propia de los autores.

El análisis muestra que el "Plan de Acción de Residuos" tiene un potencial significativo no solo para generar rentabilidad, sino también para promover prácticas sostenibles en la Asociación ASOPRONEM y mejorar la salud ambiental en la Laguna de Fúquene. Con una rentabilidad proyectada del 29.13%, el proyecto es viable y puede atraer inversiones que apoyen su implementación.

Es fundamental realizar un seguimiento continuo a los costos y ajustar el presupuesto según sea necesario durante la ejecución del plan, garantizando así su éxito y sostenibilidad a largo plazo en beneficio tanto del ecosistema como de las comunidades locales que dependen de él.

## 11 CONCLUSIONES

El proyecto logró cumplir los objetivos planteados, logrando avances significativos en la gestión de residuos de la Asociación Agro-lechera ASOPRONEM de la Laguna de Fúquene. A continuación, se presenta una síntesis de los resultados, aspectos novedosos, grado de cumplimiento de los objetivos, reflexiones sobre la metodología utilizada, limitaciones identificadas y las proyecciones futuras:

### 11.1 Síntesis de los resultados

Se realizó un diagnóstico integral de las prácticas actuales de manejo de residuos en la asociación, lo que permitió identificar problemas clave y oportunidades de mejora. Este análisis detallado sirvió como base para proponer soluciones innovadoras adaptadas a las necesidades de ASOPRONEM.

Uno de los logros más relevantes fue confirmar la viabilidad de implementar biodigestores al 100% en las fincas asociadas. Este sistema transformará los residuos orgánicos en productos de alto valor, como fertilizantes naturales y biogás, permitiendo reducir los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y optimizar los recursos disponibles en la asociación.

El Plan de Acción desarrollado promueve prácticas sostenibles que no solo disminuyen la contaminación, sino que también generan beneficios económicos. Se estima que los asociados podrían ahorrar hasta un 80% en fertilizantes comerciales y reemplazar completamente el uso de gas metano por biogás producido localmente.

### 11.2 Aspectos novedosos del proyecto

Este proyecto se distingue por integrar la tecnología de biodigestores con un enfoque de economía circular, maximizando el aprovechamiento de los residuos agropecuarios. Además, la propuesta incluye la introducción de lombricultura para tratar residuos vegetales, generando fertilizantes sólidos y líquidos de manera complementaria.

Otra novedad importante es el diseño personalizado de biodigestores según las capacidades



y necesidades de cada productor, lo que asegura una mayor adaptabilidad y éxito en la implementación.

### **11.3 Cumplimiento de los objetivos**

El proyecto alcanzó sus objetivos principales:

- Diagnosticar las prácticas actuales de manejo de residuos en ASOPRONEM.
- Validar técnicamente la implementación de biodigestores como solución principal.
- Diseñar un plan estratégico para transformar los residuos en productos útiles y sostenibles.

### **11.4 Discusión sobre la metodología empleada**

La metodología utilizada, basada en encuestas aplicadas a los 22 asociados, fue efectiva para identificar necesidades y diseñar soluciones específicas. Este enfoque permitió recopilar datos representativos y garantizar que el proyecto respondiera directamente a las problemáticas locales. Sin embargo, incluir entrevistas o talleres participativos podría haber enriquecido el análisis al capturar perspectivas más detalladas de los asociados.

### **11.5 Limitaciones del proyecto**

- Enfoque local: Aunque el proyecto se centra en ASOPRONEM, su aplicación directa a otros contextos requerirá ajustes específicos.
- Infraestructura inicial: Algunas fincas carecen de espacios adecuados para instalar los biodigestores, lo que podría retrasar su implementación.
- Capacitación: El éxito del proyecto depende de una formación intensiva para garantizar que los asociados manejen correctamente los biodigestores y comprendan sus beneficios.

