



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE  
**CIENCIAS APLICADAS  
A LA INDUSTRIA**

# **ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE RESIDUOS CAPRINOS**

*ESTUDIO A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD*

*Carrera: Ingeniería Química con orientación en Petroquímica*

**PROYECTO FINAL**

**AUTORES:           ING. DONAIRE, LAURA YANINA  
                          ING. VIDELA, PAOLA ARACELI**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**

**FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA**



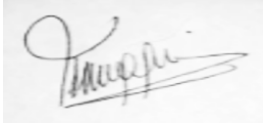
San Rafael, Mendoza, Argentina. 2024

# Análisis de Viabilidad de la Producción de Biogás y Biofertilizante a partir de Residuos Caprinos

Autoras: Donaire, Laura Yanina  
Videla, Paola Araceli

Ingeniera Química con Orientación en Petroquímica

Trabajo aprobado por:

Ing. Laura Lucero  _____ Presidente Nombre y Firma	29/04/2024 Fecha
Ing. Silvana Martinez  _____ Vocal Nombre y Firma	29/04/2024 Fecha
Ing. Ricardo Maggioni  _____ Director/a Nombre y Firma	29/04/2024 Fecha

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO  
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA**

**San Rafael, Mendoza, 2024**



## **ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE RESIDUOS CAPRINOS**

**Autores:** Donaire, Laura Yanina - Videla, Paola Araceli

**Carrera:** Ingeniería Química con Orientación en Petroquímica

**Tutor:** Ing. Maggioni, Ricardo

**Aprobado por:**

.....  
**Presidente: Nombre y firma**

.....  
**Fecha**

.....  
**Director: Nombre y firma**

.....  
**Fecha**

.....  
**Co-Director: Nombre y firma**

.....  
**Fecha**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**

**FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA**

**San Rafael - Mendoza - Argentina**

**2024**



## **AGRADECIMIENTOS**

Al llegar al final de esta etapa, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho posible la culminación de este proyecto. En primer lugar, agradecer a nuestras familias, cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar fundamental durante todo este proceso. Su amor, paciencia y motivación han sido esenciales para superar cada uno de los desafíos que se nos presentaron. También queremos agradecer a nuestros profesores por su invaluable apoyo académico y personal. Cada uno de ellos ha contribuido de manera significativa en nuestra formación profesional y personal.

A la institución, nuestra querida Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, estamos profundamente agradecidas por brindarnos las herramientas, los recursos y el entorno necesario para nuestro desarrollo y aprendizaje. Queremos hacer una mención especial para nuestro director, Ricardo Maggioni, cuya guía experta y dedicación constante han sido cruciales para la realización de este trabajo. Su paciencia, profundidad de conocimiento y rigurosidad académica han sido fundamentales para desarrollar y pulir este proyecto. Gracias por su mentoría y apoyo.

Finalmente, agradecemos a todos nuestros amigos, compañeros y a todas las personas que de una u otra forma han contribuido a la finalización de nuestra carrera con este proyecto. Cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo han sido una fuente de motivación constante para nosotras.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Evolución de la energía eléctrica producida a partir de biogás (en MWh) en Argentina. Fuente: IRENA.....	7
Figura 2.Evolución de la capacidad instalada de bioenergía a partir de biogás (en MW) en Argentina. Fuente: IRENA.....	7
Figura 3.Matriz energética de la República Argentina. Fuente: Ministerio de Energía y Minería.....	9
Figura 4.Evolución de la energía eléctrica producida a partir de biogás (en GWh) en el mundo. Fuente: IRENA.....	5
Figura 5. Evolución de la capacidad instalada de energía eléctrica a partir de biogás (en MW) en el mundo – Fuente: IRENA.....	10
Figura 6.Mapa satelital de El Sosneado. Fuente: Google Maps.....	26
Figura 7.Mapa satelital de El Parque Industrial de San Rafael. Fuente: Google Maps....	27
Figura 8.Diagrama de bloques. Fuente: Elaboración propia.....	30
Figura 9.Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas .....	35
Figura 10. Efecto de la temperatura. Fuente: manual de biogás - Maria Tresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 201.....	38
Figura 11.Dependencia del pH de la actividad metanogénica. Fuente: manual de biogás - María Tresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 201.....	40
Figura 12.Balance de masa. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 13.Clima en San Rafael. Fuente: www.weather-atlas.com.....	49
Figura 14.Layout. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 16.Diagrama de Biodigestores Semicontínuos. Fuente: Manual de biogás .....	59
Figura 17.Esquema de la tecnología del digestor continuo con geomembrana. Fuente: Manual de biogás.....	63
Figura 18.Sistema de Agitación. Fuente: Bioemia.....	68
Figura 19.Bomba. Fuente: Catálogo Varisco.....	68
Figura 20.Especificaciones técnicas de bomba seleccionada. Fuente: Catálogo Varisco	69
Figura 21.Curva caudal-altura de bomba seleccionada. Fuente: Catálogo Varisco.....	69
Figura 22.Especificaciones técnicas del caño. Fuente:Catálogo Varisco .....	70
Figura 23.Diagrama general de la planta de biogás. Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 24.Biodigestor con membrana. Fuente: Ecomembrane.com.....	72
Figura 25.Válvulas de seguridad. Fuente: Ecomembrane.com .....	73
Figura 26.Apagallamas. Fuente: Protectoseal.....	74
Figura 27.Curva característica de un ventilador. Fuente: Bioemia .....	75
Figura 28.Curva de distintos tipos de ventiladores. Fuente: Bioemia .....	76
Figura 29.Especificaciones técnicas del soplador. Fuente: Chicago Blower.....	77
Figura 30.Curva característica del soplador seleccionado. Fuente: Chicago Blower .....	78
Figura 31.Separador de sedimentos seleccionado. Fuente: Progeco.....	79
Figura 32.Quemador de los gases sobrantes. Fuente: Varec biogás .....	81
Figura 33.Caldera de agua caliente. Fuente: Termotanques y calderas Talleres Los Andes .....	84



Figura 34.Filtro de Carbón activado. Fuente: Aqua Limpia.....	85
Figura 35.Organigrama. Fuente: Elaboración propia.....	90
Figura 36.Distribución de costos fijos - Fuente: Elaboración propia .....	145
Figura 37.Distribución de costos variables - Fuente: Elaboración propia .....	148
Figura 38.Distribución entre costos fijos y variables - Fuente: Elaboración propia .....	148
Figura 39.Distribución de costos totales - Fuente: Elaboración propia .....	149
Figura 40.Punto de equilibrio - Fuente: Elaboración propia.....	152
Figura 41.Variación del VAN con el precio de venta del biogás. Fuente: Elaboración propia.....	167
Figura 42.Variación de la TIR con el precio de venta del biogás. Fuente: Elaboración propia.....	167
Figura 43.Variación del VAN con el precio de venta del biofertilizante. Fuente: Elaboración propia .....	168
Figura 44.Variación de la TIR con el precio de venta del biofertilizante. Fuente: Elaboración propia .....	169



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Composición del Biogás.....	1
Tabla 2: Valores promedios del poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás .....	2
Tabla 3: Composición química de la materia prima (valores promedios, base seca).....	3
Tabla 4: Rango de niveles de nutrientes .....	3
Tabla 5: Características cuantitativas.....	3
Tabla 6: Programa de Producción. Fuente: elaboración propia.....	19
Tabla 7: Matriz de ponderación para Macrolocalización. Fuente: elaboración propia.....	24
Tabla 8. Matriz de ponderación para Macrolocalización. Fuente: elaboración propia .....	28
Tabla 9. Procesos según la temperatura. Fuente: manual de biogás - Maria Tresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 2011 .....	37
Tabla 10. Datos experimentales del PH. Fuente: "acta universitaria" .....	40
Tabla 11. Balance de energía para precalentamiento por estación, Fuente: Elaboración propia .....	51
Tabla 12. Dimensionamiento de la antorcha. Fuente: Varec biogás.....	82
Tabla 13. Ficha de funciones Gerencia General. Fuente: Elaboración propia .....	91
Tabla 14. Ficha de funciones de Operaciones. Fuente: Elaboración propia .....	91
Tabla 15. Ficha de funciones Gerencia de Economía y finanzas. Fuente: Elaboración propia .....	92
Tabla 16. Ficha de funciones Jefe de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia .....	92
Tabla 17. Ficha de funciones Jefe de producción. Fuente: Elaboración propia .....	93
Tabla 18. Ficha de funciones Operarios de Línea. Fuente: Elaboración propia.....	94
Tabla 19. Ficha de funciones Jefe de control de calidad. Fuente: Elaboración propia.....	94
Tabla 20. Ficha de funciones Jefe de logística y distribución. Fuente: Elaboración propia .....	95
Tabla 21. Personal necesario. Fuente: Elaboración propia .....	96
Tabla 22. Clasificación de la empresa. Fuente: Argentina.gob.ar/Ministerio de economía/Industria y desarrollo productivo .....	96
Tabla 23. Especificaciones del GN. Fuente: Enargas.....	108
Tabla 24. Normas IRAM. Fuente: Elaboración propia .....	114
Tabla 25. Especificaciones del GN. Fuente: Enargas.....	115
Tabla 26. Lista de Chequeo. Fuente: Elaboración propia .....	124
Tabla 27. Lista de criterios para evaluar la importancia de los impactos ambientales. Fuente: Elaboración propia .....	124
Tabla 28. Activos fijos tangibles, Terreno. Fuente: Elaboración propia.....	128
Tabla 29. Activos fijos tangibles, Edificios e instalaciones. Fuente: Elaboración propia .....	129
Tabla 30. Activos fijos tangibles, Maquinaria y equipos. Fuente: Elaboración propia .....	131
Tabla 31. Activos fijos tangibles, Muebles y útiles. Fuente: Elaboración propia.....	131
Tabla 32. Activos fijos intangibles. Fuente: Elaboración propia .....	133
Tabla 33. Cronograma de inversiones. Fuente: Elaboración propia .....	134
Tabla 34. Cronograma de inversiones. Fuente: Elaboración propia .....	134
Tabla 35. Cronograma de inversiones. Fuente: Elaboración propia .....	135
Tabla 36. Costos fijos. Fuente: Elaboración propia .....	138
Tabla 37. Costos fijos. Fuente: Elaboración propia .....	139
Tabla 38. Costos fijos. Fuente: Elaboración propia .....	141
Tabla 39. Costos fijos. Fuente: Elaboración propia .....	141
Tabla 40. Costos fijos mano de obra. Fuente: Elaboración propia.....	142



Tabla 41. Costos fijos mano de obra. Fuente: Elaboración propia.....	143
Tabla 42. Costos fijos mano de obra. Fuente: Elaboración propia.....	144
Tabla 43. Costos fijos de servicios y costos totales fijos. Fuente: Elaboración propia .....	144
Tabla 44. Costos variables por materia prima e insumos. Fuente: Elaboración propia.....	146
Tabla 45. Costos variables por mano de obra variable. Fuente: Elaboración propia .....	146
Tabla 46. Costos variables por mano de obra variable. Fuente: Elaboración propia .....	146
Tabla 47. Costos variables por mano de obra variable. Fuente: Elaboración propia .....	146
Tabla 48. Costos variables por servicios y otros. Fuente: Elaboración propia .....	147
Tabla 49. Punto de Equilibrio. Fuente: Elaboración propia .....	151
Tabla 50. Ingresos. Fuente: Elaboración propia .....	153
Tabla 51. Ingresos. Fuente: Elaboración propia .....	153
Tabla 52. Contribución Marginal. Fuente: Elaboración propia .....	155
Tabla 53. Utilidad Anual. Fuente: Elaboración propia .....	155
Tabla 54. Flujo de Caja. Fuente: Elaboración propia.....	157
Tabla 55. Flujo de Caja. Fuente: Elaboración propia.....	158
Tabla 56. Resumen de riesgos. Fuente: Elaboración propia .....	165
Tabla 57. Sensibilidad del proyecto al precio de venta del Biogás. Fuente: Elaboración propia .....	167
Tabla 58. Sensibilidad del proyecto al precio de venta del Biofertilizante. Fuente: Elaboración propia.....	168





## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. PROPIEDADES .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1. Poder calorífico.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2. Densidad.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.3. Presión .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.4. Estabilidad .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.5. Propiedades inflamables.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS Y SUBPRODUCTOS DEL PROCESO....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.1 Materia prima: residuos de origen animal caprino .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.2. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.3. Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.4. Biofertilizante .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. MÉTODO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II: ESTUDIO DE MERCADO .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE MERCADO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. INDUSTRIA DEL BIOGÁS EN EL MUNDO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. INDUSTRIA DEL BIOGÁS EN ARGENTINA.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4. MERCADO CONSUMIDOR.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4.1. Biogás como combustible.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4.2. Producción de calor o vapor .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4.3. Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4.4. Combustible para vehículos.....</b>	<b>11</b>
<b>2.5. POSIBLE DEMANDA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.6. MERCADO PRODUCTOR DE BIOGÁS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.6.1. Principales empresas y su ubicación: .....</b>	<b>13</b>
<b>2.7. PRECIOS Y COSTOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.8. MERCADO PROVEEDOR DE MATERIA PRIMA .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO III: TAMAÑO.....</b>	<b>16</b>



<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	16
<b>3.1. FACTORES QUE DEFINEN EL TAMAÑO</b> .....	16
<b>3.1.1. Financiamiento</b> .....	16
<b>3.1.2. Punto de Equilibrio</b> .....	17
<b>3.1.3. Capacidad de inversión</b> .....	17
<b>3.1.4. Mercado</b> .....	17
<b>3.1.5. Mercado proveedor de materia prima</b> .....	18
<b>3.1.6. Recursos humanos</b> .....	18
<b>3.1.7. Tecnología</b> .....	18
<b>3.1.8. Medio ambiente</b> .....	18
<b>3.2. RESULTADO DE ANÁLISIS</b> .....	19
<b>3.3. PROGRAMA DE PRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>3.4. CONCLUSIÓN</b> .....	19
<b>CAPÍTULO IV: LOCALIZACIÓN</b> .....	20
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	20
<b>4.1. HERRAMIENTAS DE SELECCIÓN</b> .....	20
<b>4.2.1. Factores a ponderar</b> .....	22
<b>4.2.1.1. Medios y costos de transporte</b> .....	22
<b>4.2.1.2. Disponibilidad de mano de obra</b> .....	22
<b>4.2.1.3. Disponibilidad y costo de materias primas</b> .....	22
<b>4.2.1.4. Cercanía al mercado proveedor</b> .....	23
<b>4.2.1.5. Cercanía al mercado consumidor</b> .....	23
<b>4.2.1.6. Disponibilidad de terrenos</b> .....	23
<b>4.2.1.7. Disponibilidad de servicios</b> .....	23
<b>4.2.2. Matriz de Ponderación</b> .....	23
<b>4.2.2.1. Ponderación de los factores</b> .....	24
<b>4.2.3. Conclusión</b> .....	25
<b>4.3.1. Factores que influyen en la microlocalización</b> .....	25
<b>4.3.1.1. Proximidad de materia prima</b> .....	25
<b>4.3.1.2. El Sosneado</b> .....	26
<b>4.3.1.3. Parque Industrial de San Rafael</b> .....	26
<b>4.3.1.3. Disponibilidad de servicios</b> .....	27
<b>4.3.1.4. Disponibilidad de accesos de transporte</b> .....	27
<b>4.3.1.5. Costo y disponibilidad de terrenos</b> .....	27
<b>4.3.1.6. Costo de transporte</b> .....	27
<b>4.3.2. Matriz de ponderación</b> .....	27



<b>4.3.3. Descripción del sitio seleccionado</b> .....	28
<b>4.3.3.1. Infraestructura</b> .....	28
<b>4.3.3.2. Forma de contratación</b> .....	28
<b>4.3.3.3. Régimen de incentivos para la radicación de empresas</b> .....	28
<b>4.4. CONCLUSIÓN</b> .....	29
<b>CAPÍTULO V: INGENIERÍA DEL PROCESO</b> .....	30
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	30
<b>5.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO</b> .....	30
<b>5.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b> .....	31
<b>5.2.1. Recolección de estiércol</b> .....	31
<b>5.2.2. Homogeneización</b> .....	31
<b>5.2.3. Carga</b> .....	31
<b>5.2.4. Digestión</b> .....	32
<b>5.2.4.1. Reactor</b> .....	32
<b>5.2.5. Digestato-Descarga</b> .....	33
<b>5.2.6. Acondicionamiento del gas</b> .....	33
<b>5.3. PROCESO PRODUCTIVO</b> .....	33
<b>5.3.1. Digestión anaeróbica</b> .....	33
<b>5.3.1.1. Hidrólisis y fermentación</b> .....	35
<b>5.3.1.2. Acidogénica</b> .....	35
<b>5.3.1.3. Metanogénica:</b> .....	36
<b>5.4. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA PRODUCCIÓN DE GAS</b> .....	36
<b>5.4.1. Materia prima</b> .....	36
<b>5.4.2. Relación carbono/nitrógeno de las materias primas</b> .....	37
<b>5.4.3. Temperatura del sustrato</b> .....	37
<b>5.4.4. Velocidad de carga volumétrica</b> .....	38
<b>5.4.5. Tiempo de retención hidráulica</b> .....	38
<b>5.4.6. pH</b> .....	39
<b>5.4.7. Contenido de sólidos totales y sólidos volátiles</b> .....	40
<b>5.4.8. Inhibidores de la metanogénesis</b> .....	41
<b>5.4.8.1. Ácidos grasos volátiles</b> .....	41
<b>5.4.8.2. Hidrógeno</b> .....	42
<b>5.4.8.3. Nitrógeno amoniacal</b> .....	42
<b>5.4.8.4. Sulfatos y sulfuros</b> .....	43
<b>5.4.8.5. Cationes y metales pesados</b> .....	43
<b>5.5. AGITACIÓN - MEZCLADO</b> .....	44



<b>5.6. COMPONENTES Y ETAPAS DEL SISTEMA</b> .....	44
<b>5.7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA</b> .....	44
<b>5.7.1. Cálculo de materias primas e insumos</b> .....	45
Balance de masa por componente .....	46
Composición molar del biogás .....	46
<b>5.7.2. Acondicionamiento del biogás</b> .....	47
<b>5.7.2.1. Absorción</b> .....	47
<b>5.7.2.2. Adsorción con tecnología de oscilación de presión (PSA)</b> .....	47
<b>5.7.2.3. Métodos específicos de remoción de H<sub>2</sub>S</b> .....	48
<b>5.7.3. Balance de energía en el reactor</b> .....	48
<b>5.7.3.1. Clima en San Rafael</b> .....	49
<b>5.7.3.2. Pérdidas de calor</b> .....	49
<b>5.8. DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA</b> .....	52
<b>5.8.1. Determinación del área total</b> .....	52
<b>5.8.1.1. Recepción de materias primas</b> .....	52
<b>5.8.1.2. Sector de producción</b> .....	52
<b>5.8.1.3. Área de almacenamiento y distribución de productos y subproductos</b> .....	53
<b>5.8.1.4. Sector para análisis de calidad</b> .....	53
<b>5.8.1.5. Estacionamiento</b> .....	54
<b>5.8.1.6. Sanitarios y vestidores</b> .....	54
<b>5.8.1.7. Oficinas administrativas</b> .....	54
<b>5.8.2. Distribución general</b> .....	54
<b>CAPÍTULO VI: TECNOLOGÍA</b> .....	56
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	56
<b>6.1. BIODIGESTOR</b> .....	56
<b>6.1.1. Características</b> .....	56
<b>6.1.2. Ventajas de la producción de biogás mediante biodigestores</b> .....	57
<b>6.1.3. Desventajas de los biodigestores</b> .....	57
<b>6.1.4. Tipos de biodigestores</b> .....	58
<b>6.1.4.1. Continuos</b> .....	58
<b>6.1.4.2. Semicontinuos</b> .....	58
<b>6.1.4.3. Discontinuos o régimen estacionario</b> .....	62
<b>6.1.5. Biodigestor seleccionado</b> .....	62
<b>6.1.5.1. Dimensionamiento</b> .....	63
_Toc165034712	
<b>6.1.6. Principales componentes de una estación biodigestora</b> .....	64



<b>6.1.7. Recomendaciones para la construcción y manejo del biodigestor</b> .....	65
<b>6.2.1. Pileta de almacenamiento y pileta de pretratamiento de la MMPP</b> .....	66
<b>6.2.2. Agitadores</b> .....	67
<b>6.2.3. Bombas de carga</b> .....	68
<b>6.2.4. Pileta de descarga del digestato</b> .....	70
<b>6.3.1. Cúpula de gas</b> .....	72
<b>6.3.2. Válvulas de seguridad y rompedora de vacío</b> .....	72
<b>6.3.4. Válvulas térmicas</b> .....	74
<b>6.3.5. Soplador</b> .....	74
<b>6.3.6. Separadores de sedimentos</b> .....	78
<b>6.3.7. Electroválvulas</b> .....	79
<b>6.3.8. Caudalímetros de gas</b> .....	79
<b>6.3.9. Manómetros</b> .....	79
<b>6.3.10. Reguladores de presión</b> .....	79
<b>6.3.11. Almacenamiento del gas</b> .....	80
<b>6.3.12. Quemador de los gases sobrantes</b> .....	81
<b>6.3.13. Muestreador</b> .....	82
<b>6.3.14. Tuberías de gas</b> .....	82
<b>6.3.15. Sistema de calentamiento del digestor</b> .....	83
<b>6.3.16. Secado, drenaje</b> .....	84
<b>6.3.17. Eliminación del H<sub>2</sub>S</b> .....	84
<b>6.4. OPERACIÓN DEL GAS</b> .....	85
<b>CAPÍTULO VII: INGENIERÍA DE GESTIÓN</b> .....	87
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	87
<b>7.1. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA</b> .....	87
<b>7.2. PRINCIPIOS GENERALES DE UNA ORGANIZACIÓN</b> .....	87
<b>7.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ORGANIZACIÓN</b> .....	88
<b>7.3.1. Constitución legal</b> .....	88
<b>7.3.2. Razón social</b> .....	88
<b>7.3.3. Organigrama</b> .....	89
<b>7.3.4. Ficha de funciones</b> .....	90
<b>7.3.4.1. Gerente general</b> .....	90
<b>7.3.4.2. Gerente de operaciones</b> .....	91
<b>7.3.4.3. Gerencia comercial y contable</b> .....	91
<b>7.3.4.4. Jefe de mantenimiento</b> .....	92
<b>7.3.4.5. Jefe de producción</b> .....	93



7.3.4.6. Operarios .....	93
7.3.4.7. Jefe de control de calidad .....	94
7.3.4.8. Jefe de logística y distribución .....	94
7.3.5. Programa de trabajo .....	95
7.3.6. Personal necesario .....	95
7.3.7. Clasificación de la empresa.....	96
<b>CAPÍTULO VIII: ASPECTOS LEGALES .....</b>	<b>98</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>98</b>
<b>8.1. MARCO LEGAL .....</b>	<b>98</b>
8.1.1. Normativa nacional.....	98
8.1.2. Legislación Provincial .....	105
8.1.3. Normativa municipal .....	105
<b>8.2. AUTORIDADES COMPETENTES .....</b>	<b>106</b>
<b>8.3. BIOFERTILIZANTE .....</b>	<b>108</b>
<b>CAPÍTULO IX: ASPECTOS NORMATIVOS.....</b>	<b>110</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>110</b>
<b>9.1. NORMAS A CERTIFICAR .....</b>	<b>110</b>
9.1.1. Normas ISO .....	110
9.1.1.1. ISO 21500.....	111
9.1.1.2. ISO 9000: Sistemas de Gestión de Calidad .....	111
9.1.1.3. ISO 14000: Sistemas de Gestión Medioambiental .....	112
9.1.1.4. ISO 45001: Seguridad y calidad de vida en el trabajo .....	113
9.1.1.5. ISO 26000: Responsabilidad social empresaria (RS).....	113
9.1.1.6. ISO 31000: Sistemas de Gestión de Riesgos .....	113
9.1.2. Normas IRAM .....	114
9.2.1. Ensayos sobre el Biogás.....	115
9.2.2. Determinación de la composición mediante cromatografía de gases.....	116
<b>CAPÍTULO X: ASPECTOS AMBIENTALES .....</b>	<b>118</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>118</b>
<b>10.1. RESPONSABILIDAD SOCIAL AMBIENTAL.....</b>	<b>119</b>
<b>10.2. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>120</b>
10.2.1. Actividades del proyecto en sus distintas etapas.....	120
10.2.1.1. Etapa de construcción .....	120
10.2.1.2. Etapa de operación y mantenimiento .....	121
10.2.1.3. Etapa de abandono.....	121
10.2.2. Caracterización de residuos .....	121



<b>10.2.3. Prevención de la contaminación</b> .....	122
<b>10.2.4. Prácticas operativas</b> .....	123
<b>10.2.5. Lista de chequeo</b> .....	124
<b>10.3. CONCLUSIÓN</b> .....	126
<b>CAPÍTULO XI: EVALUACIÓN ECONÓMICA</b> .....	127
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	127
<b>11.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA</b> .....	127
<b>11.1.1. Tasa de descuento</b> .....	127
<b>11.2.1. Inversión inicial</b> .....	128
<b>11.2.1.1. Activos tangibles</b> .....	128
<b>11.2.1.1.1. Terreno</b> .....	129
<b>11.2.1.1.2. Edificios e instalaciones</b> .....	129
<b>11.2.1.1.3. Maquinaria y equipos</b> .....	130
<b>11.2.1.1.4. Muebles y útiles</b> .....	132
<b>11.2.1.2. Activos intangibles</b> .....	133
<b>11.2.1.3. Inversión necesaria</b> .....	134
<b>11.3.1. Inversión en capital de trabajo (ICT)</b> .....	136
<b>11.3.3.1. Métodos de cálculo</b> .....	137
<b>11.3.3.2. Selección del método</b> .....	137
<b>11.3.3.3. Cálculo de la inversión en capital de trabajo</b> .....	138
<b>11.3.3.3.1. Costos fijos</b> .....	138
<b>11.3.3.3.2. Costos variables</b> .....	146
<b>11.3.3.3.3. Costos totales</b> .....	149
<b>11.4.1. Costo variable unitario</b> .....	153
<b>11.5.1. Precio de venta</b> .....	153
<b>11.5.2. Ingresos totales</b> .....	153
<b>11.5.3. Contribución marginal</b> .....	155
<b>11.5.4. Utilidad anual</b> .....	156
<b>11.5.5. Flujo de caja</b> .....	156
<b>11.5.5.1. Valor actual neto</b> .....	159
<b>11.5.5.2. Tasa interna de retorno</b> .....	160
<b>11.6. CONCLUSIÓN</b> .....	160
<b>CAPÍTULO XII: ANALISIS DE RIESGO Y SENSIBILIDAD</b> .....	161
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	161
<b>12.1. RIESGOS IDENTIFICADOS</b> .....	161
<b>12.1.1. Aspectos tecnológicos</b> .....	161



<b>12.1.1.1. Baja productividad</b> .....	161
<b>12.1.1.2. Falta de servicios</b> .....	161
<b>12.1.1.3. Falla de maquinaria</b> .....	162
<b>12.1.2. Aspectos económicos</b> .....	162
<b>12.1.2.1. Aumento del precio de la materia prima</b> .....	162
<b>12.1.2.2. Baja en el precio del producto</b> .....	163
<b>12.1.3. Siniestros e imprevistos</b> .....	163
<b>12.1.3.1. Incendios y explosiones</b> .....	163
<b>12.1.3.2. Accidentes de trabajo</b> .....	165
<b>12.2. RESUMEN</b> .....	165
<b>12.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD</b> .....	166
<b>12.3.1. Parámetro a sensibilizar</b> .....	167
<b>12.3.2. Sensibilización frente al precio de venta del biogás y el biofertilizante</b> .....	167
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	171





## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN

El biogás, una mezcla gaseosa compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono, ha surgido como una alternativa energética prometedora debido a sus beneficios ambientales y su potencial como fuente renovable. Es un biocombustible obtenido por digestión anaeróbica de materia orgánica a través de microorganismos. Además de los componentes mayoritarios anteriormente mencionados, posee otros componentes en menor proporción tales como nitrógeno, amoníaco, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, entre otros.

En la naturaleza se encuentran una gran variedad de residuos orgánicos a partir de los cuales puede obtenerse biogás, entre ellos: los desechos provenientes de animales domésticos como vacas, cerdos y cabras, residuos vegetales como pastos, hojas secas, y basuras domésticas. En este informe se realizará el estudio de la producción de biogás a partir de desechos caprinos.

La composición del biogás depende del tipo de desecho utilizado y las condiciones de procesamiento. En promedio su composición es la siguiente:

Componente	Fórmula química	Porcentaje (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	54-70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	27-45
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1-10
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,5-3
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0,1

*Tabla 1-1: Composición del Biogás*

Por su alto contenido de metano, es una fuente de energía que puede usarse para cocinar, iluminar, generar calor, o generar energía eléctrica. En la siguiente tabla se ilustra el valor combustible del biogás en comparación con otros combustibles:

Combustible	kcal/m <sup>3</sup>	kcal/kg	Cantidad equivalente a 1000m <sup>3</sup> de biogás
Biogás	5335	-	1000 m <sup>3</sup>
Gas Natural	9185	-	581 m <sup>3</sup>



Metano	8847	-	603 m <sup>3</sup>
Propano	22052	-	242 m <sup>3</sup>
Butano	28588	-	187 m <sup>3</sup>
Carbón	-	6870	776 kg

*Tabla 2: Valores promedios del poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás*

## 1.2. PROPIEDADES

### 1.2.1. Poder calorífico

El poder calorífico varía dependiendo de su composición, pero en promedio se encuentra entre 20-25 MJ/m<sup>3</sup>. Esta propiedad indica la cantidad de energía que puede generar el biogás al ser combustionado.

### 1.2.2. Densidad

La densidad del biogás es menor que la del aire, en promedio se encuentra en un valor de 1,09 g/L.

### 1.2.3. Presión

Varía en función del sistema de producción y almacenamiento.

### 1.2.4. Estabilidad

Es un combustible relativamente estable y puede almacenarse a largo plazo, siempre que se tomen las medidas adecuadas para evitar fugas.

### 1.2.5. Propiedades inflamables

Es inflamable cuando su concentración de metano está entre el 5% y 15% en aire.

## 1.3. ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS Y SUBPRODUCTOS DEL PROCESO

### 1.3.1 Materia prima: residuos de origen animal caprino

Las características bioquímicas que presentan estos residuos permiten el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, entre otros). Normalmente estos residuos contienen estos elementos en proporciones adecuadas.



Materia Prima	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
Caprino	2,90	4,70	34	33	26,40

*Tabla 3: Composición química de la materia prima (valores promedios, base seca)*

Materia Prima	C (%)	N (%)	P2O5 (%)	K2O (%)	MgO (%)
Caprino	35-50	1-2	0,2-1,5	2,30	-

*Tabla 4: Rango de niveles de nutrientes*

Características	Valor
DQO	100-150 g/l
Sólidos totales	83-92%
Sólidos volátiles	4-8%

*Tabla 5: Características cuantitativas*

### **1.3.2. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro con diversas propiedades químicas y físicas. Es esencial en la naturaleza y en muchos procesos industriales.

Aunque es un componente natural, su concentración ha aumentado significativamente debido a la actividad humana, especialmente por la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

Es soluble en agua y más denso que el aire.

Para la mayoría de las aplicaciones más simples del biogás la remoción de CO<sub>2</sub> no es necesaria, pero sí lo es en aplicaciones más complejas como por ejemplo el uso en vehículos. Su eliminación incrementa el poder calorífico y genera un gas de calidad similar a la del gas natural.

### **1.3.3. Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)**

El sulfuro de hidrógeno es un compuesto químico inorgánico formado por dos átomos de hidrógeno y un átomo de azufre. A temperatura y presión estándar, es un gas incoloro, inflamable y con olor característico desagradable, lo que permite detectarlo fácilmente.

Se encuentra naturalmente en procesos biológicos, como la descomposición de la materia orgánica y en algunas fuentes de agua, como aguas termales o residuales. Además, se produce durante la extracción y refinación del petróleo y gas natural, así como en la industria química.



Este subproducto es altamente tóxico y puede ser peligroso para la salud humana, siendo letal en concentraciones elevadas.

Es inflamable y puede formar mezclas explosivas con el aire en ciertas concentraciones.

#### **1.3.4. Biofertilizante**

El proceso de digestión de la biomasa conduce a la transformación de los residuos mediante fermentación, generando un producto llamado “fango” con un alto valor como fertilizante. Este fango se separa en dos componentes: uno líquido conocido como “Biol”, que representa la mayor parte del producto resultante, y otro llamado “Biosol”.

La proporción del fango saliente del biodigestor varía dependiendo de las características de los residuos fermentados, pero en promedio constituye alrededor del 85-90% del material de entrada. De esta cantidad, aproximadamente el 90% corresponde a Biol, mientras que el 10% restante corresponde al Biosol. Estos porcentajes pueden variar según los residuos y el método de separación utilizado.

Tanto en su fase sólida como líquida, este fango exhibe una calidad agronómica excepcional. Posee cualidades destacadas que favorecen la absorción de nutrientes y estimulan el crecimiento de tallos, frutos y raíces debido a la presencia de hormonas vegetales de crecimiento.

#### **1.4. MÉTODO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS**

El biogás se obtiene a través de un proceso llamado digestión anaerobia, en el cual se descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este proceso puede llevarse a cabo en plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas de biogás o instalaciones específicas diseñadas para la producción del mismo. Se lleva a cabo en equipos específicos llamados digestores, desde donde se recolecta el biogás generado, para que posteriormente sea purificado y almacenado o añadido a las líneas de gas si cumple con las especificaciones que impone el ente regulador.

Es importante destacar que además de la producción de biogás, este proceso de digestión anaerobia también produce un subproducto llamado digestato, que es un material rico en nutrientes que se utiliza como fertilizante.

El proceso de obtención de biogás es una forma sostenible de aprovechar la materia orgánica y convertirla en una fuente de energía renovable. Contribuye a la reducción de residuos, la generación de energía limpia y la mitigación del impacto ambiental.

#### **1.5. OBJETIVOS**

El objetivo general de este estudio es determinar la viabilidad económica de la producción provincial de biogás a partir de residuos caprinos y analizar las ventajas y desventajas en



comparación con el uso del gas natural. Para lograrlo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la demanda del proyecto mediante un estudio de mercado que identifique a los potenciales clientes interesados en adquirir biogás;
- Identificar la ubicación adecuada para la planta de producción de biogás, considerando factores como la disponibilidad de residuos caprinos y los requisitos logísticos y medioambientales;
- Evaluar los posibles impactos sociales y medioambientales que puedan surgir durante la instalación y operación de la planta, así como proponer medidas para prevenir o mitigar dichos impactos;
- Definir el modelo de organización y la estructura del proyecto, incluyendo los puestos y responsabilidades necesarios;
- Realizar una evaluación económica que cuantifique la inversión requerida, los costos y gastos asociados, y determine la viabilidad del proyecto mediante el análisis de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Beneficio-Costo (B/C);

La actividad agropecuaria, específicamente la cría de cabras, se encuentra ampliamente desarrollada en la zona sur de la Provincia de Mendoza, específicamente en San Rafael y Malargüe. Sin embargo, muchos pequeños productores desconocen el valor económico de los residuos generados por sus animales, los cuales pueden ser aprovechados para la producción de biogás. Este proceso permite convertir los residuos orgánicos en una fuente de energía renovable.

La implementación de la producción de biogás a partir de residuos caprinos en la zona sur de la Provincia de Mendoza presenta una oportunidad para aprovechar los recursos existentes y contribuir tanto al desarrollo energético sostenible, como a la gestión adecuada de los residuos orgánicos. Además, considerando la demanda creciente de energías renovables y la conciencia ambiental en la sociedad, este estudio busca establecer las bases para la integración exitosa de esta tecnología en el mercado local.



## **CAPÍTULO II: ESTUDIO DE MERCADO**

### **INTRODUCCIÓN**

El estudio de mercado es una herramienta esencial en el entorno empresarial, ya que permite comprender y evaluar el mercado objetivo de un producto o servicio. En el contexto de este informe, el estudio de mercado adquiere una importancia significativa al respaldar la viabilidad y factibilidad de la propuesta planteada.

Proporciona información valiosa sobre las necesidades y preferencias de los consumidores, la competencia, las tendencias del mercado y la viabilidad financiera de un proyecto.

En este capítulo se llevarán a cabo diversas actividades para recopilar información sobre la competencia, clientes, demanda, oferta, características del entorno, canales de distribución, puntos de venta del producto, precios y posibilidades de generar valor agregado, entre otros aspectos relevantes. Se emplea una metodología adecuada para analizar los datos y se obtienen resultados mediante el procesamiento de la información. Esto permite presentar de manera más accesible las ventajas de nuestro producto en el mercado.

#### **2.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE MERCADO**

Los principales objetivos de este capítulo son:

- Identificar y comprender las necesidades y preferencias de los clientes potenciales;
- Analizar el mercado de la materia prima y demás insumos necesarios;
- Analizar la competencia y su posición en el mercado;
- Analizar las características del mercado externo que puedan influir en el proyecto;
- Estimar el comportamiento futuro de la demanda y oferta del biogás;
- Proporcionar información para contribuir en la definición del área geográfica que será abarcada por el proyecto;
- Contribuir en la estimación de la demanda de biogás por parte de los clientes.

#### **2.2. INDUSTRIA DEL BIOGÁS EN EL MUNDO**

En la actualidad, el biogás se ha convertido en una fuente de combustible ampliamente utilizado tanto a nivel industrial como doméstico. Es utilizado ampliamente como combustible para la generación de energía eléctrica; en los últimos años ha experimentado un notable crecimiento, despertando un gran interés a nivel mundial. En las siguientes gráficas se puede apreciar el incremento en la producción de energía eléctrica a partir de biogás en el periodo comprendido entre 2010 y 2019 a nivel global, y el crecimiento continuado de la capacidad instalada de energía eléctrica a nivel mundial en el periodo comprendido entre 2010 y 2020.

A nivel global, varios países han implementado políticas y regulaciones favorables para fomentar el desarrollo del mercado de biogás. Estos marcos regulatorios incluyen mecanismos de apoyo financiero, como tarifas de alimentación y subsidios, que incentivan la inversión en proyectos de biogás. Asimismo, los objetivos y compromisos internacionales en materia de energías renovables han estimulado la demanda de biogás en todo el mundo.

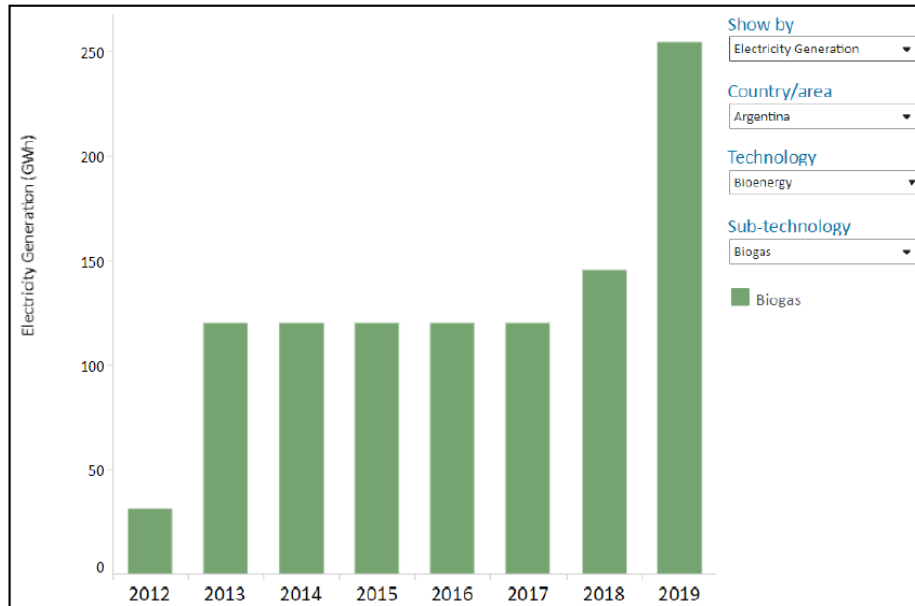


Figura 1. Evolución de la energía eléctrica producida a partir de biogás (en MWh) en Argentina. Fuente: IRENA

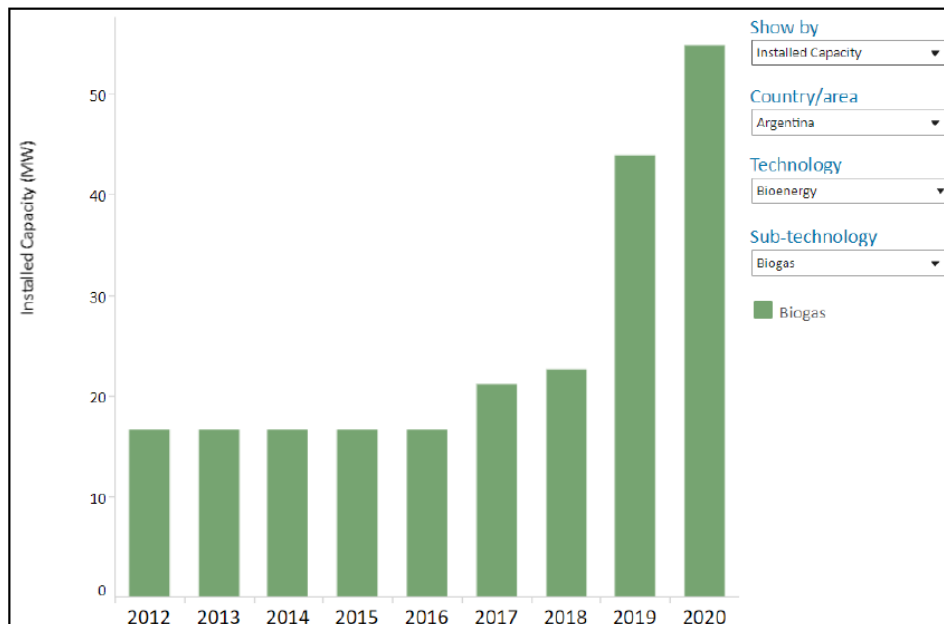


Figura 2. Evolución de la capacidad instalada de bioenergía a partir de biogás (en MW) en Argentina. Fuente: IRENA

En términos de aplicaciones, el biogás se utiliza principalmente para la generación de electricidad y calor. Las plantas de biogás se han implementado en diversos sectores, como la



agricultura, la industria alimentaria, los residuos municipales y el tratamiento de aguas residuales. Además, el biogás puede ser purificado y comprimido para su uso como combustible en vehículos, reemplazando los combustibles convencionales y reduciendo las emisiones de gases contaminantes.

A través del proceso llamado “Upgrading” el biogás es enriquecido para producir biometano. Este se inyecta en las redes de gas natural, lo que facilita su consumo en diferentes ubicaciones geográficas.

Entre los países líderes en la transformación de biogás en biometano se encuentran Suecia (22%), Reino Unido (15%), Holanda (8%) y Suiza (5%). Alemania, aunque produce la mayor cantidad de biogás en Europa, convierte solo el 1,7% en biometano, debido a diferentes factores tales como la política energética y las condiciones económicas.

A pesar de las múltiples ventajas del biometano, su viabilidad económica se ve afectada principalmente por los precios de la energía y las políticas gubernamentales en áreas como el desarrollo regional, la gestión de residuos, otras fuentes de energía renovable y el cambio climático. Estos factores influyen en la valoración económica de los beneficios ambientales asociados a este tipo de combustible y en el desarrollo de esta nueva industria.