### **11.6 Proyecciones y posibilidades futuras**

- Expansión del modelo: Las soluciones propuestas pueden replicarse en otros sectores agropecuarios, como el agro-porcino o agro-avícola, con ajustes específicos para cada contexto.
- Comercialización de subproductos: A mediano plazo, ASOPRONEM podría generar ingresos adicionales mediante la venta de fertilizantes orgánicos y biogás a terceros.
- Monitoreo ambiental: Establecer indicadores de impacto ambiental permitirá medir la

- reducción de contaminantes y los beneficios ecológicos del proyecto a largo plazo.
- Mejoras tecnológicas: Incorporar herramientas digitales o sistemas automatizados en los biodigestores podría optimizar su operación y facilitar el mantenimiento.

## ANEXOS

Folleto plan de acción.pdf

Plan de acción.pdf

## REFERENCIAS

- ACD Desarrollos. (2023a, February 3). *Tipos de biodigestores: ¿Cuál es la mejor opción?*  
<https://www.desarrollosacd.com/tipos-de-biodigestores-cual-es-la-mejor-opcion/>
- ACD Desarrollos. (2023b, February 3). *Tipos de biodigestores: ¿Cuál es la mejor opción?*  
<https://www.desarrollosacd.com/tipos-de-biodigestores-cual-es-la-mejor-opcion/>
- Achucarro, L. A. (2020). Dinámica de degradación de estiércol y digerido bovino en dos suelos del sudoeste bonaerense. *Universidad Nacional Del Sur*.  
<https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/5371/Achucarro%20%20Lucas%20Trabajo%20de%20Intensificaci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2018). *El agua es vida*.
- AgroSpray. (2022). Economía Circular y Agro, el Binomio Productivo del Futuro.  
*AgroSprayBlog*. <https://agrospray.com.ar/blog/economia-circular/>
- Ahmad, T., Muhammad Aadil, R., Ahmed, H., Rahman ur, U., Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q., Pimentel, T. C., Scudino, H., Guimarães, J. T., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Almada, R. B., Vendramel, S. M. R., Silva, M. C., & Adriano G. Cruz. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *ScienceDirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224418309208>
- Altadill-Colominas, R., Andrés-Payán, A. M., Bruno, A., Bruno, J., Canales-Rojas, A. M., Cortes-Lucas, A., Díez-Barnabé, G., Castells, X. E., Feliudaló-Molins, J., Flotats-Ripoll, X., & Palmer, P. F. (2012). *Reciclaje de Residuos Industriales* (X. Elias, Ed.; 2nd ed.). Díaz de Santos. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=10025>
- Álvarez Nicolliello, N. O., & Carballo, N. (2021). Metodología, diseño, población y muestra: del manejo de los Residuos orgánicos en actividades agropecuarias. *Revista Ambientis Occidentales*, 03, 01–10.  
<http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ambientis/article/view/1259/1136>
- Banco de Bogotá. (2024). *Productos Sostenibles*.
- Callan J. Glover, Alyssa McDonnell, Kimberly S. Rollins, Sage R. Hiibel, & Pablo K. Cornejo. (2023, January 4). Assessing the environmental impact of resource recovery from dairy manure. *ScienceDirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722027232>