### **2.3. INDUSTRIA DEL BIOGÁS EN ARGENTINA**

La matriz energética Argentina se basa principalmente en combustibles fósiles, representando aproximadamente el 87,4% del total. El petróleo y el gas natural constituyen casi el 85% de la oferta energética del país, mientras que el consumo de carbón es menor (2% del total), a diferencia de países como China, EE.UU o Alemania, donde el carbón desempeña un papel importante como fuente de energía. Desde una perspectiva ambiental, el uso de gas natural presenta una ventaja significativa, ya que es un combustible más limpio en comparación con el carbón, generando emisiones de dióxido de carbono más bajas.



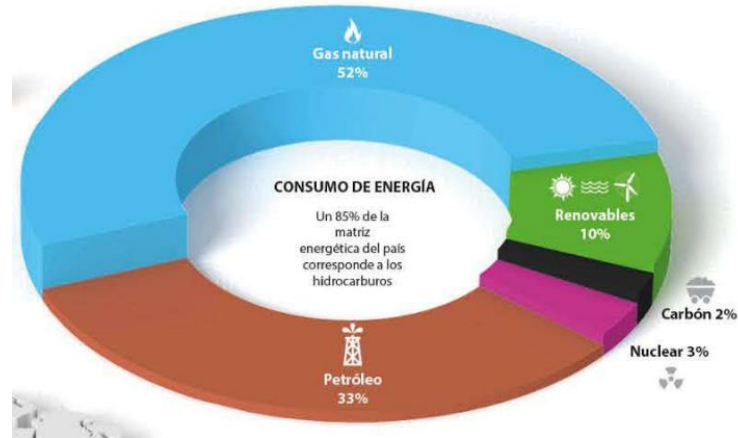


Figura 3. Matriz energética de la República Argentina. Fuente: Ministerio de Energía y Minería

En las siguientes gráficas se puede apreciar la evolución nacional de la producción de energía en las plantas de biogás en los últimos años, así como el crecimiento de la capacidad instalada. Estos datos reflejan la tendencia positiva y el aumento en la generación de energía a partir del biogás en Argentina.

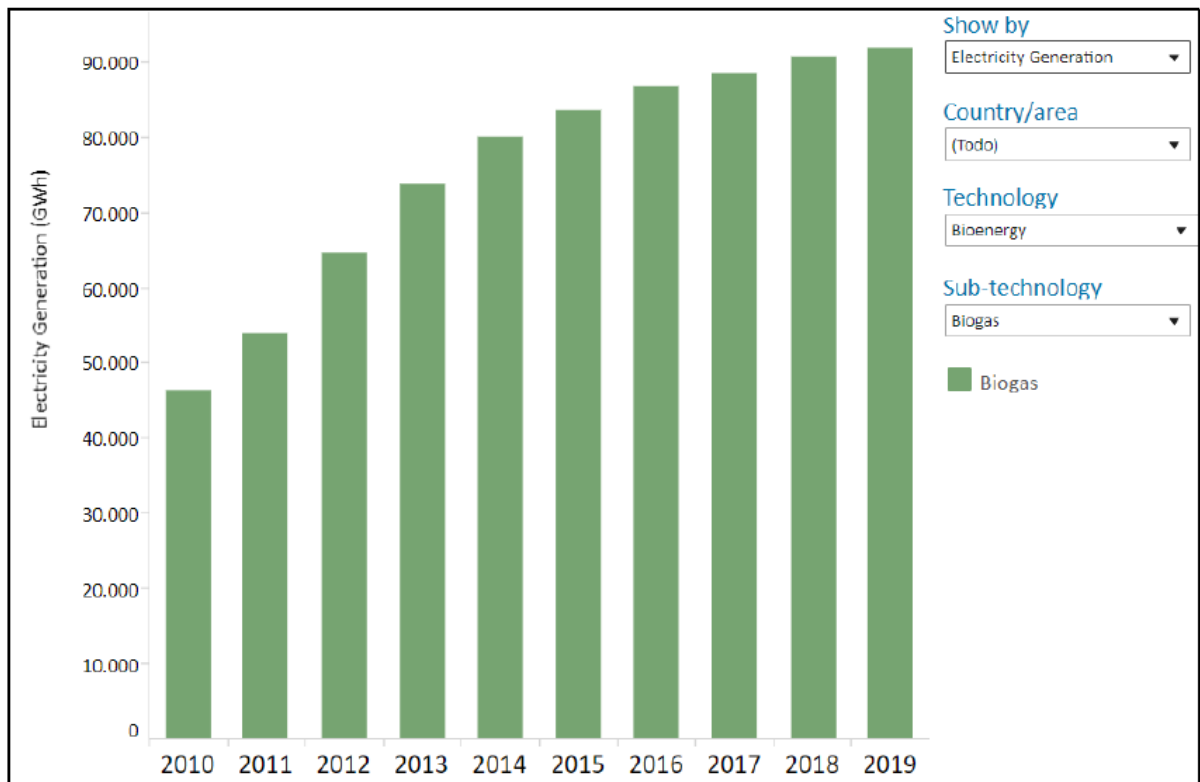


Figura 4. Evolución de la energía eléctrica producida a partir de biogás (en GWh) en el mundo – Fuente: IRENA

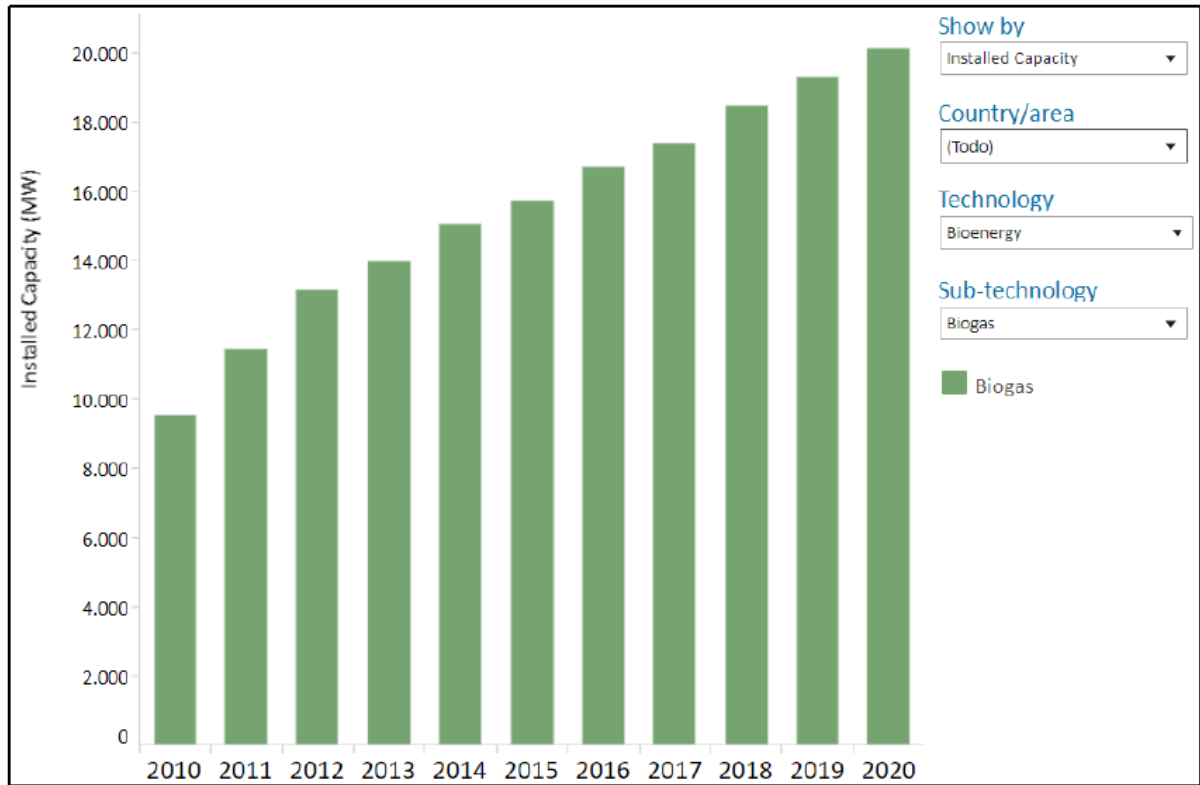
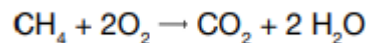


Figura 5. Evolución de la capacidad instalada de energía eléctrica a partir de biogás (en MW) en el mundo – Fuente: IRENA

## 2.4. MERCADO CONSUMIDOR

### 2.4.1. Biogás como combustible

La combustión es una reacción química en la cual ocurre una rápida oxidación del biogás. La combustión completa se puede representar mediante la siguiente ecuación química:



Para lograr una combustión eficiente, es necesario aumentar el requerimiento mínimo de aire, que normalmente es del 21%. La relación entre aire y gas puede optimizarse mediante el aumento de la presión de aire, el incremento de la apertura de la válvula dosificadora de gas (siendo el biogás de 2 a 3 veces más exigente que el metano puro), y la modificación de la geometría del paso de aire desde el exterior.

Es crucial mantener una presión adecuada para un óptimo uso del biogás, que generalmente se encuentra en el rango de 7 a 20 mbar. Es importante calcular con precisión las pérdidas de presión en la salida del gasómetro para garantizar un funcionamiento adecuado.

### 2.4.2. Producción de calor o vapor

La aplicación más básica del biogás es su utilización como fuente de energía térmica, especialmente en regiones donde los combustibles convencionales son escasos. Los sistemas de



biogás a pequeña escala pueden proporcionar calor para actividades fundamentales como la cocción de alimentos y el calentamiento de agua. También se pueden emplear en sistemas de iluminación.

Los quemadores de gas convencionales pueden adaptarse fácilmente para funcionar con biogás mediante un simple ajuste de la relación aire-gas. Los requisitos de calidad del biogás para los quemadores son moderados. Se debe alcanzar una presión de gas de 8 a 25 mbar y mantener los niveles de  $H_2S$  por debajo de 100 ppm para lograr un punto de rocío de  $150^{\circ}C$ .

Estos aspectos técnicos son importantes para garantizar un adecuado desempeño de los quemadores y una eficiente utilización del biogás como fuente de energía térmica. Mantener la presión y controlar la presencia de compuestos como el  $H_2S$  son consideraciones clave para asegurar un funcionamiento seguro y eficaz del sistema.

#### **2.4.3. Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad**

Los sistemas de cogeneración combinan la electricidad generada a partir del biogás con la utilización del calor residual generado durante el proceso. Algunos sistemas de cogeneración se centran principalmente en la producción de calor, considerando la electricidad como un beneficio secundario. Otros sistemas se enfocan en la generación de electricidad y aprovechan el calor residual para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se logra aumentar la eficiencia del proceso en comparación con la generación exclusiva de electricidad o calor a partir del biogás.

En la producción combinada de calor y electricidad, se pueden emplear turbinas de gas, como las microturbinas (con capacidades que van desde 25 hasta 100 kW), y las turbinas de mayor tamaño (mayor a 100 kW). Estas turbinas ofrecen una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y requieren un mantenimiento reducido. Aunque las turbinas de gas se pueden utilizar para la producción de calor y energía, los motores de combustión interna son los más comúnmente empleados en este tipo de aplicaciones.

Es importante destacar que el uso de biogás en estos sistemas requiere la eliminación de  $H_2S$  (por debajo de 100 ppm), y vapor de agua.

#### **2.4.4. Combustible para vehículos**

El uso de biogás como combustible es posible y se ha implementado durante bastante tiempo. Para ello, es necesario que el biogás tenga una calidad similar al gas natural, para poder ser utilizado en vehículos que han sido adaptados para funcionar con este tipo de gas. La mayoría de los vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas, además del sistema convencional de combustible a gasolina.



El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto en vehículos a gasolina como en vehículos diésel. El gas obtenido a través de la fermentación tiene un índice de octanaje que oscila entre 100 y 110, lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación de compresión. Sin embargo, una desventaja es su velocidad de encendido.

No obstante, la adopción del biogás como combustible se enfrenta a una serie de problemas. Para lograr una autonomía adecuada, el gas debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar), lo cual requiere que el gas sea purificado antes de su compresión. La conversión de los motores para utilizarlo es costosa y requiere una instalación similar a la del gas natural. Además, el peso de los cilindros de almacenamiento reduce la capacidad de carga de los vehículos.

Por último, la falta de una red de abastecimiento adecuada y la energía necesaria para llevar a cabo la compresión a gran escala limitan la difusión del uso de biogás como combustible vehicular.

## **2.5. POSIBLE DEMANDA**

La demanda de biogás abarca tanto el ámbito industrial como el residencial. Se espera que este combustible renovable tenga un mercado altamente prometedor debido a la creciente necesidad de alternativas sostenibles y limpias en diversos sectores, incluyendo la industria, el sector residencial y el transporte. Los gobiernos y las políticas ambientales están impulsando activamente el uso de energías renovables, lo que genera oportunidades adicionales para el biogás.

Además de la producción de biogás, el proceso de digestión anaerobia también genera biofertilizantes como subproducto. Estos biofertilizantes ricos en nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, ofrecen una alternativa orgánica y sostenible a los fertilizantes químicos convencionales. La creciente demanda de alimentos orgánicos y la conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad agrícola se espera que impulse la demanda de biofertilizantes en el mercado.

No obstante, es crucial tener en cuenta que el éxito comercial del biogás y los biofertilizantes depende no solo de la demanda del mercado, sino también de una serie de factores, como la disponibilidad y el acceso a los residuos caprinos, la infraestructura necesaria para la producción y distribución, la regulación y los incentivos gubernamentales, así como la competencia en el sector de las energías renovables. Todos estos elementos desempeñan un papel fundamental en el desarrollo y la aceptación de estos productos en el mercado.

En este proyecto lo que se quiere, es satisfacer la demanda regional de biogás.



En el capítulo III, titulado “Tamaño”, se realizó una proyección de la demanda, considerando el rendimiento integral del proceso, con el fin de determinar la capacidad óptima de la planta.

## **2.6. MERCADO PRODUCTOR DE BIOGÁS**

En Argentina, la industria del biogás ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años.

Diversas empresas se han involucrado en la producción y aprovechamiento de biogás en diferentes regiones del país.

### **2.6.1. Principales empresas y su ubicación:**

- Biogas Argentina S.A.: ubicada en la provincia de Buenos Aires;
- Bioeléctrica S.A.: sede en la provincia de Santa Fe, sin embargo cuenta con plantas de biogás en distintas ubicaciones del país;
- Genera Energía S.A.: ubicada en la provincia de Córdoba;
- Agroenergía del Plata: situada en la provincia de Entre Ríos.

Es importante resaltar que las empresas mencionadas anteriormente son solo una muestra de las numerosas compañías involucradas en la industria del biogás en Argentina. Esta industria continúa expandiéndose y evolucionando debido a la creciente demanda de fuentes de energía renovable y la valoración de los residuos orgánicos. Además de las 67 plantas declaradas de producción de energía eléctrica a partir de biogás, es importante tener en cuenta que existen muchas otras instalaciones de menor escala que no están identificadas debido a su tamaño reducido, como instalaciones rurales o de investigación.

## **2.7. PRECIOS Y COSTOS**

Los costos de producción de biogás están estrechamente vinculados a la disponibilidad de materia prima. Además, la tecnología del proceso presenta características particulares que complican su análisis, ya que no solo se trata del aspecto energético, sino que también conlleva un impacto importante en áreas difíciles de evaluar, como la sanidad, la fertilización, el mejoramiento de suelos, la alimentación de los animales y las condiciones de vida.

Desde el punto de vista de inversión inicial, la diversidad de modelos, sistemas y escalas empleadas, dependiendo del tipo de clima, sustrato, eficiencia requerida y disponibilidad de recursos técnicos y económicos, se ve impedida una evaluación generalizada, por lo que los estudios deben realizarse de manera particular para cada caso.



## **2.8. MERCADO PROVEEDOR DE MATERIA PRIMA**

La producción caprina en la República Argentina es una actividad muy difundida y de gran relevancia. Según los datos proporcionados por los Censos Agropecuarios, el país cuenta con un total de 3.710.065 cabezas de ganado caprino distribuidas en aproximadamente 50.000 explotaciones en todo el territorio nacional.

La característica principal de las áreas dedicadas a esta actividad es su condición desértica, lo que implica condiciones desfavorables para la producción de forrajes de calidad. En este contexto, la provincia de Mendoza se destaca como una de las principales regiones caprinas del país.

Mendoza ocupa el segundo lugar en importancia a nivel nacional en cuanto al número de cabezas caprinas. Según el Censo Nacional Agropecuario de 2002, las tres principales provincias en este aspecto eran Santiago del Estero (18%), Mendoza (17%) y Neuquén (16%). La producción primaria en Mendoza se desarrolla en un clima restrictivo, con escasas precipitaciones, forrajes de baja calidad en muchos casos y condiciones climáticas extremas, lo que hace que la cría de ganado caprino sea prácticamente la única actividad agropecuaria viable en la zona.

La cría de ganado caprino tiene predominancia en la zona sur, donde se concentra más del 70% de las cabezas (Malargüe - San Rafael), y en la zona noreste (Lavalle - La Paz - Santa Rosa), con aproximadamente 760.000 cabezas y alrededor de 3.500 productores. Esta actividad se caracteriza por una población rural dispersa y la presencia de importantes déficits en infraestructura y servicios. Se practica el pastoreo en campos abiertos, muchos de los cuales se encuentran degradados. En la zona sur es común el sistema de trashumancia estacional, donde los animales son llevados a los pequeños valles cordilleranos para su pastoreo durante el verano.

En estos ambientes se crían caprinos de raza criolla, con cabras que pesan entre 30 y 60 kg de peso vivo. Se estima que la producción media anual de estiércol es de 60 kg por cabeza, dependiendo del peso y de la edad del animal. Para su recolección y acopio, es necesario que la deposición del estiércol por parte del animal esté concentrada en un mismo lugar durante gran parte del año, lo que ocurre en corrales o encierres.

Según las estadísticas del SENASA hasta el 28 de febrero de 2019, la provincia de Mendoza cuenta con 746.964 cabezas caprinas distribuidas en 3.447 productores. Los departamentos con mayor cantidad de productores son Malargüe con 1.555, Lavalle con 551 y San Rafael con 543. El número total de cabras aumentó a 447.623 (60% del total).



Malargüe es el departamento con el mayor porcentaje de ganado caprino, representando el 60% del total, seguido por San Rafael con el 15% y Lavalle con el 15%. La diferencia entre estos departamentos radica en las condiciones fitogeográficas que influyen en la actividad caprina.



## CAPÍTULO III: TAMAÑO

### INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos de mayor consideración de un proyecto es la determinación del tamaño del mismo, puesto que define elementos fundamentales tales como los costos tanto de inversión como de operación e ingresos máximos determinados por la capacidad de producción.

La definición de tamaño del proyecto es la capacidad de producción durante un periodo de tiempo determinado.

Cabe destacar que es de suma importancia el tamaño para el análisis de la inversión inicial y la rentabilidad del proyecto.

En el siguiente capítulo de determinación de tamaño, se llevará a cabo una estimación preliminar de la capacidad del proyecto, en una etapa de prefactibilidad.

Se determinará un rango de tamaño, que va de un mínimo, el cual está definido por la disponibilidad de tecnologías, y uno máximo, el que quedará fijado por la disponibilidad de materias primas y recursos humanos. Otros aspectos que pueden acotar el tamaño del proyecto son la capacidad de gestión, las restricciones ambientales y reglamentaciones vigentes aplicables. La demanda del mercado fijará un límite por el lado del máximo, y finalmente el rango quedará acotado por la capacidad de financiamiento propio o terceros para abordar la inversión.

### 3.1. FACTORES QUE DEFINEN EL TAMAÑO

Entre los factores que determinan el tamaño de un proyecto se encuentran una gran cantidad de variables tales como: demanda, disponibilidad de insumos, localización y plan estratégico comercial de desarrollo futuro de la empresa que se crearía con el proyecto, entre otras.

#### 3.1.1. Financiamiento

La capacidad de financiamiento para desarrollar un proyecto, se está empleando con efectividad y éxito, como alternativa de financiamiento directo en una amplia gama de proyectos.

Las posibles fuentes de financiamiento para el proyecto se detallan a continuación:

- Fuentes Internas: por capital propio, el cual es aportado al inicio por medio de los capitalistas y responsables del proyecto.
- Fuentes Externas: se obtienen fuera del proyecto, pueden obtenerse por medio del mercado de capitales, bancos, cooperación y desarrollo.
- Mercado de Capitales: ofreciendo participación en el negocio como acciones, obligaciones o bonos.





- Bancos e Instituciones de Fomento: a través de la banca se pueden obtener créditos a corto, mediano y largo plazo, que presenten condiciones adecuadas a las características del proyecto. También por instituciones privadas en forma de créditos con proveedores y fabricantes de equipo.
- Cooperación para el Desarrollo: Se puede obtener apoyo financiero a través de organismos internacionales que destinan recursos técnicos y financieros.

Si los recursos financieros son insuficientes para cubrir las necesidades de inversión, el proyecto no se ejecuta, por tal razón, el tamaño del proyecto debe ser aquel que pueda financiarse con mayor comodidad, seguridad y que en lo posible presente los menores costos y un alto rendimiento del capital.

La disponibilidad de recursos financieros que el proyecto requiere para inversiones fijas, diferidas y/o capital de trabajo es una condicionante que determina la cantidad a producir.

Este factor deberá ser analizado en detalle en una etapa de factibilidad.

### **3.1.2. Punto de Equilibrio**

El punto de equilibrio es el tamaño mínimo para no tener pérdidas en el ejercicio de la producción de los productos a elaborar. Por debajo de esta cantidad se está perdiendo, y el proyecto no es rentable. A partir del punto de equilibrio se comienzan a percibir utilidades.

Este factor es explicado en capítulos posteriores una vez determinada la estructura de costos del proyecto.

### **3.1.3. Capacidad de inversión**

Está dada por la disponibilidad de recursos de inversión con los que se cuenta para invertir en el presente proyecto, determinado por lo general por el costo de la maquinaria, equipo e instalación, capital de trabajo, entre otros.

Es aquí donde entra a tallar el índice de inversión por unidad de capacidad instalada, es decir el costo unitario de producción respecto a los diferentes tamaños de planta dada por la capacidad de la maquinaria y equipo.

En este caso la inversión requerida es de USD 2.588.998,34.

### **3.1.4. Mercado**

El tamaño óptimo depende, entre otras cosas, de las economías de escala que están presentes en un proyecto. Al estar en presencia de un mercado creciente, esta variable toma más importancia, ya que debe optarse por definir un tamaño inicial lo suficientemente grande como para que pueda responder a futuro a ese crecimiento del mercado, u otro más pequeño pero que vaya ampliándose de acuerdo con las posibilidades de las escalas de producción. El primer caso



obliga a trabajar con capacidad ociosa programada, la que podría compensarse con las economías de escala que se obtiene operando con un mayor tamaño.

### **3.1.5. Mercado proveedor de materia prima**

El abastecimiento suficiente, en cantidad y calidad, de materias primas es un aspecto de vital importancia en el desarrollo de una empresa, ya que limita la capacidad de uso del proyecto o aumenta los costos del abastecimiento. Aunque, no necesariamente la materia prima condiciona y/o limita el tamaño de un emprendimiento.

En este proyecto la materia prima se obtiene de los 40 puesteros localizados en las proximidades de El Sosneado.

### **3.1.6. Recursos humanos**

La oferta de personal profesional y técnico es muy amplia en todo el territorio del país, sumado a un alto nivel de desocupación, por lo que, la disponibilidad del recurso humano para la organización no representa un problema, por ende no es un aspecto limitante del proyecto.

### **3.1.7. Tecnología**

La determinación de la tecnología a utilizar es un factor de gran importancia. Debido a que la selección de la misma permite la ampliación o no de la capacidad productiva que puede alcanzar el proyecto. La selección de equipos se desarrollará detalladamente en el capítulo 6 - Tecnología.

En términos generales, al determinar el tamaño de la planta, se aconseja que la inversión en base a la capacidad instalada, supere las necesidades iniciales del proyecto. Esto se debe a que las empresas petroquímicas, a través de mejoras de tecnologías continuas, logran reducir los costos de producción, lo que a su vez resulta en la disminución de los precios de sus productos. Como resultado, los mercados experimentan una evolución constante. En otras palabras, estas empresas tienden a mostrar una notoria habilidad en su capacidad de expansión.

### **3.1.8. Medio ambiente**

Se debe analizar el impacto que pueda tener el proyecto sobre el medio ambiente y la necesidad de algún equipo en el caso de que sea necesario mitigar algún posible impacto negativo, por lo que se debe considerar este factor en el dimensionamiento de la planta.

Con respecto a este proyecto, el equipamiento necesario para el tratamiento de los residuos no presenta una alta complejidad, por lo que los costos no serán elevados comparado a otro tipo de industria.

### 3.2. RESULTADO DE ANÁLISIS

Del análisis de los factores enumerados anteriormente, se presume que el factor de mayor relevancia para la determinación del tamaño es la tecnología disponible.

### 3.3. PROGRAMA DE PRODUCCIÓN

Para realizar una estimación del programa de producción, se propone comenzar con la fabricación, teniendo en cuenta el tiempo estadístico de 1 año de construcción de la planta, en el año 2024.

Basándose en la capacidad instalada previamente definida, la jornada laboral, el periodo de mantenimiento, entre otros; se prosigue a realizar la planificación del programa de producción. Cabe destacar que al tratarse de un proceso continuo, se trabajarán 340 días al año, considerando una parada de planta al año para acondicionamiento y mantenimiento de los equipos de la planta.

$$\text{Producción diaria} = \frac{\text{Producción Anual}}{\text{Días Laborales}} = \frac{476840 \text{ m}^3}{\text{Año}} = \frac{476840 \text{ m}^3}{340 \text{ días/Año}} = 1376 \text{ m}^3/\text{día}$$

Mes	Días hábiles	Horas de trabajo	Producción (m3)
Enero	18	432	24768
Febrero	28	672	38528
Marzo	31	744	42656
Abril	30	720	41280
Mayo	31	744	42656
Junio	30	720	41280
Julio	31	744	42656
Agosto	31	744	42656
Septiembre	30	720	41280
Octubre	31	744	42656
Noviembre	30	720	41280
Diciembre	19	456	26144
<b>Total</b>	<b>340</b>	<b>8160</b>	<b>467840</b>

Tabla 6: Programa de Producción. Fuente: elaboración propia

### 3.4. CONCLUSIÓN

El programa se realizó suponiendo una demanda similar a la de años anteriores en la zona de San Rafael.



## **CAPÍTULO IV: LOCALIZACIÓN**

### **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se analizará la localización física del proyecto. El objetivo de estudio de la misma es el de maximizar los beneficios, sacando el máximo provecho, minimizando los costos de inversión y los del ciclo operativo del proyecto. Se debe analizar que son decisiones a largo plazo y que una vez tomadas, se presenta una gran dificultad para dar marcha atrás. Se estudiará y determinará la ubicación de la planta para que tenga las mejores características en base a diversos criterios; económico, estratégico e institucional.

Para lograr la ubicación óptima de la planta de producción de biogás, es necesario considerar tanto la proximidad al mercado proveedor de materias primas como la demanda del mercado consumidor a nivel local. En este capítulo se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las alternativas, asignando valoraciones y ponderaciones a los factores relevantes de manera objetiva y subjetiva, con el objetivo de determinar la ubicación más adecuada para la implementación de este proyecto.

La elección de una de las alternativas para la ubicación del proyecto se lleva a cabo en dos etapas:

- Macrolocalización: para determinar la zona donde se ubicará la planta;
- Microlocalización: donde se analiza y selecciona el sitio exacto considerando distintos factores, entre ellos podemos citar cuestiones sociales, económicas, comerciales, operacionales, etc.

En capítulos anteriores se han estudiado las principales fuentes de consumo de nuestro producto, parámetro fundamental para la localización.

#### **4.1. HERRAMIENTAS DE SELECCIÓN**

En el análisis de localización del proyecto, se deben considerar tanto la macrolocalización como la microlocalización, además de otros factores que influyen en la inversión del proyecto. Es necesario llevar a cabo un estudio detallado de diversos aspectos, entre los cuales se destacan:

- Proximidad al mercado y a los clientes, evaluando la distancia a las áreas de influencia;
- Disponibilidad de servicios en la zona, como suministro de agua, electricidad, comunicaciones, y otras infraestructuras necesarias para la operación de la empresa;
- Acceso a las materias primas y a los compradores, considerando la cercanía a proveedores para facilitar el aprovisionamiento y reducir los costos de transporte;



- Tasa de desempleo, disponibilidad de mano de obra calificada, oportunidades de subcontratación, posibilidades de capacitación y desarrollo humano, entre otros aspectos, relacionados con recursos humanos;
- Incentivos económicos y fiscales, subvenciones y apoyos municipales;
- Comportamiento del mercado ante la entrada de nueva competencia y las estrategias de negocios desarrolladas por las empresas establecidas en la zona.

El principal objetivo de la localización de un proyecto es la optimización de los costos logísticos y la eficiencia en la prestación del servicio. Este análisis posee una relevancia significativa y puede tener consecuencias a mediano y largo plazo, debido a la dificultad de cambiar la ubicación una vez que la empresa está establecida.

Aunque teóricamente existen infinitas alternativas para la localización de un proyecto, en la práctica, las restricciones inherentes al proyecto descartan muchas de ellas, reduciendo el ámbito de elección.

En primer lugar, se considera la localización de la planta dentro de Argentina, con el objetivo fundamental de establecer una nueva industria que pueda satisfacer la demanda del mercado interno y promueva un emprendimiento sostenible que contribuya al desarrollo económico, social y ambiental de la comunidad.

## **4.2. MACROLOCALIZACIÓN**

La localización de una empresa es una decisión de gran importancia que requiere un fundamento sólido y no debe tomarse a la ligera, ya que puede determinar el éxito o fracaso de un negocio. Por tanto, la elección de la ubicación del proyecto se basará en criterios económicos, estratégicos e institucionales.

En este sentido, se busca determinar la localización que maximice la rentabilidad del proyecto, teniendo en cuenta los siguientes factores que comúnmente influyen en esta decisión:

- Medios y costos de transporte;
- Disponibilidad y costo de mano de obra;
- Proximidad a fuentes de abastecimiento de materias primas e insumos;
- Consideraciones ambientales;
- Proximidad al mercado;
- Costo y disponibilidad de terrenos;
- Características topográficas del suelo;
- Estructura impositiva y legal;
- Disponibilidad de agua, energía y otros suministros;



- Comunicaciones;
- Gestión adecuada de residuos.

Además, existen factores no directamente relacionados con el proceso productivo, pero que influyen en la localización, como:

- Disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de apoyo;
- Condiciones sociales y culturales;
- Consideraciones legales y políticas.

Todos estos factores deben ser cuidadosamente evaluados y considerados para tomar una decisión informada y óptima en cuanto a la localización del proyecto.

#### **4.2.1. Factores a ponderar**

##### **4.2.1.1. Medios y costos de transporte**

Con el propósito de minimizar los costos operativos, resulta recomendable que la planta de producción se ubique próxima a los proveedores. En el contexto de este proyecto, los proveedores son productores locales cuyas actividades están dispersas en la zona sur de Mendoza. Por ende, la elección de la localización deberá ser rigurosamente analizada con el objetivo de maximizar la cercanía a los principales centros de producción caprina.

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que las materias primas requeridas para la elaboración del producto deben ser transportadas a través de camiones de carga, lo cual implica la necesidad de evaluar los costos asociados al transporte.

##### **4.2.1.2. Disponibilidad de mano de obra**

La disponibilidad de mano de obra es un factor de suma importancia a considerar en la elección de la ubicación de un proyecto.

Una mano de obra disponible y calificada permite cubrir las necesidades de personal de la empresa de manera eficiente, lo que se traduce en una mayor productividad y capacidad de respuesta ante la demanda del mercado. Además, contar con una amplia base de trabajadores capacitados en un área geográfica específica puede facilitar la contratación y reducir los costos asociados a formación y capacitación de personal.

##### **4.2.1.3. Disponibilidad y costo de materias primas**

Como se analizó en la sección de “Herramientas de Selección”, se ha identificado que la zona sur de la Provincia de Mendoza cuenta con un mercado proveedor de estiércol caprino de gran relevancia debido a la concentración de productores en esa área geográfica.



#### **4.2.1.4. Cercanía al mercado proveedor**

La elección de la localización del proyecto debe tener en cuenta la proximidad a este mercado proveedor. Al ubicarse lo más cerca posible de los principales puntos de producción caprina, se puede garantizar un suministro constante y oportuno de las materias primas necesarias para la operación del proyecto. Además, se optimizarán los costos asociados a su adquisición y transporte.

#### **4.2.1.5. Cercanía al mercado consumidor**

La empresa se enfocará en la producción de biogás, destinado principalmente a satisfacer las necesidades regionales de gas, con especial énfasis en su uso para la generación de calor. Durante el análisis de mercado, se priorizará la evaluación del ámbito nacional, con el objetivo de comprender y abastecer efectivamente la demanda existente.

#### **4.2.1.6. Disponibilidad de terrenos**

La Provincia de Mendoza cuenta con parques industriales y áreas destinadas a la localización de empresas, que ofrecen terrenos adecuados para el establecimiento de proyectos industriales. Estos espacios suelen contar con infraestructuras y servicios necesarios para el desarrollo de actividades productivas, como suministro de agua, energía, acceso a transporte y comunicaciones. Sin embargo, es necesario realizar un análisis detallado para identificar las áreas disponibles que se ajusten a las necesidades y requerimientos específicos del proyecto, considerando factores como el tamaño requerido, la ubicación estratégica, la accesibilidad y la compatibilidad con las regulaciones y zonificaciones vigentes.

#### **4.2.1.7. Disponibilidad de servicios**

La disponibilidad de servicios es un factor clave a analizar. El suministro confiable de energía eléctrica, acceso a agua de calidad, telecomunicaciones eficientes, infraestructuras de transporte y servicios de apoyo son fundamentales para garantizar el funcionamiento eficiente y exitoso de una empresa.

### **4.2.2. Matriz de Ponderación**

Este método de análisis consiste en identificar los principales factores determinantes de una localización y asignarles valores ponderados para reflejar su importancia relativa. Estos pesos relativos se basan en una suma total igual a 1 y son dependientes del criterio establecido. El objetivo del estudio no es encontrar una localización óptima, sino identificar una o varias localizaciones aceptables. Sin embargo, otros factores más subjetivos, como las preferencias específicas de la empresa, pueden influir en la elección final de la ubicación.

En primer lugar, se realiza una lista de los factores relevantes y se les asigna un peso que refleje su importancia relativa. Se establece una escala del 1 al 10 para cada factor. Luego, se evalúa cada localización en función de cada factor y se multiplica la puntuación obtenida por los pesos asignados. Este proceso se repite para todas las opciones de localización y se compara el total obtenido para cada una, recomendando finalmente la opción con puntuación más alta.

Factores	Peso relativo	San Rafael		Malargüe		Lavalle	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
<b>Superficie disponible</b>	<b>0,1</b>	10	1	9	0,9	8	0,8
<b>Disponibilidad de servicios</b>	<b>0,15</b>	9	1,35	8	1,2	8	1,2
<b>Mano de obra disponible</b>	<b>0,15</b>	9	1,35	8	1,2	8	1,2
<b>Beneficios Promocionales</b>	<b>0,1</b>	8	0,8	7	0,7	7	0,7
<b>Cercanía al mercado proveedor</b>	<b>0,2</b>	9	1,8	9	1,8	7	1,4
<b>Proximidad a los competidores</b>	<b>0,07</b>	8	0,56	8	0,56	8	0,56
<b>Cercanía al mercado consumidor</b>	<b>0,16</b>	9	1,44	9	1,44	8	1,28
<b>Estructura legal e impositiva</b>	<b>0,07</b>	9	0,63	8	0,56	8	0,56
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>8,93</b>		<b>8,36</b>		<b>7,7</b>

Tabla 7: Matriz de ponderación para Macrolocalización. Fuente: elaboración propia

#### 4.2.2.1. Ponderación de los factores

- Superficie disponible: se asigna un peso relativo de 0,1 debido a la consideración de futuras expansiones;
- Disponibilidad de servicios: es un factor crítico, ya que la falta de servicios dificulta la ejecución del proyecto y requerirá una inversión adicional en su instalación;
- Mano de obra disponible: al igual que los factores anteriores, tiene un valor significativo, ya que se requiere personal capacitado para realizar diversas tareas en la mayoría de los casos;
- Beneficios promocionales: tiene una ponderación alta, ya que impacta directamente en la rentabilidad del proyecto planteado;
- Cercanía al mercado proveedor: es uno de los factores más importantes a considerar, dado que influye en los costos y tiempos de abastecimiento, teniendo en cuenta el transporte necesario;





- Proximidad a competidores: se le asigna un valor de 0,07 debido a que solo hay dos empresas dedicadas a la producción de biogás en la provincia: Empresa Mendocina de Energía (Las Heras), y Biotek (Maipú), cada una con enfoques distintos en el uso final del mismo;
- Cercanía al mercado consumidor: es similar a la cercanía al mercado proveedor, ya que afecta los costos de transporte y los tiempos de entrega;
- Estructura legal: es fundamental considerar este factor para llevar a cabo cualquier proyecto.

#### **4.2.3. Conclusión**

A partir del análisis realizado, se concluye que el lugar de preferencia para llevar a cabo el proyecto es el departamento de San Rafael, destacándose por la superficie disponible, disponibilidad de servicios, mano de obra disponible, cercanía al mercado proveedor y consumidor.

### **4.3. MICROLOCALIZACIÓN**

La determinación de la ubicación específica del proyecto se realiza utilizando el “método de factores ponderados”, similar al enfoque utilizado para la macrolocalización.

Después de realizar el análisis macro, se ha seleccionado el departamento de San Rafael como la ubicación principal. En esta sección del capítulo, se examinarán las posibles ubicaciones dentro de este departamento para definir la microlocalización de la industria en cuestión.

La provisión de materias primas dependerá de los productores locales ubicados en toda la zona sur de Mendoza. Se considerarán dos sitios potenciales, uno de ellos es el pueblo “El Sosneado”, y el otro es el parque industrial de San Rafael, ubicado en la ciudad.

#### **4.3.1. Factores que influyen en la microlocalización**

Los factores globales analizados para decidir la microlocalización son:

- Proximidad de materia prima;
- Disponibilidad de servicios;
- Disponibilidad de acceso de transporte;
- Costo y disponibilidad de terrenos;
- Costo de transporte;
- Infraestructura para tratamiento de efluentes.

##### **4.3.1.1. Proximidad de materia prima**

La proximidad a los proveedores es un factor crítico debido a su impacto directo en los costos de transporte. Es evidente que el costo de transporte de las materias primas está

determinado por la distancia recorrida y las características de las sustancias transportadas, por lo tanto, contar con proveedores cercanos representa una ventaja significativa.

Con base en esta consideración, se realizará un análisis de dos posibles microlocalizaciones: “El Sosneado” y el parque industrial de San Rafael.

#### **4.3.1.2. El Sosneado**

El Sosneado es un pequeño pueblo ubicado en el departamento de San Rafael. Se encuentra en la zona sur de la provincia de Mendoza, cerca de la frontera con Chile. Su ubicación geográfica se sitúa en la Ruta 40, aproximadamente a 250 kilómetros al sur de la ciudad de Mendoza, la capital provincial.

La principal actividad comercial se basa en el turismo y la explotación de recursos naturales. Además, se caracteriza por su producción agrícola y ganadera. La zona cuenta con tierras fértiles y un clima propicio para el cultivo de diversos productos. Asimismo, la ganadería, especialmente la cría de ovinos y caprinos, es una actividad importante en la región.

Según los datos disponibles, la localidad tiene una población estimada de alrededor de 500 habitantes.



*Figura 6. Mapa satelital de El Sosneado. Fuente: Google Maps*

#### **4.3.1.3. Parque Industrial de San Rafael**

El Parque Industrial de San Rafael es un complejo destinado al desarrollo de actividades industriales en la ciudad de San Rafael. Se encuentra ubicado en el distrito Cuadro Nacional sobre la ruta 146 y Avenida Sarmiento, 20 km al sur de la ciudad, en un predio de 42 hectáreas.

Este parque es un espacio diseñado para albergar empresas de diversos sectores, brindando infraestructura adecuada, servicios y facilidades para promover el desarrollo económico y productivo de la región. Entre las actividades comerciales que se desarrollan, se encuentran la producción de alimentos, productos químicos, metalmecánica, productos plásticos, entre otros.



*Figura 7. Mapa satelital de El Parque Industrial de San Rafael. Fuente: Google Maps*

#### **4.3.1.3. Disponibilidad de servicios**

En el contexto del Parque Industrial San Rafael, se cuentan con los servicios esenciales para el correcto funcionamiento de la planta, tales como suministro de agua, electricidad, gas, entre otros. Por el contrario, en El Sosneado, al no estar designado como una zona destinada a la actividad industrial, requerirá de la preparación y acondicionamiento del terreno alquilado para llevar a cabo la producción de biogás. Esto implica la instalación completa de todos los servicios requeridos para el proyecto.

#### **4.3.1.4. Disponibilidad de accesos de transporte**

La instalación debe disponer de un espacio adecuado que permita el acceso y la salida de camiones y otros medios de transporte, evitando así costos innecesarios de logística.

#### **4.3.1.5. Costo y disponibilidad de terrenos**

Al evaluar los costos, se evidencia una disminución en el caso del Parque Industrial, lo que se complementa con una mayor oferta de terrenos disponibles en esta ubicación.

#### **4.3.1.6. Costo de transporte**

Los costos de transporte dependen de los kilómetros recorridos, por lo que al ponderar este factor se evalúa la distancia que separa la empresa de los mercados proveedor y consumidor.

### **4.3.2. Matriz de ponderación**

Como se mencionó anteriormente, las locaciones a tener en cuenta para el análisis serán, el área industrial de San Rafael y el distrito El Sosneado.

Factores	Peso relativo	Parque Industrial		El Sosneado	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Superficie disponible	0.1	10	1	9	0.9
Disponibilidad de servicios	0.15	10	1.5	6	0.9
Mano de obra disponible	0.15	9	1.35	7	1.05
Beneficios Promocionales	0.1	8	0.8	7	0.7
Cercanía al mercado proveedor	0.2	7	1.4	9	1.8
Proximidad a los competidores	0.07	8	0.56	8	0.56
Cercanía al mercado consumidor	0.16	9	1.44	9	1.44
Estructura legal e impositiva	0.07	9	0.63	8	0.56
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>8.68</b>		<b>7.91</b>

Tabla 8. Matriz de ponderación para Macrolocalización. Fuente: elaboración propia

### 4.3.3. Descripción del sitio seleccionado

El Parque Industrial de San Rafael se sitúa en el distrito de Cuadro Nacional, abarcando un área extensa de 42 hectáreas. Localizado a 20 kilómetros del centro de San Rafael, este parque cuenta con aproximadamente 60 lotes de 2000 metros cuadrados cada uno. Concebido como un espacio destinado a empresas y fábricas, este complejo ofrece una infraestructura robusta y un entorno propicio para el fomento de la actividad industrial.

#### 4.3.3.1. Infraestructura

El complejo ofrece servicios básicos, dentro de los cuales encontramos:

- Gas;
- Energía eléctrica;
- Internet;
- Cloacas;
- Seguridad;
- Luminaria en calles internas;
- Cierre perimetral.