- Canales, Á. M., Elías, X., & Herrero, M. (2012). Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales. In X. Elías (Ed.), *Reciclaje de residuos industriales* (2nd ed., pp. 720–806). Díaz\_de\_Santos.
- CAR. (2018). *Plan de manejo ambiental distrito regional de manejo integrado complejo lagunar Fúquene, Cucunubá y Palacio*.  
<https://www.car.gov.co/uploads/files/5f385b3d36402.pdf>
- CAR. (2023). *Informe de Gestión 2023 enero - diciembre*.  
<https://www.car.gov.co/uploads/files/65f497abb2049.pdf>
- CAR. (2024). *Caso Emblemático - OPUB - Desecación Laguna de Fúquene*.  
<https://oaica.car.gov.co/vercaso2.php?id=41>
- CEPAL. (2022). *Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe*.
- Constitución Política de Colombia, Decreto 298 (2016).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=68173>
- Constitución Política de Colombia, Decreto 1076 (2015).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>
- Constitución Política de Colombia, Decreto 2811, Pub. L. No. 2811 (1974).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>
- Constitución Política de Colombia, Decreto 3930 (2010).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620>
- Constitución Política de Colombia, Ley 23 (1973).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=9018>
- Constitución Política de Colombia, Ley 99 (1993). <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>
- Constitución Política de Colombia, Ley 164 (1994).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=21970>
- Constitución Política de Colombia, Ley 373 (1997).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=342>
- Constitución Política de Colombia, Ley 629 (2000). <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/2.-Ley-629-de-2000.pdf>
- Constitución Política de Colombia, Ley 1333 (2009).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36879>
- Constitución Política de Colombia, Ley 1844 (2017).  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=69870>
- Constitución Política de Colombia, Ley 1844 de 2017 (2017).  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=69870>
- Constitución Política de Colombia, Ley 1931 (2018).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765>
- Constitución Política de Colombia, Ley 2111 (2021).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=167988>
- Constitución Política de Colombia, Ley 2111 de 2021 (2021).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=167988>
- Constitución Política de Colombia, Ley 2273 (2022).  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=129713>
- Constitución Política de Colombia, Ley 2273 de 2022 (2022).  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=129713>

- Constitución Política de Colombia, Ley 2294 (2023).  
[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=209510#:~:text=ART%C3%8DCULO%2019.&text=El%20Gobierno%20nacional%20determinar%C3%A1%20el,Nacional%20de%20Reincorporaci%C3%B3n%20\(CNR\).](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=209510#:~:text=ART%C3%8DCULO%2019.&text=El%20Gobierno%20nacional%20determinar%C3%A1%20el,Nacional%20de%20Reincorporaci%C3%B3n%20(CNR).)
- Constitución Política de Colombia, Resolución No. 0631 (2015).  
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>
- Constitución Política de Colombia, Resolución No. 1023 (2005).  
[https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sostenibilidad\\_sectores\\_productivos/res\\_1023\\_280705\\_adopcion\\_general.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sostenibilidad_sectores_productivos/res_1023_280705_adopcion_general.pdf)
- Constitución Política de Colombia, Resolución No. 1256 (2021).  
[https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion\\_minambienteds\\_1256\\_2021.htm](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambienteds_1256_2021.htm)
- Constitución Política de Colombia, Resolución No. 3585 (2008).  
[https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/compilacion/docs/resolucion\\_ica\\_3585\\_2008.htm](https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/compilacion/docs/resolucion_ica_3585_2008.htm)
- de Miguel, C., Martínez, K., & Kohout, M. (2021). Economía circular en América Latina y el Caribe. *CEPAL*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5fceda72-3fed-4ace-bb87-5688547cf2f5/content>
- DNP. (2023a). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, Potencia Mundial de la Vida*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf>
- DNP. (2023b). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, Potencia Mundial de la Vida*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf>
- EcoInventos. (2022, July 8). *Clasificación de Biodigestores*.  
<https://ecoinventos.com/clasificacion-de-biodigestores/>
- EcoLabel. (2023). Cumplimiento de Normatividad Nacional e Internacional. *ECOLABEL*.  
<https://www.ecocertify.org/es/eco-label/compliance-with-national-and-international-regulations/>
- European Union. (2020). Circular economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe. *European Commission*, 28. <https://doi.org/10.2779/05068>
- Gómez-Castañeda, D. C., García-Corredor, D. F., Reyes-Garavito, G. K., Lache-Aparicio, J. R., & Vega-Garzon, L. P. (2021, June 8). Análisis de Perfiles Espacio Temporales de Parámetros Físico-Químicos de la Calidad del Agua en la Laguna de Fúquene, Cundinamarca. *Ingenio Magno*, 11 (2), 8–28.  
<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2177>
- Google. (2024, September 22). *Ubicación geográfica Municipio Fúquene Cundinamarca*. Goolemaps. <https://maps.app.goo.gl/Mda56yiDPzmfNWL39>
- Grajales Bobadilla, E. A. (2024). Que ocasiona la contaminación del agua; una amenaza silenciosa para la vida. *Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables Fundación Universitaria Los Libertadores*.  
[https://www.researchgate.net/profile/Edwin-Grajales/publication/381157218\\_Que\\_ocasiona\\_la\\_contaminacion\\_del\\_agua\\_una\\_amenaza\\_silenciosa\\_para\\_la\\_vida/links/665fa32c2f32b240a56694fb/Que-ocasiona-la-contaminacion-del-agua-una-amenaza-silenciosa-para-la-vida.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Edwin-Grajales/publication/381157218_Que_ocasiona_la_contaminacion_del_agua_una_amenaza_silenciosa_para_la_vida/links/665fa32c2f32b240a56694fb/Que-ocasiona-la-contaminacion-del-agua-una-amenaza-silenciosa-para-la-vida.pdf)
- Grupo Bancolombia. (2024). *Líneas Sostenibles*.
- Guerrero-García, P. K. (2014). Dos siglos de desecación en Laguna de Fúquene