#### 4.3.3.2. Forma de contratación

La forma de contrato es a través de leasing con opción a compra.

#### 4.3.3.3. Régimen de incentivos para la radicación de empresas

En la página web del Gobierno de Mendoza, en la sección correspondiente al Ministerio de Economía y Energía, se detalla que los diez primeros emprendimientos que se establezcan en el



Parque Industrial en los primeros dieciocho meses posteriores al primer llamado a licitación, recibirán un descuento del 50% en el valor por metro cuadrado de las parcelas asignadas.

#### **4.4. CONCLUSIÓN**

Según el análisis realizado el lugar de preferencia para llevar a cabo el proyecto es el Parque Industrial de San Rafael destacándose por la disponibilidad de servicios y terreno para emplazar el emprendimiento, además de la infraestructura que presta el parque.

## CAPÍTULO V: INGENIERÍA DEL PROCESO

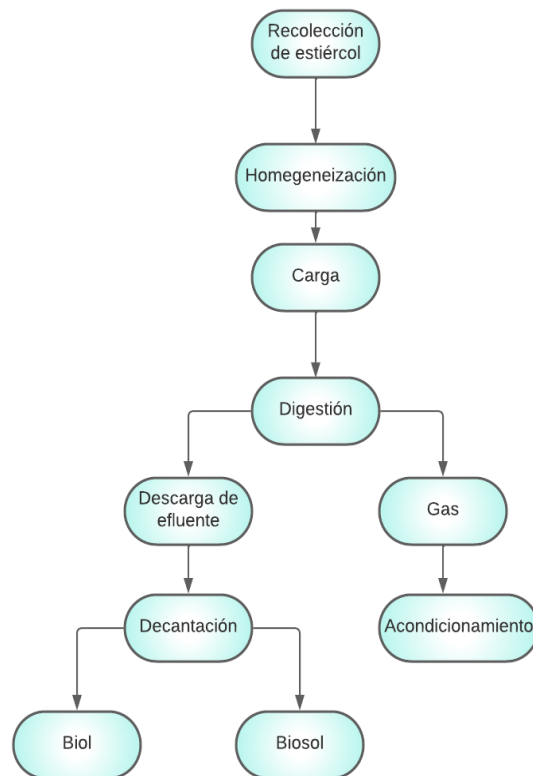
### INTRODUCCIÓN

La Ingeniería de Proceso corresponde a la fase del proyecto en la que se lleva a cabo el desarrollo, evaluación y diseño de los procesos productivos. Se genera toda la información esencial para la ingeniería básica, definiendo los requisitos de materia prima e insumos necesarios para el proceso. Además, se realizan los balances de masa y energía, se diseñan los equipos y se realiza la predicción del comportamiento de los mismos bajo distintas condiciones operativas.

En el presente capítulo se tratan los aspectos relacionados con la ingeniería del proceso de digestión anaeróbica para la obtención de biogás a partir de residuos caprinos.

### 5.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO

El siguiente diagrama muestra la secuencia de etapas del proceso de digestión anaeróbica, desde la recolección del estiércol hasta la purificación del gas y la separación del efluente en Biol y Biosol. Cada etapa se muestra en orden y las flechas indican el flujo de la materia o los subproductos entre las etapas correspondientes.



*Figura 8. Diagrama de bloques. Fuente: Elaboración propia*



## **5.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

### **5.2.1. Recolección de estiércol**

La etapa de recolección de la materia prima es de vital importancia en el proceso, ya que es necesario evitar la contaminación del estiércol con agentes externos que pueden alterar la digestión posterior. Asimismo, una recolección eficiente garantizara un aumento de la cantidad de materia prima, lo que se traduce en una mayor producción de gas.

En nuestro caso, la recolección está externalizada mediante la contratación de un servicio de transporte y recolección. La carga se realiza manualmente utilizando palas. La frecuencia de recolección es mensual, lo que implica un recorrido de 4 puestos por mes, recolectando una cantidad de materia prima de 70000 kg/mes.

Una vez recolectada, la materia prima se transporta mediante camiones hacia la planta, donde se deposita en una pileta de carga para su almacenamiento. Posteriormente, se dirigen diariamente 2000 kg de estiércol a una segunda pileta de menores dimensiones, donde se lleva a cabo su dilución con agua y se somete a un proceso de homogeneización. Este último paso es fundamental para garantizar una mezcla uniforme y consistente de los componentes antes de su posterior tratamiento.

### **5.2.2. Homogeneización**

En la etapa de homogeneización, se busca obtener una mezcla uniforme de la materia prima, lo cual es esencial para facilitar el proceso de biodigestión y permitir un manejo fluido desde el punto de vista técnico.

El sustrato se almacena inicialmente en una cámara de carga diseñada para contener un volumen equivalente a 35 días de operación, incluyendo el agua necesaria para su dilución. Esta cámara está equipada con un sistema de alimentación de agua que facilita la dilución del material y un mecanismo de agitación para asegurar una homogeneización adecuada de la carga.

Antes de su ingreso al reactor, la mezcla de estiércol y agua es precalentada a la temperatura óptima de operación. Este paso es crucial para mantener la actividad metabólica de las bacterias y optimizar la producción de biogás. Al alcanzar la temperatura de trabajo requerida, se garantiza que la mezcla está en condiciones ideales para el proceso de digestión anaeróbica, maximizando así la eficiencia del sistema.

### **5.2.3. Carga**

El estiércol después de haber sido homogeneizado, se introduce en el biodigestor por medio de bombas.



#### **5.2.4. Digestión**

Este proceso se lleva a cabo en biodigestores, que son recipientes herméticos fabricados con materiales que resisten las condiciones corrosivas del ambiente reactivo. Estos están específicamente diseñados para mantener las condiciones ideales necesarias para la digestión anaeróbica de la materia orgánica.

Los principales componentes de un biodigestor incluyen un reactor donde se colocan las materias primas a digerir; un contenedor de gas con accesorios para la salida de biogás, la entrada o carga de las materias orgánicas crudas y la salida o descarga de las materias orgánicas estabilizadas.

Es importante resaltar que el proceso elegido es de naturaleza continua. Se trata de un proceso ininterrumpido con producciones de biogás uniformes en el tiempo bajo condiciones de operación estables. Sin embargo los subproductos líquidos y sólidos (Biol y Biosol), se extraen después de un período de 35 días, una vez que el proceso de biodigestión ha finalizado. Esto asegura que la totalidad de la materia orgánica sea degradada por las bacterias. Por lo tanto, el reactor debe tener la capacidad de contener la materia prima durante este período de tiempo.

##### **5.2.4.1. Reactor**

El reactor es el componente central donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. Los reactores de digestión pueden adoptar diversas formas, como cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque actualmente la mayoría de los tanques construidos son cilíndricos.

El fondo del reactor está inclinado para facilitar la extracción de arena, material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del efluente. Los digestores modernos están equipados con cubiertas fijas o flotantes, cuya función es prevenir la emisión de olores, mantener la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producto. Estos reactores pueden construirse con diversos materiales, incluyendo HDPE, concreto o acero inoxidable.

Generalmente, la alimentación es introducida por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario.

En cuanto a las tuberías de extracción de lodos, suelen estar colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El lodo se extrae por el centro del reactor. Estas tuberías tienen, por lo general 15 cm de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para evitar obstrucciones, y se utilizan para llevar periódicamente el lodo del digestor a un sistema de evacuación de lodos.





La selección del equipo específico para este proyecto se llevó a cabo en el Capítulo VI - Tecnologías, donde además del reactor, se escogieron todos los equipos necesarios para el óptimo funcionamiento de la planta.

#### **5.2.5. Digestato-Descarga**

El digestato, en forma de lodo, es extraído del digestor y posteriormente depositado en una pileta de descarga. En este punto, el digestato debe permanecer un tiempo determinado para permitir su decantación y separación en dos fases: el Biol (fracción líquida), y el Biosol (fracción sólida), los cuales serán descritos en detalle a lo largo del capítulo.

El digestato, una vez decantado y separado en sus dos fases, se extrae mediante el uso de bombas para su posterior almacenamiento en recipientes específicos. El fertilizante puede ser envasado y destinado tanto a la venta como a su aplicación en cultivos agrícolas.

#### **5.2.6. Acondicionamiento del gas**

El biogás, extraído del gasómetro del digestor mediante un soplador que genera presión positiva, se somete a un proceso de acondicionamiento que consiste en el filtrado del gas para eliminar el sulfuro de hidrógeno. Esta etapa es fundamental para acondicionar el biogás, garantizando su idoneidad como combustible y cumpliendo con las regulaciones aplicables para la inyección del mismo en la red de distribución.

### **5.3. PROCESO PRODUCTIVO**

El proceso productivo para la obtención de biogás se compone de tres etapas fundamentales. En la fase inicial, se realiza el pretratamiento de la materia prima con el fin de optimizar la capacidad de recuperación del sustrato y prepararlo para el proceso de digestión anaerobia.

La segunda etapa consiste en la digestión anaerobia, un proceso microbiológico natural que ocurre en ausencia de oxígeno. Durante esta etapa, la materia orgánica se somete a fermentación mediante la acción bacteriana, resultando en la producción de biogás compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono. Además, se genera un fertilizante enriquecido en nutrientes mineralizados que puede ser utilizado directamente por las plantas.

Por último, se encuentra la etapa de fraccionamiento, donde se lleva a cabo la separación del biogás de los subproductos Biol y Biosol resultantes.

#### **5.3.1. Digestión anaeróbica**

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo cinco grandes poblaciones de



microorganismos (Figura 5-2) que catalizan tres procesos consecutivos: hidrólisis, acidogénesis (formación de ácidos) y metanogénesis (formación de metano). Estas poblaciones se caracterizan por estar compuestas por microorganismos de diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor (por ejemplo,  $H_2$ , ácido acético o amoníaco producido de la acidogénesis de aminoácidos). Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH. Para la estabilidad del pH es importante el equilibrio  $CO_2$ -bicarbonato. Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación sintrófica entre bacterias acetogénicas y metanogénicas, creando agregados de bacterias de estas diferentes poblaciones.

Lo anterior implica que las puestas en marcha de los reactores sean, en general, lentas, requiriendo tiempos que pueden ser del orden de meses.

En general, la velocidad del proceso está limitada por la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición de cada residuo. Para sustratos solubles, la fase limitante acostumbra a ser la metanogénesis, y para aumentar la velocidad la estrategia consiste en adoptar diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor. Con esto se pueden conseguir sistemas con tiempo de proceso del orden de días. Para residuos en los que la materia orgánica está en forma de partículas, la fase limitante es la hidrólisis, proceso enzimático cuya velocidad depende de la superficie de las partículas. Usualmente, esta limitación hace que los tiempos de proceso sean del orden de semanas, de dos a tres. Para aumentar la velocidad, una de las estrategias es el pretratamiento para disminuir el tamaño de partículas o ayudar a la solubilización (maceración, ultrasonidos, tratamiento térmico, alta presión, o combinación de altas presiones y temperaturas).

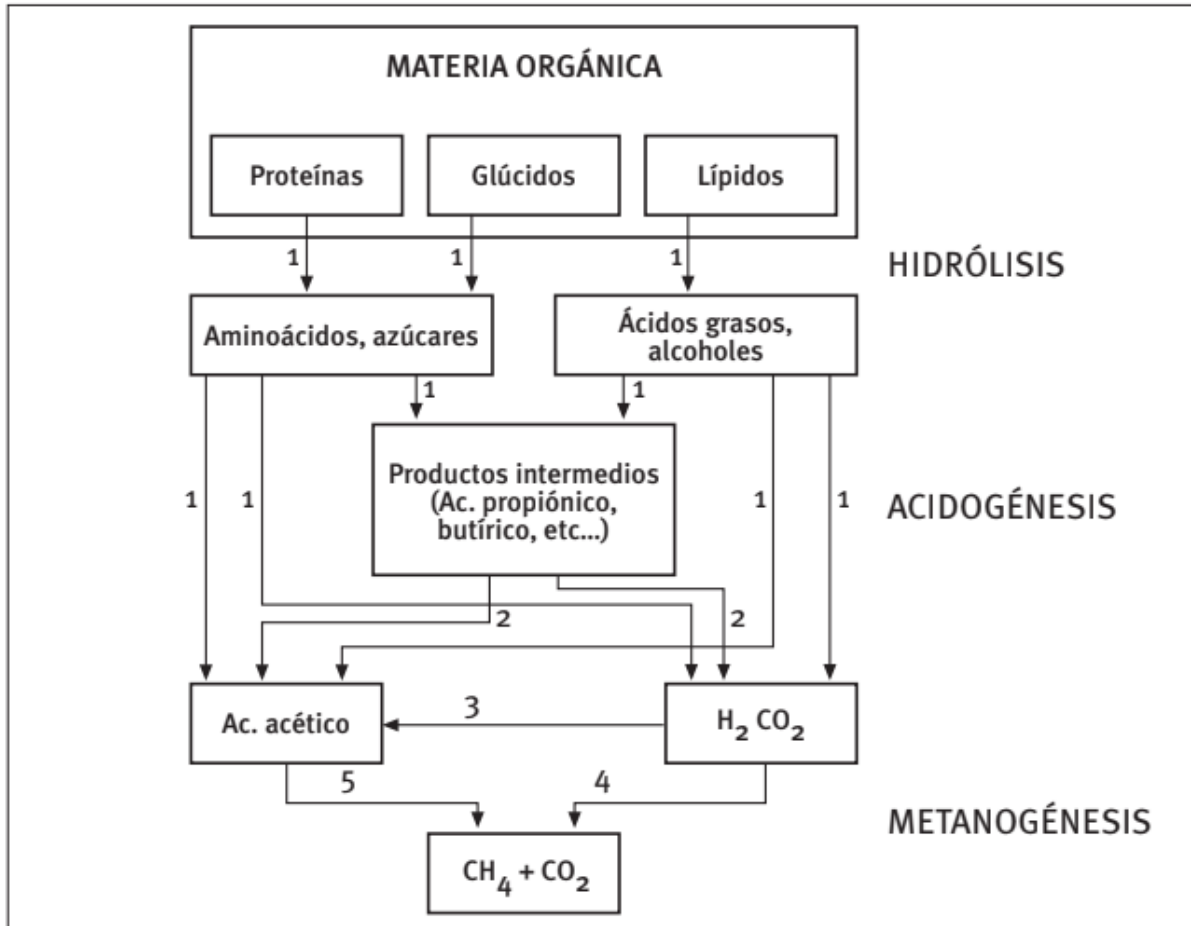


Figura 9. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

A continuación se detallan cada una de estas etapas.

### 5.3.1.1. Hidrólisis y fermentación

La materia orgánica se descompone mediante la acción de enzimas extracelulares, como la celulasa, amilasa, proteasa y lipasa, secretadas por un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias. Estas enzimas tienen la capacidad de descomponer largas cadenas de moléculas como las grasas, proteínas y carbohidratos, convirtiéndolas en monómeros y compuestos simples solubles. En esta etapa del proceso, intervienen bacterias hidrolíticas y fermentadoras.

### 5.3.1.2. Acidogénica

Las bacterias acetogénicas desempeñan un papel importante en esta etapa, convirtiendo los productos intermedios de las bacterias fermentadoras en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas bacterias son facultativas anaeróbicas y tienen la capacidad de crecer en condiciones ácidas. Para producir ácido acético, requieren oxígeno y carbono, utilizando el oxígeno disuelto en la solución. Este proceso de producción de ácido acético crea una condición



anaeróbica que es esencial para las bacterias metanogénicas. Además, reduce los compuestos de bajo peso molecular a alcoholes, ácidos orgánicos, aminoácidos, CO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub> y trazas de CH<sub>4</sub>.

Las bacterias involucradas en esta etapa incluyen: bacterias acetogénicas reductoras de protones hidrógeno y bacterias homoacetogénicas.

### **5.3.1.3. Metanogénica:**

En esta etapa, las bacterias metanogénicas desempeñan un papel clave en la producción de metano a partir de compuestos de bajo peso molecular, como el CO<sub>2</sub>, el hidrógeno y el ácido acético producidos en la etapa anterior. La concentración de hidrógeno tiene un papel fundamental en la regulación del flujo de carbono en el proceso de biodigestión.

Las bacterias involucradas en esta etapa son bacterias metanogénicas anaerobias obligadas.

## **5.4. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA PRODUCCIÓN DE GAS**

La actividad metabólica relacionada con el proceso de metanogénesis se ve influenciada por diversos factores. Debido a que cada grupo bacteriano involucrado en las diferentes etapas del proceso responden de manera distinta a los cambios en los factores, no es posible proporcionar valores cuantitativos precisos sobre el impacto de cada uno de ellos en la producción de gas. Por lo tanto, solo se hará una evaluación cualitativa, complementada en algunos casos con cifras y tablas orientativas, dado que los valores pueden variar significativamente.

Entre los factores más relevantes a tener en cuenta, se abordarán los siguientes: la composición del sustrato (disponibilidad de nutrientes); temperatura del sustrato; carga volumétrica; tiempo de retención hidráulico; pH; relación carbono/nitrógeno; concentración del sustrato; adición de inoculantes; grado de mezcla; y la presencia de compuestos inhibidores del proceso.

### **5.4.1. Materia prima**

La materia prima consiste en residuos caprinos de animales procedentes de la región de El Sosneado. En esta región, las cabras son criadas por pastoreo y por ello parte del día se encuentran en el campo. Se estima que una cabra de 40 kg de peso vivo genera 1,5 kg de estiércol por día, con una concentración de 110 - 290 l/kg de sólidos volátiles. Cuando las cabras se encuentran pastoreando, se estima una pérdida aproximada de 500 gramos de estiércol por animal, debido a la dispersión en áreas extensas. En contraste, cuando las cabras permanecen en el corral, es posible recolectar una cantidad significativamente mayor de estiércol, ya que este se concentra en un espacio limitado, facilitando su recogida y aprovechamiento.

#### 5.4.2. Relación carbono/nitrógeno de las materias primas

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de nutrientes para las bacterias metanogénicas. El carbono proporciona la energía necesaria y el nitrógeno se utiliza para el crecimiento celular. Estas bacterias requieren aproximadamente 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo tanto se considera que la relación óptima entre estos dos elementos en la materia prima, se encuentra en un rango de 30:1 a 20:1. Cuando el residuo no tiene una relación C/N adecuada, es necesario mezclar diferentes materiales en proporciones adecuadas para lograr la relación óptima.

En el caso de materiales que tienen un alto contenido de carbono, superior a 35:1, la descomposición ocurre más lentamente debido a la baja multiplicación y desarrollo de las bacterias, debido a la falta de nitrógeno. Sin embargo el periodo de producción de biogás es más prolongado. Por otro lado, una relación C/N menor a 8:1 inhibe la actividad bacteriana debido a la acumulación de amonio en cantidades tóxicas, lo cual afecta el proceso.

El valor promedio aproximado de la relación C/N para residuos caprinos es de 30:1.

#### 5.4.3. Temperatura del sustrato

El proceso requiere de una temperatura mínima de aproximadamente 4-5° C para su inicio, mientras que se debe evitar superar una temperatura máxima de alrededor de 70° C. Por lo general, se distinguen tres rangos de temperatura, cada uno de ellos asociado con el predominio de ciertos tipos de bacterias.

Bacterias	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrofílicas	4-10° C	15-18° C	20-25° C	Sobre 100 días
Mesofílicas	15-20° C	25-35° C	35-45° C	30-60 días
Termofílicas	25-45° C	50-60° C	75-80° C	10-15 días

Tabla 9. Procesos según la temperatura. Fuente: manual de biogás - Maria Tresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 2011

La actividad metabólica y, en consecuencia, la producción de gas se incrementa de manera proporcional a la temperatura. Sin embargo es importante tener en cuenta que, dado que el proceso no genera calor por sí mismo, se mantendrá la energía externa para lograr y mantener la temperatura adecuada. Asimismo, se debe tener especial cuidado en el mantenimiento a medida que aumenta la temperatura debido a la mayor sensibilidad de las bacterias termófilas a las variaciones térmicas mínimas.

El proceso mesofílico es ampliamente utilizado en la actualidad, aunque cada vez se está implementando más el régimen termofílico con el objetivo de obtener una mayor velocidad del proceso y una mayor eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el régimen termofílico puede ser más inestable ante cambios en las condiciones de operación y presenta desafíos adicionales debido a la mayor toxicidad de ciertos compuestos a altas temperaturas, como el nitrógeno amoniacal y los ácidos grasos de cadena larga. Por lo tanto, se ha optado por mantener una temperatura constante de 35°C dentro del digestor.

La temperatura presenta una estrecha relación con el tiempo de retención hidráulica (THR), que indica el tiempo necesario para la completa degradación de la biomasa dentro del digestor. A medida que la temperatura aumenta, los tiempos de retención se reducen, lo que implica que se requiere un volumen de reactor más pequeño para digerir la misma cantidad de biomasa.

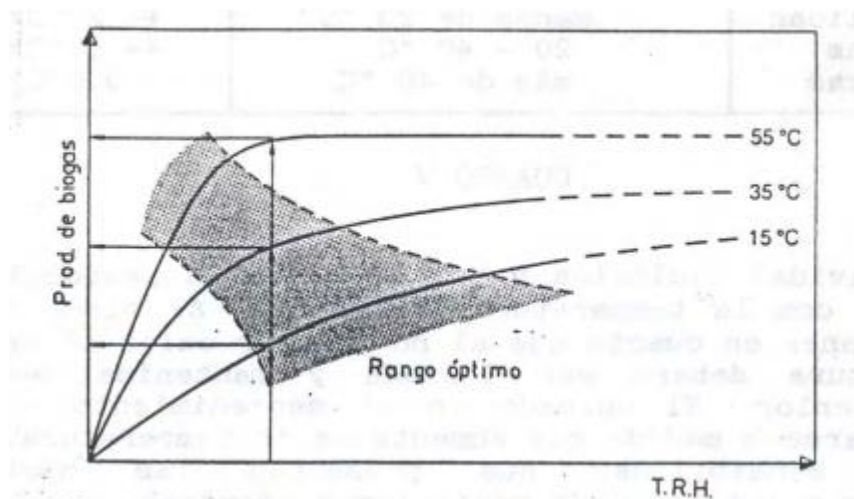


Figura 10. Efecto de la temperatura. Fuente: manual de biogás - Maria Tresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 201

#### 5.4.4. Velocidad de carga volumétrica

La velocidad de carga volumétrica se refiere al volumen de sustrato que se carga diariamente en el digestor y está inversamente relacionado con el Tiempo de Retención Hidráulica (THR), es decir, que a medida que aumenta la carga volumétrica, disminuye el THR. Esta carga se expresa de diferentes formas, siendo las más comunes: kg de material/día, kg de materia seca/día y kg de sólidos volátiles/día, todos expresados por metro cúbico de digestor.

#### 5.4.5. Tiempo de retención hidráulica

En el caso de los digestores continuos o semicontinuos, el tiempo de retención se define como el cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria, expresado en días. Dependiendo del diseño del reactor, el sistema de mezclado y la forma de extracción de los



efluentes, pueden existir diferentes variables entre los tiempos de retención de los líquidos y los sólidos, por lo que es común determinar ambos valores.

Como se mencionó anteriormente, este factor está estrechamente relacionado con dos parámetros clave: el tipo de sustrato y su temperatura. La optimización entre ambas dependerá de la relación costo-beneficio, ya que esto afectará los volúmenes de digester requeridos, los sistemas de control paralelos, la calefacción y la eficiencia en general.

El tiempo de retención mínimo en el digester está determinado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas, ya que la salida de efluentes del biodigester extrae una cantidad específica de bacterias presentes en el líquido. Esta extracción debe ser compensada mediante la multiplicación de las bacterias dentro del reactor para mantener una población estable. Para el rango mesofílico, el tiempo de fermentación es entre 30 y 60 días. Según los estudios y cálculos realizados, se determinó que en nuestro caso el tiempo será de 35 días.

#### **5.4.6. pH**

Es de vital importancia controlar de manera adecuada el pH, ya que el sistema biológico se ve fuertemente influenciado por él, especialmente los microorganismos metanogénicos responsables de la producción de metano. El pH puede fluctuar debido a las características de la mezcla de entrada al biodigester y a los procesos internos que tienen lugar en su interior, como la acidogénesis.

Es esencial realizar un monitoreo periódico del pH tanto en la alimentación como en el efluente del sistema, para estar preparados y poder tomar acciones correctivas antes de que disminuya a un punto crítico en el cual se inhiba el metabolismo de los microorganismos metanogénicos y se vea afectada la producción de biogás.

Para un desarrollo satisfactorio del proceso, es crucial mantener el pH dentro de un rango adecuado, evitando que descienda por debajo de 6 o que supere los 8. En muchos casos, para mantener un pH óptimo en el reactor, es necesario utilizar productos químicos que aporten alcalinidad, como bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de amonio, gas amoniacal, hidróxido de sodio o potasio.

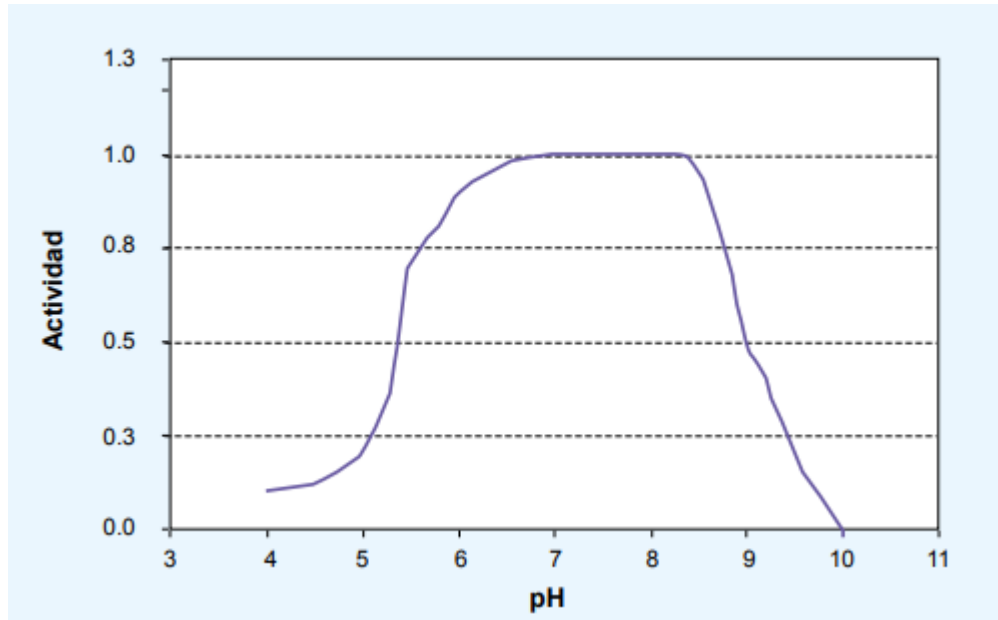


Figura 11. Dependencia del pH de la actividad metanogénica. Fuente: manual de biogás - María Tresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 201

El control de pH en el digestor es esencial para su operación eficiente y se puede lograr mediante dos enfoques diferentes. En primer lugar, se puede ajustar el pH de las materias primas antes de ingresar al digestor mediante la adición de productos químicos adecuados. En segundo lugar, se puede controlar directamente el pH dentro del digestor utilizando un sistema de monitoreo en línea con un medidor de pH conectado a un controlador. En este caso, se programa el valor de pH deseado y la adición de químicos, ya sea ácido o base, se realiza de forma automática.

A continuación se muestra una tabla con datos experimentales de PH sobre muestras frescas y secas de estiércol:

Muestra	Primera Lectura	Segunda Lectura	Promedios	Promedios	Ph
Seca 1	8.09	8.35	8.22	8.17	7.81
Seca 2	8.05	8.22	8.135		
Fresca 1	7.14	7.33	7.235	7.45	
Fresca 2	7.57	7.76	7.665		

Tabla 10. Datos experimentales del PH. Fuente: "acta universitaria"

#### 5.4.7. Contenido de sólidos totales y sólidos volátiles

La composición de la materia orgánica incluye tanto agua como una fracción sólida conocida como sólidos totales (ST). El contenido de sólidos totales en la carga del digestor es un factor crítico que debe considerarse para garantizar un proceso satisfactorio. A medida que aumenta el contenido de los mismos, la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve cada vez más limitada, lo que puede afectar la eficiencia y producción de gas.





Los estudios experimentales han demostrado que en los digestores semicontinuos, la carga no debe contener más del 8-12% de sólidos totales para garantizar un buen funcionamiento del proceso, mientras que en los digestores discontinuos, el contenido de sólidos puede variar entre el 40-60%.

La cantidad de sólidos totales presentes en la materia prima se determina mediante un proceso de desecación del sustrato a 105°C hasta alcanzar un peso constante, y se calcula el coeficiente de extracción por medio de la fórmula:  $(\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) / \text{peso húmedo}$ .

Para calcular la cantidad de agua que se debe mezclar con la materia prima y obtener la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales en la materia prima fresca. En el caso de residuos caprinos, el contenido promedio de sólidos totales está entre el 83-92%.

Es importante tener en cuenta el factor de dilución utilizado en este parámetro, ya que la misma cantidad de material degradable puede cargarse con diferentes volúmenes de agua. En el contexto de este proyecto se utilizó una relación estiércol - agua 1:4.

Por otro lado, el porcentaje de sólidos volátiles (SV) se obtiene sometiendo la muestra seca a una temperatura de 560°C en una mufla durante tres horas, y se calcula el coeficiente de extracción mediante la fórmula:  $1 - \{(\text{peso seco} - \text{peso ceniza}) / \text{peso seco}\}$ . Los SV consisten en componentes orgánicos que, en teoría, deberían convertirse en metano.

#### **5.4.8. Inhibidores de la metanogénesis**

La presencia de sustancias tóxicas en el sistema puede inhibir el proceso de digestión anaerobia. Estas sustancias pueden estar presentes en las materias primas que ingresan al digestor o ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos. El primer grupo incluye sustancias como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, mientras que el último grupo mencionado incluye sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga. Es importante destacar que muchas bacterias anaeróbicas tienen la capacidad de degradar compuestos orgánicos refractarios.

En algunos casos, la toxicidad de una sustancia puede reducirse significativamente mediante la aclimatación de la población microbiana al tóxico. Además, a bajas concentraciones, muchas de estas sustancias pueden actuar como estimulantes del proceso.

##### **5.4.8.1. Ácidos grasos volátiles**

La concentración de ácidos volátiles (AGV), que son los principales productos intermedios del proceso, es un parámetro indicativo de la evolución del proceso. Es ampliamente utilizado en sistemas de control debido a su respuesta rápida a las variaciones del sistema.



Durante la degradación anaerobia, la materia orgánica compleja se descompone en compuestos de bajo peso molecular, incluyendo ácidos grasos de cadena corta. Los principales ácidos grasos incluyen el ácido acético, propiónico y butírico, y en cantidades menores, los ácidos iso butírico, valérico, isovalérico y caproico.

En un sistema anaeróbico óptimo, la concentración de AGV en el efluente es baja, generalmente en el rango de 50-250 mg/L. Sin embargo, cuando se rompe la relación simbiótica entre los microorganismos acidogénicos y metanogénicos, los AGV pueden acumularse. Factores como la toxicidad, cambios en las condiciones ambientales o limitación de nutrientes pueden desencadenar la acumulación de ácido acético o hidrógeno. Un exceso de presión parcial de hidrógeno inhibe severamente las bacterias que degradan el ácido propiónico, lo que resulta en su acumulación.

Al igual que el sulfuro y el amoníaco, las formas no ionizadas de los AGV inhiben las bacterias metanogénicas cuando están presentes en concentraciones de 30-60 mg/L. Un aumento en la concentración de ácidos volátiles en el sistema indica una desestabilización del proceso y, en consecuencia, una disminución en la producción de biogás.

#### **5.4.8.2. Hidrógeno**

El hidrógeno es un compuesto intermedio de gran relevancia en el proceso anaeróbico. Sin embargo, su acumulación en el medio puede provocar la inhibición de la acetogénesis, lo que resulta en la acumulación de ácidos volátiles grasos con más de dos átomos de carbono. Esta acumulación de ácidos grasos de cadena larga es un indicador de desequilibrio en el proceso de digestión anaerobia.

#### **5.4.8.3. Nitrógeno amoniacal**

El amoníaco puede encontrarse en las materias primas utilizadas en el proceso de digestión anaerobia o puede ser generado durante la degradación de compuestos orgánicos nitrogenados, como proteínas y aminoácidos. Las proteínas contienen aproximadamente un 16% de nitrógeno, el cual se libera en forma de amoníaco durante el proceso. Aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente esencial, las altas concentraciones pueden limitar el crecimiento bacteriano.

Dentro de las especies de amonio, se ha comprobado experimentalmente que el amoníaco libre tiene un efecto inhibitorio en el proceso, especialmente a pH alcalino. La concentración de amoníaco libre está influenciada por varios factores, como la concentración del sustrato, la relación C/N, la capacidad de amortiguación del medio y la temperatura de digestión. En general, los residuos con mayores proporciones de proteínas y compuestos nitrogenados son más probables a



experimentar inhibición por amonio. Se ha observado que los digestores que operan a temperaturas más altas son más sensibles a la toxicidad del amonio.

#### **5.4.8.4. Sulfatos y sulfuros**

La alta concentración de sulfato en el sustrato puede inhibir el proceso anaeróbico, especialmente la metanogénesis. En presencia de sulfatos, las bacterias metanogénicas compiten con las sulfato-reductoras por los mismos sustratos, pero estas tienen ventajas termodinámicas y cinéticas. Esta competencia determina la proporción de ácido sulfhídrico y metano en el biogás resultante.

El sulfuro también actúa como inhibidor para muchos grupos bacterianos. Se produce durante la degradación de materia orgánica que contiene azufre, como proteínas presentes en residuos orgánicos. En general, los microorganismos metanogénicos son más sensibles que los acidogénicos y acetogénicos, y una concentración de sulfuro de 50 mg/L puede resultar tóxica si los organismos metanogénicos no están aclimatados a los sulfuros.

La forma más tóxica es el sulfuro no ionizado ( $H_2S$ ), por lo que la inhibición es más pronunciada a pH bajo y bajas temperaturas. Su forma ionizada, presenta menor toxicidad. Por lo tanto, la inhibición se produce en dos etapas: competencia por el sustrato entre los microorganismos metanogénicos y sulfato-reductores, y la inhibición directa del crecimiento metanogénico debido a la presencia de sulfuros solubles.

#### **5.4.8.5. Cationes y metales pesados**

Los cationes de metales alcalinos y alcalino-térreos pueden estimular la actividad bacteriana a bajas concentraciones, pero a partir de cierto nivel de concentración pueden volverse tóxicos y disminuir la velocidad de crecimiento. La toxicidad de los cationes aumenta con el peso molecular, siendo los metales pesados los que presentan toxicidad a menor concentración.

Los niveles de inhibición varían según varios factores. Si la introducción gradual de los cationes al reactor permite la aclimatación de los microorganismos, el efecto tóxico es menor. Los metales solubles representan problemas mayores que las formas insolubles. La presencia de sulfuros puede disminuir la toxicidad de los metales al formar sulfuros de metales insolubles (excepto el cromo), que precipitan, lo que puede permitir tolerar las concentraciones elevadas de metales pesados.

Cuando se combinan diferentes cationes, el efecto puede ser más complejo. Algunos cationes pueden actuar de manera antagonista, reduciendo la toxicidad, mientras que otros pueden actuar sinérgicamente, aumentando la toxicidad.



## **5.5. AGITACIÓN - MEZCLADO**

Los objetivos que se buscan con la agitación es poder eliminar los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas, mezclar el sustrato fresco con la población bacteriana, prevenir la formación de costras en el digestor, homogeneizar la densidad bacteriana y evitar la formación de zonas inactivas sin actividad biológica.

Al seleccionar el sistema, la frecuencia y la intensidad de la agitación, se debe tener en cuenta que el proceso fermentativo implica un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La interrupción de este equilibrio, en el cual los metabolitos de un grupo de bacterias sirven de alimento para el siguiente, puede afectar la actividad biológica y reducir la producción de gas.

En la elección del sistema, es importante considerar tanto los objetivos buscados como el riesgo de una presión excesiva, y encontrar un punto óptimo que pueda equilibrar ambos aspectos.

Un objetivo esencial de la agitación consiste en homogeneizar la temperatura de la materia prima para garantizar que se mantenga en el rango adecuado en la totalidad de la carga, especialmente durante el invierno. Para mantener esta temperatura, se utilizará un sistema de serpentines por los que circulará agua caliente proveniente de una caldera. *Detalles adicionales sobre este aspecto se abordarán en secciones posteriores.*

## **5.6. COMPONENTES Y ETAPAS DEL SISTEMA**

La selección de los materiales de construcción para aplicaciones relacionadas con la digestión anaerobia implica considerar una serie de requisitos importantes:

- Resistencia a los esfuerzos mecánicos y térmicos;
- Resistencia al ataque químico: los materiales deben ser resistentes a los productos químicos agresivos presentes en el digestor, como ácidos, bases y compuestos orgánicos corrosivos;
- Disponibilidad local: la disponibilidad de los materiales es un factor importante a considerar para garantizar la viabilidad y el costo efectivo de la construcción del digestor. Se busca utilizar materiales fácilmente accesibles en la región local;
- Compatibilidad ambiental: los materiales deben ser compatibles con el medio ambiente y no generar impactos negativos. Se busca minimizar la generación de residuos y asegurar la durabilidad a largo plazo de los materiales utilizados.

La elección adecuada de los materiales de construcción con base en estos requisitos contribuirá a la eficiencia, durabilidad y sostenibilidad del sistema de digestión anaerobia.

## **5.7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA**

Para realizar el balance de masa, se considera una capacidad de 1376, 15 m<sup>3</sup>/día de biogás, basada en estimaciones derivadas del estudio de mercado y la relación con el tamaño del proyecto.

Se llevará a cabo un balance de masa detallado, teniendo en cuenta que la planta operará de manera continua.

La selección de los equipos que conforman la línea de producción se justifica en función de las alternativas que presenten la mayor viabilidad técnica y económica. Es decir, se busca que la elección de cada equipo específico cumpla tanto con los requerimientos particulares del proceso, como con las restricciones económicas asociadas al proyecto. Este enfoque garantizara la eficiencia y rentabilidad de la planta en su conjunto.

### 5.7.1. Cálculo de materias primas e insumos

La disponibilidad de materia prima en las regiones cercanas a El Pueblo El Sosneado se ha estimado utilizando un enfoque basado en la producción diaria de estiércol de ganado caprino. Según datos promedios, una cabra con un peso de 40 kg genera aproximadamente 1,5 kg de estiércol por día. De acuerdo a testimonios de los residentes locales, se estima que hay alrededor de 48 puesteros, y cada uno de ellos posee, en promedio, unas 500 cabras, lo que resulta en un tratamiento de 2000 kg/día de estiércol. Esto se calculó considerando una producción estimada de 1 kg de estiércol por cada cabra, dado que parte de este se pierde en los terrenos donde las cabras pastan. Se calculó una relación 1:4 estiércol/agua para su dilución y posterior homogeneizado; por lo que se agregan 8000 Kg de agua/ día.

Se considera que el 85% de la materia prima entrante se convierte en biosol + biol, de los cuales un 10% se transforma en biosol y el 90% restante en biol; por otro lado, el 15 % restante es lo que se transforma en biogás.

La corriente de biogás resultante está compuesta principalmente por metano (58%) y dióxido de carbono (30%). En menor proporción están presentes sulfuro de hidrógeno, hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno y oxígeno. Siendo el primero el de mayor relevancia para la comercialización de biogás, ya que debe respetar las normativas vigentes.

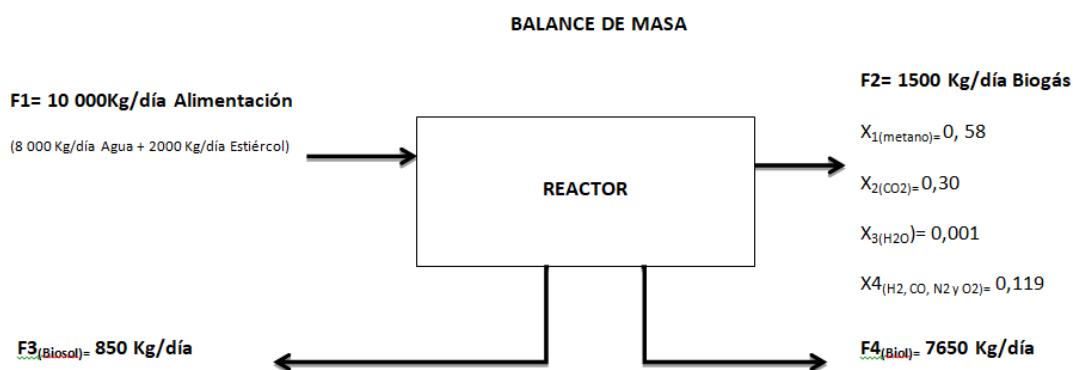


Figura 12. Balance de masa. Fuente: Elaboración propia



### **Balance de masa por componente**

$$\text{CH}_4 = 1500 \text{ Kg/día} \cdot 0,58 = 870 \text{ Kg/día}$$

$$\text{CO}_2 = 1500 \text{ Kg/día} \cdot 0,30 = 450 \text{ Kg/día}$$

$$\text{H}_2\text{S} = 1500 \text{ Kg/día} \cdot 0,001 = 1,5 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Otros} = 1500 \text{ Kg/día} \cdot 0,111 = 178,5 \text{ Kg/día}$$

### **Composición molar del biogás**

A continuación, se llevará a cabo el análisis de la composición molar del biogás con el propósito de verificar su conformidad con las normativas vigentes para el gas natural. Este proceso permitirá identificar cualquier discrepancia y determinar los tratamientos adicionales que puedan ser necesarios para ajustar las características del biogás y cumplir con los requisitos necesarios para su comercialización.

- 1 mol de CH<sub>4</sub> 16 gramos  
**54375 moles =X 870000 gramos**
- 1 mol de CO<sub>2</sub> 44 gramos  
**10227 moles =X 450000 gramos**
- 1 mol de H<sub>2</sub>S 34 gramos  
**44 moles =X 1500 gramos**
- 1 mol de H<sub>2</sub> 2 gramos  
**22312 moles =X44625 gramos**
- 1 mol de CO 28 gramos  
**1594 moles =X 44625 gramos**
- 1 mol de N<sub>2</sub> 28 gramos  
**1594 moles =X44625 gramos**
- 1 mol de O<sub>2</sub> 32 gramos  
**1395 moles =X44625 gramos**

Basándonos en los cálculos efectuados, se concluyó que el único tratamiento requerido para ajustar el biogás a los niveles permitidos, es la reducción de la concentración de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). El valor obtenido es de 1900 mg/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S en el biogás, mientras que el límite aceptado es de 15 mg/m<sup>3</sup>. En cuanto a los demás componentes principales, los porcentajes molares



en el biogás son los siguientes: 0,4% de inertes, 0,11% de dióxido de carbono y 0,015% de oxígeno. Todos estos valores cumplen con las normativas establecidas.

### **5.7.2. Acondicionamiento del biogás**

Actualmente, se han desarrollado tecnologías de purificación de biogás que abarcan métodos fisicoquímicos y biológicos. Los métodos fisicoquímicos se centran en procesos de absorción, adsorción PSA y filtración por membrana. Por otro lado, los métodos biológicos involucran el uso de diversos microorganismos como agentes de transformación, formando biofiltros capaces de separar mezclas gaseosas. A continuación se detallan los métodos más comúnmente empleados.