- (Colombia): Impactos en la pesca artesanal. *Agua y Territorio*, 4, 47–58.  
<https://doi.org/10.17561/at.v1i4.2163>
- Guzmán Carrillo, C. A. (2016). Lugares Sagrados. *Simijaca Remembranza, Historia y Tradición Oral*, 8–9. <https://www.calameo.com/read/00502667469937d02af69>
- Hussain, G. (2022, September 14). What Are the Environmental Impacts of Dairy Farming? *Sentient Climate*. <https://sentientmedia.org/the-dairy-industry-environment/>
- Jiménez, E. (2024, November 23). *Feedback experta en biodigestores Erika Jiménez de DISTRILADAM*.
- Jiménez Hernández, M. P., Méndez Pardo, C. A., & Rodríguez Romero, L. M. (2020). Estrategias de sostenibilidad para disminuir el conflicto socioambiental de la laguna de fúquene generado por la industria ganadera municipio de Fúquene - Cundinamarca. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Del Medio Ambiente y Recursos Naturales Especialización En Ambiente y Desarrollo Rural*. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/ccf4c3d5-f474-48bc-8772-f5631ce706ff/content>
- K. Bella, & P. Venkateswara Rao. (2021). Anaerobic digestion of dairy wastewater: effect of different parameters and co-digestion options—a review. *SpringerLink*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-020-01247-2>
- Méndez, C., Jiménez, M., & Rodríguez, Lady. (2020). *Estrategias de Sostenibilidad para Disminuir el Conflicto Socioambiental de la Laguna de Fúquene Generado por la Industria Ganadera, Municipio de Fúquene - Cundinamarca (2006 - 2023)* [Universidad Distrital]. <http://hdl.handle.net/11349/26082>
- MinAmbiente. (2017). *Programa Nacional de Cupos Transables*. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/programa-nacional-de-cupos-transables/>
- MinAmbiente. (2022, November 14). *La Ley que da Vida al Acuerdo de Escazú es una Realidad*. <https://www.minambiente.gov.co/la-ley-que-da-vida-al-acuerdo-de-escazu-es-una-realidad/>
- Miogas. (2024, April 29). *Biodigestores: La Clave para una Producción Sostenible de Biogás*. <https://miogas.com/blog/biodigestores-la-clave-para-una-produccion-sostenible-de-biogas/>
- Mireya Porras. (2023). Cundinamarca: Preocupante situación de disminución de la Laguna de Fúquene. *NoticiasDíaaDía*. <https://www.noticiasdiaadia.com/cundinamarca/cundinamarca-fuquene/>
- Montañez-Quiroga, D. P. (2019). Análisis de la calidad fisicoquímica de la Laguna de Fúquene. Propuesta de lineamientos para la gestión ambiental del recurso hídrico. *Pontificia Universidad Javeriana*. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/42995>
- Naciones Unidas. (2015a). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Naciones Unidas. (2015b). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Oliveira, M., Cocozza, A., Zucaro, A., Santagata, R., & Ulgiati, S. (2021). Circular economy in the agro-industry: Integrated environmental assessment of dairy products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111314. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.111314>
- ONIC. (2024). *Muisca*. ONIC. <https://www.onic.org.co/pueblos/1126-muisca>
- Paredes García, J. M., & Roldan Panaifo, D. M. (2022a). Detergentes y eutrofización en