#### **5.7.2.1. Absorción**

El metano y el dióxido de carbono muestran diferentes afinidades con varios líquidos. Al emplear agua como solvente, los componentes ácidos del biogás como el  $\text{CO}_2$ , se disuelven con mayor facilidad que los componentes hidrofóbicos apolares, como los hidrocarburos. El proceso implica la contracorriente del gas y el líquido absorbente, y mediante filtrados sucesivos se logra la pureza deseada. Estos filtros pueden operar mediante platos perforados, columnas empaquetadas, lluvia spray o burbujeo, cada uno con un método distinto de interacción entre el gas y el líquido. El biogás purificado sale por la parte superior de la columna con una concentración de metano superior al 95%. Otros absorbentes populares incluyen mezclas de dimetil éter y polietilenglicol, preferidas por su no toxicidad y falta de corrosividad.

#### **5.7.2.2. Adsorción con tecnología de oscilación de presión (PSA)**

La tecnología de oscilación de presión (Pressure Swing Adsorption), se utiliza en la purificación de biogás para eliminar impurezas como el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno y otros componentes no deseados. A través de este proceso, se logra obtener un biogás de alta pureza que puede ser utilizado como combustible limpio y renovable.

En el contexto de la purificación de biogás, el proceso PSA funciona de la siguiente manera:

- *Adsorción selectiva:* el biogás contaminado es introducido en un lecho adsorbente que retiene selectivamente los componentes no deseados;
- *Desorción:* se aplica una oscilación de presión para disminuir la presión en el sistema, lo que provoca la liberación de las impurezas adsorbidas del lecho;
- *Separación:* las impurezas liberadas son evacuadas del sistema, mientras que el biogás purificado es recolectado para su uso como combustible limpio.



Este proceso se repite cíclicamente, alternando entre las fases de adsorción y desorción para mantener la eficiencia del sistema y garantizar la pureza del biogás producido.

Se pueden utilizar como adsorbentes: carbón activado, zeolitas (compuestos de aluminio y silicio), tamices moleculares de zeolitas y tamices moleculares de carbón. El sistema opera a temperaturas cercanas a la ambiental.

### **5.7.2.3. Métodos específicos de remoción de H<sub>2</sub>S**

El biogás plantea un desafío considerable debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno generado durante el proceso de descomposición anaeróbica de materia orgánica. Dada su toxicidad y capacidad corrosiva, resulta imperativo eliminar este compuesto. Por ejemplo, al combinarse con el vapor de agua presente en el biogás crudo, puede originar ácido sulfúrico, extremadamente tóxico para los motores y sus componentes.

El H<sub>2</sub>S presenta un riesgo incluso a concentraciones superiores a 100 ppm en volumen y puede ser eliminado mediante diversas técnicas. El uso de carbón activado permite la absorción tanto del H<sub>2</sub>S como del CO<sub>2</sub>, catalizando la conversión del H<sub>2</sub>S en azufre elemental (S). Alternativamente, soluciones de NaOH, agua o sales de hierro también pueden emplearse para la desulfuración, convirtiendo el H<sub>2</sub>S en sulfuro de hierro mediante la acción del óxido de hierro.

Aunque los métodos de purificación por adsorción son altamente efectivos, sus costos operativos, especialmente los relacionados con el consumo eléctrico de los compresores de alta presión, pueden restringir su viabilidad en países en desarrollo.

La desulfuración biológica implica el uso de microorganismos para oxidar el H<sub>2</sub>S a compuestos de azufre menos perjudiciales, como el azufre elemental o sulfatos, lo cual puede ocurrir en presencia o ausencia de oxígeno.

### **5.7.3. Balance de energía en el reactor**

Como mencionamos anteriormente con respecto a los principales factores que afectan la producción de gas, se destaca que la actividad metabólica y, por ende, la producción de gas, aumentan de forma proporcional con la temperatura. Sin embargo, dado que el proceso no genera calor intrínseco, se debe recurrir a una fuente externa de energía para alcanzar y mantener la temperatura óptima. Es crucial tener precaución en el mantenimiento a medida que la temperatura se eleva, ya que las bacterias termófilas son más sensibles a las mínimas variaciones térmicas.

Con el fin de mantener la temperatura deseada, se optó por dimensionar la caldera de manera apropiada para esta situación. Dado que el invierno constituye la estación más fría del año, es necesario calentar la materia prima que ingresa desde una temperatura inicialmente baja.



Además, es fundamental mantener la temperatura dentro del biodigestor para garantizar un entorno óptimo para el proceso de digestión anaeróbica.

### 5.7.3.1. Clima en San Rafael

San Rafael presenta un clima continental con marcadas estaciones, caracterizadas por inviernos fríos y veranos calurosos. Durante la temporada de invierno, las temperaturas pueden descender significativamente, con mínimas que alcanzan valores por debajo de los 0°C.

En este sentido, dado que el proceso requiere mantener una temperatura óptima para su eficiencia, es esencial contar con calefacción externa durante los meses de invierno en San Rafael, como se mencionó anteriormente. Esta medida garantizará un funcionamiento eficiente y continuo de nuestra planta. El siguiente gráfico exhibe las temperaturas promedio mensuales.

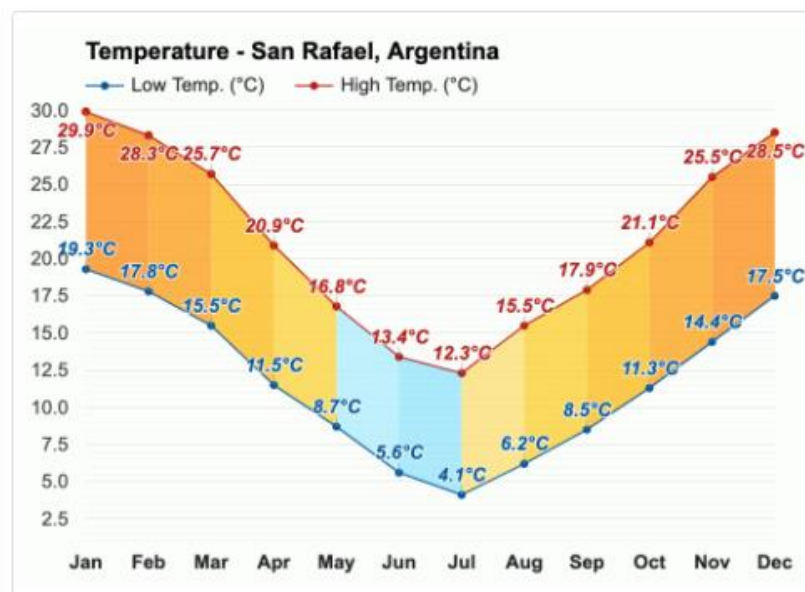


Figura 13. Clima en San Rafael. Fuente: [www.weather-atlas.com](http://www.weather-atlas.com)

Para el cálculo del balance de energía se utilizó un valor promedio de las temperaturas registradas durante los meses de invierno, la cual se sitúa alrededor de los 6°C. Además, se realizó un cálculo adicional considerando la temperatura más baja que podría registrarse, con el fin de dimensionar la caldera de manera adecuada para enfrentar las condiciones más desfavorables a las que nos podemos encontrar.

### 5.7.3.2. Pérdidas de calor

El enfoque para el cálculo de las pérdidas de calor del digestor y la pileta de carga se basó en considerar varios factores, como las propiedades térmicas de los materiales y la ubicación geográfica. Inicialmente, se evaluaron las pérdidas térmicas del digestor construido únicamente en hormigón, encontrando en la bibliografía consultada que se pierde una cantidad aproximada de 56300 kcal/h. Luego, se exploró la opción de enterrar parte del digestor para reducir estas pérdidas,



considerando la capa freática de la zona, que se ubicaba de 3 a 4 metros por debajo de la superficie. Se decidió enterrar el digestor un metro para evitar el contacto con la capa freática, lo que redujo las pérdidas térmicas aproximadamente a 53500 kcal/h.

Para abordar las pérdidas de calor adicionales, se propuso una solución que implica la aplicación de aislantes. Se planificó una estructura que consiste en una capa interna impermeable de acrílico sellador o resina epoxy, seguida por una capa de hormigón recubierta con lana de vidrio y una lámina metálica exterior para protegerla. Con estas capas, se estimó que las pérdidas de calor del digestor se reducirían a aproximadamente 31700 kcal/h.

El calor será distribuido en el digestor a través de un serpentín de cuatro vueltas. También se implementó un sistema de agitación para mejorar la distribución del calor en todo el volumen del digestor.

Estas soluciones fueron implementadas para mitigar las pérdidas de calor y optimizar el funcionamiento del digestor, asegurando una temperatura interior constante y eficiente en el proceso. A continuación se detalla el cálculo del balance de energía.

#### Datos

- $m_1=8000$  Kg/día (masa de Agua);
- $C_{p1}=4,184$  KJ/Kg.°C (Calor específico del agua);
- Temperatura de entrada de la materia prima( $T_1$ ): 6°C;
- Temperatura necesaria en el reactor ( $T_2$ ): 35°C;
- $m_2= 2000$  Kg/día (masa de estiércol caprino);
- $C_{p2}= 2,5$  KJ/Kg°C (calor específico del estiércol caprino)

#### Cálculo:

$$Q = m_1.C_{p1}.(T_2-T_1) + m_2.C_{p2}.(T_2-T_1)$$

$$Q = 8000 \text{ kgdía}.4,184\text{KJkg.}^\circ\text{C}.(35-6)^\circ\text{C}+2000 \text{ kgdía}.2,5\text{KJkg.}^\circ\text{C}.(35-6)^\circ\text{C}$$

$$Q = 1115688 \text{ kJ/día}$$

$$Q = 4442,68769 \text{ Kcal/h}$$

En base al resultado obtenido, se concluye que se requieren 4442,69 Kcal/h para calentar la materia prima en un promedio de 6 horas en los meses de invierno. Por otro lado, teniendo en cuenta que el poder calorífico del gas natural es de 10440 Kcal/m<sup>3</sup>, y haciendo el cociente entre ambos se tiene que el consumo de gas requerido para calentar la alimentación es de 4,257 m<sup>3</sup>/h.

Es relevante mencionar que hemos empleado el poder calorífico del gas natural en nuestros cálculos, bajo la premisa de que el biogás generado ha sido sometido a un proceso de purificación

para eliminar cualquier impureza presente en él. Por lo tanto, se considera que el biogás resultante es lo suficientemente puro como para ser apto tanto para la inyección en la red de distribución como para su uso en la planta.

A continuación se presenta una tabla resumen que detalla la cantidad de kilocalorías requeridas para el precalentamiento de la materia prima en la pileta de homogeneizado según la estación del año. Esta consideración se tomó en cuenta debido a que el consumo de biogás será menor durante los meses más cálidos. Esta variación estacional impacta en el análisis económico del proyecto, ya que la disponibilidad de gas para la venta será mayor en estos meses.

Estación del año	T promedio (°C)	Q promedio (Kcal/h)	Biogás por hora	Total por estación (m <sup>3</sup> )
Verano	30	7662,53	0,734	493,248
Otoño	19	24520,103	2,35	1578,3
Invierno	6	44442,69	4,257	2860,704
Primavera	25	15325,06	1,46	981,12
			<b>Total anual</b>	<b>5913,372</b>

Tabla 11. Balance de energía para precalentamiento por estación, Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las pérdidas de energía, tomando el valor mencionado anteriormente (31700 Kcal/h), se puede concluir que para mantener la temperatura dentro del reactor se necesita proporcionar 760800 Kcal/día. Si realizamos el cociente entre ese calor y el poder calorífico del gas natural (10440 Kcal/m<sup>3</sup>), se requieren 72,874 m<sup>3</sup>/día de gas, significando un total anual de 24777,011 m<sup>3</sup>.

Basándonos en los datos recopilados, se deduce que la cantidad anual de biogás consumida por la caldera es de 30690,383 m<sup>3</sup>, lo que equivale al 6,55% de la producción total anual de biogás.

Para elegir la caldera adecuada, se llevó a cabo un cálculo adicional de balance de energía considerando la temperatura más baja posible durante el invierno. El objetivo era dimensionarla para las condiciones más desafiantes de operación. El calor máximo total requerido en esta situación es de 91467,75 Kcal/h cuando se realiza simultáneamente el precalentamiento y el mantenimiento de la temperatura en el reactor. La descripción de la caldera seleccionada se detalla en el capítulo VI - Tecnología.



## **5.8. DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA**

El análisis de distribución de la planta reviste una importancia crucial, ya que facilita una disposición ordenada y planificada de la maquinaria y equipos, considerando los movimientos lógicos de las materias primas y los productos terminados. Esto asegura una utilización eficiente del equipamiento, el tiempo y las habilidades de los trabajadores.

En este contexto, se determina el espacio asignado a cada área de la planta dentro del área total previamente seleccionada durante el análisis de ubicación. El objetivo es optimizar físicamente la distribución de la planta, lo que implica minimizar la distancia recorrida por las materias primas. Cuanto menor sea esta distancia, mayor será la economía de movimientos y tiempos, lo que incrementa la eficacia y eficiencia operativa de la empresa y, por ende, mejorará su rentabilidad.

Para lograr esta optimización, se adoptará una disposición de las máquinas siguiendo la secuencia del proceso, con la consideración de posibles expansiones futuras de la planta. Además, se dará prioridad a la seguridad, aspecto de suma importancia en este tipo de instalaciones industriales.

### **5.8.1. Determinación del área total**

El área está dividida en: almacenamiento de MMPP, pretratamiento y dilución; sector de producción; área de control y monitoreo (análisis de calidad); sector de mantenimiento; administración; área de almacenamiento y distribución de productos y subproductos; instalaciones de soporte (vestuarios, baños, entre otros).

De esta manera, el área total destinada para la producción de biogás es de 992 m<sup>2</sup>.

#### **5.8.1.1. Recepción de materias primas**

Esta área estará ubicada cerca de la entrada principal de la planta para facilitar la descarga de los materiales. Se asignarán espacios específicos ubicando la zona de descarga adyacente al área de recepción para minimizar los desplazamientos. Aquí estarán ubicadas la pileta de almacenamiento de la materia prima y la pileta de homogeneizado necesaria para preparar el estiércol antes de su ingreso al biodigestor.

Para estimar esta área, a la suma del área ocupada por cada pileta, se le suma un 40%, teniendo en cuenta la seguridad y los elementos necesarios para la instalación resultando en un área total de 42 m<sup>2</sup>.

#### **5.8.1.2. Sector de producción**

El área de producción incluye el biodigestor y los equipos de purificación del biogás, estos están dispuestos siguiendo la línea de proceso.



El biodigestor estará en el centro de la planta para facilitar la distribución de los materiales y maximizar la eficiencia operativa. Se designará un área de fácil acceso para el mantenimiento y monitoreo del biodigestor, con espacio suficiente alrededor para la instalación de tuberías y sistemas de agitación.

En cuanto a los equipos de purificación, se ubicaran cerca del biodigestor siguiendo la línea de producción. Se instalará un filtro de carbón activado para la desulfuración del biogás.

El cálculo del área del sector se basa en el espacio ocupado por los equipos, junto con el espacio adicional necesario para su operación, según las especificaciones técnicas. Este cálculo se realiza con el objetivo de garantizar la seguridad y la movilidad óptima de los operarios durante las operaciones diarias de la planta y durante el mantenimiento. Además, se reserva un porcentaje adicional para incluir los accesorios necesarios para la instalación de los equipos.

En conclusión, se le suma un 40% más para incluir lo descrito anteriormente, resultando que el área de producción ocupa 331 m<sup>2</sup>.

### **5.8.1.3. Área de almacenamiento y distribución de productos y subproductos**

Se destinará un área para el almacenamiento de productos finales, como biogás purificado y fertilizantes orgánicos. Esta área estará diseñada para facilitar la carga y descarga de productos y su distribución a clientes o instalaciones de almacenamiento externas. Además, se tendrá un espacio específico para la pileta de descarga en donde se almacenará el digestato para su decantación. Se dispondrá de un gasómetro en el cuál se almacenará el gas proveniente del biodigestor.

El espacio destinado a este sector es de 300 m<sup>2</sup>.

### **5.8.1.4. Sector para análisis de calidad**

Este sector será dedicado a la instalación de un laboratorio destinado al control de calidad de los productos, subproductos y materias primas necesarios para el proceso. El diseño del laboratorio se basa en criterios de eficiencia, donde se busca minimizar la distancia que el personal debe recorrer para realizar las diferentes etapas de los procesos analíticos.

Para llevar a cabo los análisis, es esencial contar con servicios como agua, electricidad y gas natural, además de sumideros, campanas de humo, instrumental de laboratorio, estanterías para reactivos y espacio para limpieza y almacenamiento del instrumental de vidrio. Con el fin de garantizar una rápida evacuación en caso de incendio u otras emergencias, se planifica la presencia de dos entradas/salidas en el edificio.



Las dimensiones del laboratorio se determinan comparando con instalaciones de características similares, resultando en un área de 15 m<sup>2</sup> para permitir un control de calidad adecuado del proceso.

#### **5.8.1.5. Estacionamiento**

Se ha designado un área específica para la protección de los vehículos de los empleados de la planta y de cualquier individuo que acceda a las instalaciones, incluyendo clientes y proveedores. Además de su función principal, este sector está concebido como punto de encuentro en situaciones de emergencia. El diseño de este espacio ha sido planificado para albergar hasta cinco vehículos dado el tamaño de la planta, con cada estacionamiento dimensionado en 6x3 metros. En su totalidad, esta área ocupa un espacio de 100 m<sup>2</sup>.

#### **5.8.1.6. Sanitarios y vestidores**

Conforme a las regulaciones laborales vigentes, se establece como requisito la construcción de instalaciones sanitarias que cubran las necesidades básicas de los trabajadores.

En el terreno asignado a la planta, se ha designado una superficie de 25 metros cuadrados para la edificación de los sanitarios y vestuarios correspondientes.

#### **5.8.1.7. Oficinas administrativas**

En el sector de la planta, se instalarán oficinas que ocupan un espacio de 25 m<sup>2</sup> para las tareas administrativas y un lugar designado, para llevar a cabo reuniones interdisciplinarias.

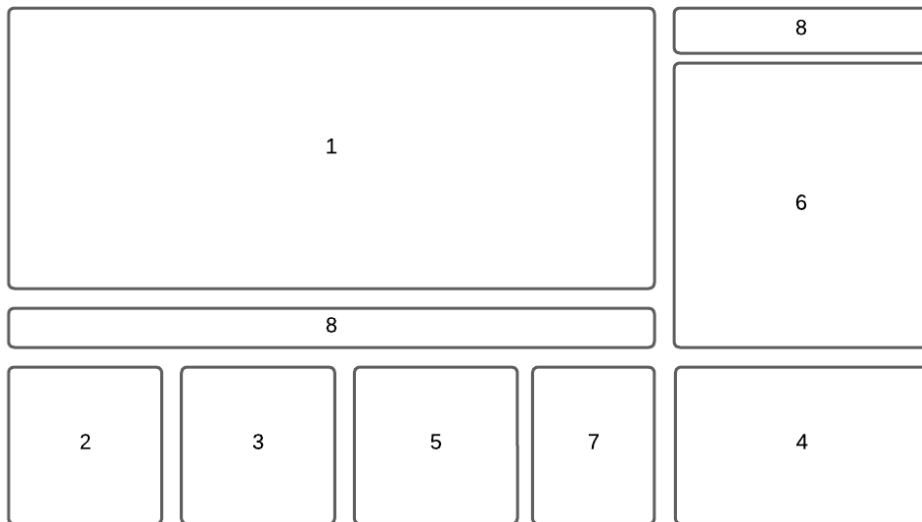
### **5.8.2. Distribución general**

Basándonos en los parámetros definidos a lo largo de este capítulo, se concluye que el funcionamiento óptimo de la planta requiere un terreno de 992 m<sup>2</sup> de superficie. Esta área se caracteriza por ser rectangular, con una longitud de 50 m y una anchura de 19,84 metros.

En la figura 5-7 se presenta de manera esquemática la disposición de los distintos sectores necesarios para llevar a cabo el proceso de producción de biogás. Es importante destacar que, para



simplificar el diagrama, la zona de producción engloba el almacenamiento de las materias primas.



*Figura 14. Layout. Fuente: Elaboración propia*

REFERENCIAS

- 1- Producción
- 2- Calidad
- 3- Mantenimiento
- 4- Estacionamiento
- 5- Sanitarios y vestidores
- 6- Almacenamiento de Biol y Biosol
- 7- Administración
- 8- Ingreso y egreso de camionetas de planta



## **CAPÍTULO VI: TECNOLOGÍA**

### **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se describen las tecnologías utilizadas en cada etapa del proceso de producción de biogás a partir de desechos caprinos.

El objetivo es seleccionar la maquinaria más adecuada para el proceso productivo y encontrar el proveedor más conveniente. Esto implica evaluar no solo el costo de la maquinaria, sino también considerar la ubicación, forma de pago, entrega, plazos y confiabilidad del proveedor.

Para el cálculo y diseño de los diferentes equipos necesarios, se evalúan los flujos a tratar en cada caso específico. La elección de una alternativa determinará las diferentes necesidades, como equipos y materiales, requisitos de personal, espacios físicos y obras necesarias. Posteriormente, se realizarán los cálculos de los diversos costos del proyecto.

### **6.1. BIODIGESTOR**

Un biodigestor consiste en un recipiente hermético diseñado para la fermentación anaeróbica de desechos orgánicos, usualmente mezclados con agua, con el fin de ser descompuestos por una variedad de microorganismos. Estos digestores pueden ser construidos bajo tierra o sobre la superficie, utilizando materiales como ladrillos, acero, concreto, plástico, entre otros.