- lagos y ríos: Una Revisión Sistemática, 2022 . *Universidad César Vallejo*.  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/93496/Paredes\\_GJM-Rold%  
 Paredes García, J. M., & Roldan Panaifo, D. M. \(2022b\). Detergentes y eutrofización en lagos y ríos: Una Revisión Sistemática, 2022 . \*Universidad César Vallejo\*.  
\[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/93496/Paredes\\\_GJM-Rold%  
 ProCycla. \\(2022, December 5\\). \\*Cómo gestionar los residuos orgánicos del sector agropecuario\\*. ProCycla. \\[https://procycla.es/blog/residuos-organicos/como-gestionar-los-residuos-organicos-del-sector-agropecuario/?utm\\\\_source=chatgpt.com\\]\\(https://procycla.es/blog/residuos-organicos/como-gestionar-los-residuos-organicos-del-sector-agropecuario/?utm\\_source=chatgpt.com\\)\]\(https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/93496/Paredes\_GJM-Rold%c3%a1n\_PDM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y\)](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/93496/Paredes_GJM-Rold%c3%a1n_PDM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Raudales-García, E. V., Acosta-Tzin, J. V., & Aguilar-Hernández, P. A. (2023). Economía circular: una revisión bibliométrica y sistemática. *Región Científica*.  
<https://rc.cienciasas.org/index.php/rc/article/view/192/145>
- RedBioLAC. (n.d.). *La digestión anaeróbica (DA)*. Retrieved September 21, 2024, from <https://redbiolac.org/biodigestores>
- Romera, A. J., Bos, A. P., Neal, M., Eastwood, C. R., Chapman, D., McWilliam, W., Royds, D., O'Connor, C., Brookes, R., Connolly, J., Hall, P., & Clinton, P. W. (2020). Designing future dairy systems for New Zealand using reflexive interactive design. *Agricultural Systems*, *181*, 102818. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2020.102818>
- RTVC. (2014, November 20). *Fúquene, la laguna que perdió el agua y la vida*. <https://www.radionacional.co/cultura/fuquene-la-laguna-que-perdio-el-agua-y-la-vida>
- Silva-Silva, D. F., Tovar-Aguilar, B. J., Velásquez-López, L. D., & Serrano-García, J. (2023). Una alternativa para el abordaje en el desecamiento de la laguna de Fúquene, Cundinamarca, Colombia. *Florida Global University USA*.  
<https://portal.amelica.org/ameli/journal/783/7834577004/>
- V. Burg, C. Rolli, V. Schnorf, V. Anspach, & G. Bowman. (2022). Agricultural biogas plants as a hub to foster circular economy and bioenergy: An assessment using substance and energy flow analysis. *ScienceDirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922006024>
- Valderrama, S. (2023). Territorio, cultura y vida en la cuenca de la Laguna de Fúquene. *Universidad Pedagógica Nacional – Fundación Humedales*.  
<https://fundacionhumedales.org/2023/06/06/territorio-cultura-y-vida-en-la-cuenca-de-la-laguna-de-fuquene/>