En estos sistemas, se genera biogás al asegurar un entorno con condiciones óptimas para una serie de procesos biológicos, químicos y físicos que resultan en la producción de metano. El gas resultante de este proceso puede ser almacenado en la parte superior del digestor en una estructura conocida como domo o campana de gas. Esta campana puede ser rígida o flotante, e incluso, en algunos casos puede estar separada del digestor formando un gasómetro. Los materiales utilizados para su construcción pueden incluir metal, madera revestida de plástico o ferrocemento. La carga y descarga de los residuos pueden llevarse a cabo mediante gravedad o mediante un sistema de bombeo.

#### **6.1.1. Características**

Para que un digestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

- Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire ya que interfiere con la digestión anaeróbica y, a la vez, impedir las fugas del biogás producido;
- Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados y correctamente aislados;
- Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema;





- Tener acceso para realizar el correcto mantenimiento;
- Contar con un medio para romper las costras que se forman;
- El contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad, aunque no sea un recipiente de alta presión.

### **6.1.2. Ventajas de la producción de biogás mediante biodigestores**

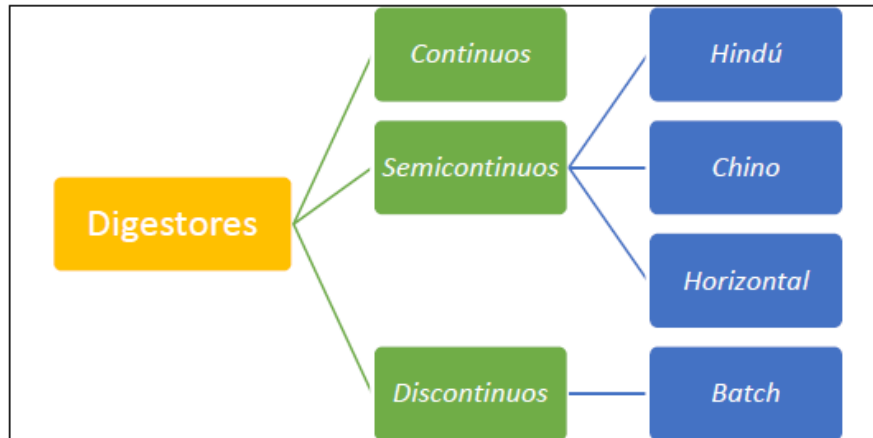
- Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales;
- Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más costosos;
- Es una fuente renovable de energía con diversas aplicaciones (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros);
- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio ( $\text{NH}^{+4}$ ), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. En los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno;
- Control de patógenos: Aunque el nivel de destrucción de patógenos varía de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobrevive el proceso de biodigestión;
- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.

### **6.1.3. Desventajas de los biodigestores**

- El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo;
- Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C. Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos;
- Como subproducto, se obtiene  $\text{SH}_2$  (Sulfuro de Hidrógeno), el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfato reductoras. La presencia de  $\text{SH}_2$  hace que se genere menos  $\text{CH}_4$  disminuyendo la capacidad calorífica del biogás, encareciendo el proceso por la necesidad de depurarlo;
- Se necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor;
- Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles.

#### 6.1.4. Tipos de biodigestores

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga. A fin de simplificar el análisis y comprensión de los distintos tipos de digestores, se agruparán los mismos en el siguiente esquema:



*Figura 15. Clasificación de Biodigestores. Fuente: Bioemia*

A continuación, analizaremos los distintos tipos de biodigestores para seleccionar el más adecuado para nuestro proyecto.

##### 6.1.4.1. Continuos

Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido y el efluente de descarga es igual al material de carga, con producciones de biogás uniformes en el tiempo.

Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Debido a que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente éste se aprovecha en aplicaciones industriales.

##### 6.1.4.2. Semicontínuos

Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó.

Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor hindú y chino.

En la siguiente figura se presentan los diagramas de los reactores semicontínuos más comúnmente utilizados:

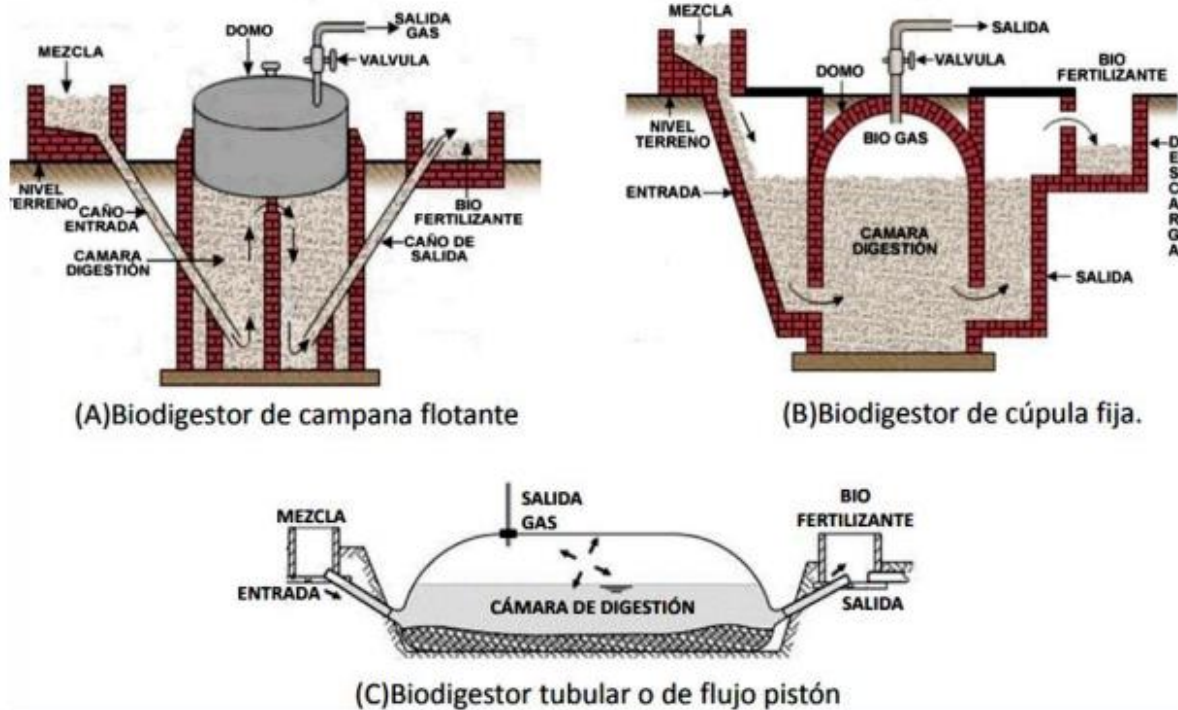


Figura 16. Diagrama de Biodigestores Semicontínuos. Fuente: Manual de biogás

#### A- Biodigestor de campana flotante (Tipo Hindú)

Este biodigestor se compone de un recipiente construido en mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana, que puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, dependiendo de la producción de biogás. La campana debe tener una guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del volumen de gas almacenado. Es conocido como tipo hindú y se utiliza cuando se necesita un suministro continuo de biogás y fertilizante, funcionando como depósito del gas producido.

##### Características Generales:

- Este tipo de biodigestor se encuentra enterrado y con una disposición vertical, posee una cámara de digestión cilíndrica y una campana gasométrica flotante, generalmente construida en hierro;
- La carga se realiza por gravedad una vez al día o cada dos/tres días, dependiendo de la disponibilidad de materia prima, con un volumen de mezcla determinado por el tiempo de fermentación;
- El vaciado completo se realiza solo en casos de reparación o limpieza;



- El gasómetro está integrado al sistema, flotando en la parte superior del pozo y almacenando el gas. Esto garantiza una presión constante y eficiente operación de los equipos alimentados;
- La entrada de carga diaria por gravedad provoca agitación y la salida de lodos digeridos, los cuales se dirigen a una pileta;
- Presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generando entre 0.5 y 1 volumen de gas por volumen de digester por día.

#### *Ventajas:*

- La mampostería tiene una larga vida útil;
- La presión de gas es constante y fácil de manejar.

#### *Desventajas:*

- El costo de construcción de la campana puede ser elevado;
- La campana metálica puede corroerse, requiriendo tratamientos especiales que aumentan la inversión inicial, operación y mantenimiento.

### **B- Biodigester de campana fija (Tipo Chino):**

Este biodigester se compone de un digester construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado que almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación se desplaza hacia el tanque de compensación, y al extraer el gas, la masa líquida regresa al biodigester. Con oscilaciones constantes de la masa en la parte superior, se evita la formación de una capa flotante. También conocido como biodigester Chino, se utiliza en instalaciones con consumo continuo o para almacenar biogás en un depósito separado.

#### *Características Generales:*

- Tanques cilíndricos totalmente enterrados con techo y piso en forma de domo;
- No cuenta con gasómetro; el biogás se almacena dentro del sistema;
- A medida que aumenta el volumen del gas, la presión aumenta, alcanzando hasta 0,1 atm;
- Se generan entre 0,15 y 0,20 volúmenes de gas por volumen de digester por día;
- La variación de presión afecta la eficiencia de los equipos consumidores;



- Aunque es menos eficiente en la generación de biogás, es excelente para producir bioabono debido a los largos tiempos de retención operativa (30 a 60 días). Se requiere menos tiempo para lograr la misma eficiencia que en los biodigestores tipo hindú (máximo 50% de reducción de materia orgánica).

*Ventajas:*

- Larga vida útil de aproximadamente 20 años;
- Sin partes móviles ni metálicas susceptibles a oxidación;
- Construcción subterránea que lo protege contra bajas temperaturas;
- Costos de construcción más bajos en comparación con el biodigestor de campana flotante tipo hindú.

*Desventajas:*

- Presión de gas no constante y potencialmente alta, requiriendo un sellado cuidadoso e impermeabilización para prevenir escapes;
- La forma esférica del modelo chino almacena gas a presión variable, desplazando líquido hacia una cámara de hidropresión;
- El proceso de carga es semicontinuo, con una primera carga de material celulósico y estiércol, seguida de cargas continuas. La descarga total ocurre después de 120 a 180 días, reiniciando el ciclo.

**C- Biodigestor tubular o de flujo pistón (horizontal):**

La planta de balón consiste en un tubular de material plástico (polietileno, PVC, plastilina, combinación de estos, entre otros) completamente sellado. Las entradas y salidas están directamente conectadas a las paredes del tubular. El 75% inferior del volumen constituye la masa de fermentación, mientras que el 25% superior almacena el biogás. Este tipo de planta se recomienda en lugares con predominio de temperaturas altas y constantes.

*Características Generales:*

- Construcción generalmente enterrada, de forma poco profunda y alargada, similar a un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 10:1 o más;
- Puede tener sección transversal circular, cuadrada o en "V";



- Operación semi-continua, con carga entrando por un extremo y lodos saliendo por el opuesto;
- La cúpula puede ser rígida o de material flexible que no permita fugas de gas y resista las condiciones climáticas;
- Se recomienda para volúmenes mayores a 15 m<sup>3</sup>, donde excavar un pozo vertical se vuelve problemático.

*Ventajas:*

- Materiales de construcción de fácil transporte e instalación;
- Construcción horizontal adecuada para sitios con alto nivel freático;
- Menor costo de construcción y operación entre los tipos de biodigestores.

*Desventajas:*

- Presiones de gas relativamente bajas;
- Vida útil corta, entre 3 y 8 años según el material seleccionado;
- Necesidad de protección contra los rayos solares;
- El material plástico puede dañarse, siendo recomendable su protección o cerrar el área circundante al biodigestor.

#### **6.1.4.3. Discontinuos o régimen estacionario**

Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo iniciando un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch.

#### **6.1.5. Biodigestor seleccionado**

En base a las características de este proyecto, que implica el uso de un biodigestor con una abundante oferta de materia prima, en un entorno exclusivamente agropecuario con vastas extensiones de terreno; y al comparar las características previamente mencionadas en relación con las tecnologías utilizadas para construir diversos tipos de biodigestores, incluyendo sus condiciones operativas, ventajas y desventajas, se concluye que en este caso en particular, la

configuración más apropiada consiste en diseñar y construir un biodigestor continuo con geomembrana.

Este tipo de tecnología se adecua especialmente a producciones a gran escala y, aunque implica costos superiores en su construcción y mantenimiento, ofrece una mayor versatilidad en términos de producción y operación. Es esencial destacar que la generación de estiércol no es constante durante todo el año, sino que experimenta un crecimiento aproximadamente lineal (proporcional al aumento de peso del animal y al nacimiento de crías) desde noviembre hasta enero.

Dado que la región donde se instalará experimenta bajas temperaturas durante el invierno, resulta crucial considerar la posibilidad de enterrar el biodigestor, aprovechando la inercia térmica proporcionada por el terreno. Esto tiene como objetivo reducir la cantidad de energía requerida en dicho período para garantizar una calefacción adecuada del digestor.

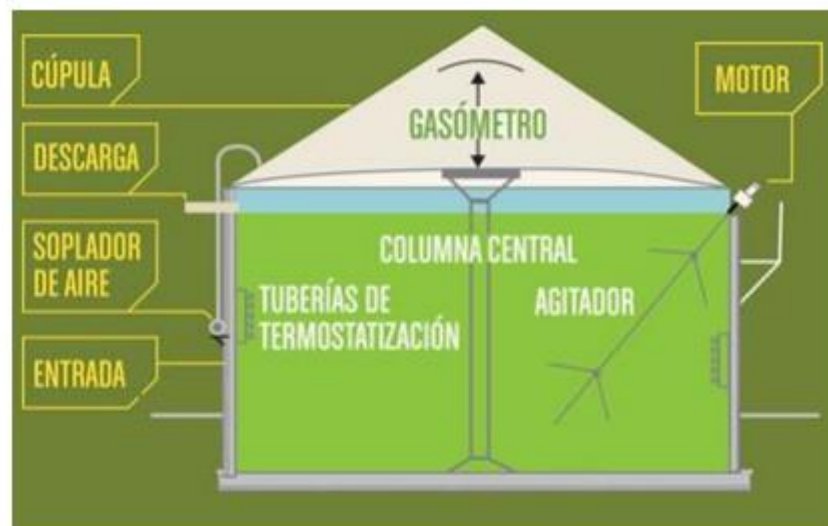


Figura 17. Esquema de la tecnología del digestor continuo con geomembrana. Fuente: Manual de biogás

#### 6.1.5.1. Dimensionamiento

Para dimensionar un biodigestor resulta necesario conocer la tasa diaria de alimentación y el TRH. Esta última variable guardará una relación directa con la temperatura de operación elegida. El producto del volumen de carga por el Tiempo de Retención (TR) determina el volumen total con el que debe contar el digestor. También consideramos que la densidad de la mezcla estiércol-agua es de  $978 \text{ Kg/m}^3$ .



$$\text{Volúmen del biodigestor} = \frac{8000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} + 2000 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{978 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * 35 \text{ días}$$

$$\text{Volúmen del biodigestor} = 357,87 \text{ m}^3$$

Como se estableció previamente, el tiempo de retención se fijó en 35 días. Tras la carga inicial de sustrato orgánico, las dimensiones del digestor se ajustaron de manera que pudiera contener la cantidad de materia generada durante este período de 35 días, tiempo en el cual se comenzaría a extraer la materia degradada.

Con respecto al volúmen anterior, se le agrega un porcentaje de seguridad del 20%, según las normas API-ASME para el diseño de tanques de almacenamiento, quedando de esta forma un volúmen de 429, 44 m<sup>3</sup>. Este porcentaje correspondiente a un volúmen de 71,57 m<sup>3</sup>, contempla el alojamiento de los gases generados en la digestión y evita el arrastre de líquidos en la corriente de extracción del biogás.

Una vez recopilados estos datos, se procedió a realizar el cálculo de las dimensiones del digestor requerido para la planta. Utilizando criterios de diseño para tanques industriales, se tienen los siguientes valores de altura y de diámetro.

Para un biodigestor cilíndrico, hemos adoptado un diámetro interior de 10 metros y una altura aproximada de 5 metros. Estas medidas garantizan un volúmen total de 357, 87 m<sup>3</sup>; dejando el espacio restante para funcionar como gasómetro (71,57 m<sup>3</sup>). De esta manera el área total que ocuparía el terreno del biodigestor sería aproximadamente 236 m<sup>2</sup>.

#### **6.1.6. Principales componentes de una estación biodigestora**

##### **Cámara de carga**

Debe permitir introducir el material orgánico disponible al biodigestor, mezclado con la cantidad adecuada de agua (que puede ser caliente, ya que favorece la velocidad de degradación y la homogeneización).

##### **Cámara de digestión**

Constituye el elemento principal del biodigestor, permitiendo que el material permanezca el tiempo necesario, en ausencia total de oxígeno. Dicha cámara debe estar dotada de elementos para la agitación de la masa en digestión, con el fin de que se logre un mejor contacto entre el sustrato que ingresa y las bacterias que contiene.





### **Conducto de carga**

Comunica la cámara de carga con el biodigestor propiamente dicho. Por el mismo circula el material ya preparado, transportándose mediante bomba centrífuga.

### **Conducto de descarga**

Posibilita la extracción del material estabilizado, que ya ha cumplido el tiempo de residencia dentro del biodigestor. Se transporta hacia la pileta de descarga mediante bomba centrífuga.

### **Agitador**

Puede construirse colocando un caño camisa que se instala en forma inclinada dentro de la cámara de digestión, mediante una unión que impide pérdidas de líquido hacia el exterior. También debe sobresalir hacia el exterior por sobre el nivel de descarga del líquido. Dentro de este se coloca un caño “eje” sobre el cual se ajusta una paleta mezcladora. El impulsor puede ser de placa plana, o con forma de hélice, el cual se hace girar sobre su eje. El movimiento desde el exterior se logra mediante una manija accionada manualmente, dado que es suficiente realizar una suave agitación, que también ayuda el desprendimiento de biogás.

## **6.1.7. Recomendaciones para la construcción y manejo del biodigestor**

### **Elección del lugar**

Haciendo un balance de las actividades que implica mantener un biodigestor en funcionamiento, sin duda, tiene una incidencia preponderante, el movimiento o acarreo de los residuos hasta la pileta de carga del biodigestor. Debido, principalmente, a que éstos se encuentran, con un contenido de agua del orden del 70%, en promedio, la instalación debe encontrarse próxima al sector de generación de los residuos.

### **Ambiente**

La instalación debe estar ubicada de forma protegida por los vientos fríos del invierno, generalmente del sur, a fin de que la temperatura pueda mantenerse lo más constante posible. También se debe procurar que reciba la máxima insolación posible durante todo el año, evitando sombras prolongadas durante el día.

La temperatura de cada zona tiene una singular influencia en la adopción del tiempo de residencia de los sólidos a degradar y, en consecuencia, en el volumen de la cámara de digestión.

En zonas serranas donde predominan las amplitudes térmicas, lo ideal es colocar gran parte del biodigestor bajo tierra y de esta forma se evitaría que la flora microbiana sufra grandes cambios y paralice la producción de biogás



## **Manejo**

El material para el biodigestor se prepara en una balsa o contenedor donde se diluyen los residuos en agua dejando un porcentaje de sólidos totales del 8% al 12% aproximadamente.

En el biodigestor se coloca la mezcla diluida preparada por primera vez, y se deja el tiempo necesario, según el volumen y temperatura, el cual puede variar entre 10, 20 ó 30 días, para que la flora se acondicione y empiece a actuar. Cuando el biodigestor comienza a funcionar, la cantidad de mezcla que se coloca dependerá tanto de lo extraído como de lo ya digerido. La frecuencia estará dada por la cantidad de biogás producido.

La campana o tapa debe ser de un material pesado que pueda resistir la presión ejercida por el gas.

La conversión en biogás de cada kilogramo de materia orgánica es mayor, a medida que se incrementa el tiempo de retención. Esto se debe a que a medida que la flora anaeróbica tiene más tiempo para actuar sobre el material, mayor será su degradación y mejor será el rendimiento del biogás por unidad de materia alimentada. También se mejora la calidad de abono obtenido.

Para una instalación rural en la que el biodigestor se entierra, se sugiere establecer un tiempo de residencia de aproximadamente 35 a 40 días. Esto se considera una solución de compromiso que equilibra todas las variables relevantes puestas en juego.

## **6.2. SISTEMA DE CARGA**

### **6.2.1. Pileta de almacenamiento y pileta de pretratamiento de la MMPP**

El dimensionamiento de la pileta de almacenamiento se realizó para garantizar la capacidad de contener la máxima cantidad de materia orgánica generada durante un ciclo de recolección (un mes).

Para calcular el tamaño de la pileta de carga, se determinó el volumen máximo de materia orgánica generada, correspondiente a la etapa final del ciclo de recolección. Este cálculo consideró un total aproximado de 70.000 kg de estiércol por ciclo.

Considerando que la densidad del estiércol es de  $900 \text{ kg/m}^3$ , el volumen correspondiente para los 70.000 kg de estiércol es de  $77,78 \text{ m}^3$ : por lo que el volumen total de la pileta de almacenamiento debe ser de  $80 \text{ m}^3$ . Se determinó que la pileta deberá tener 10 m de largo, 2 m de ancho y 4 m de profundidad.

Dada la naturaleza continua del proceso, se ha decidido implementar una segunda pileta de menor tamaño para llevar a cabo el pretratamiento de la materia prima que será introducida diariamente en el biodigestor. En este espacio, no solo se realizará la dilución del estiércol, sino



que también se llevará a cabo el precalentamiento necesario para alcanzar una temperatura de 35°C, que es la temperatura de trabajo óptima del reactor.

El dimensionamiento de esta pileta se realizó considerando que debe contener una mezcla diaria de agua y estiércol con un total de 10000 kg/día, con una densidad de 978 kg/m<sup>3</sup>. Además, se ha diseñado para que sea capaz de contener un volumen correspondiente a dos días de pretratamiento, de manera que se encuentre preparada para enfrentar cualquier eventualidad. El volumen total de esta pileta es de 20,44 m<sup>3</sup> y sus dimensiones son: 5,11 metros de largo, 2 metros de ancho y 2 metros de profundidad.

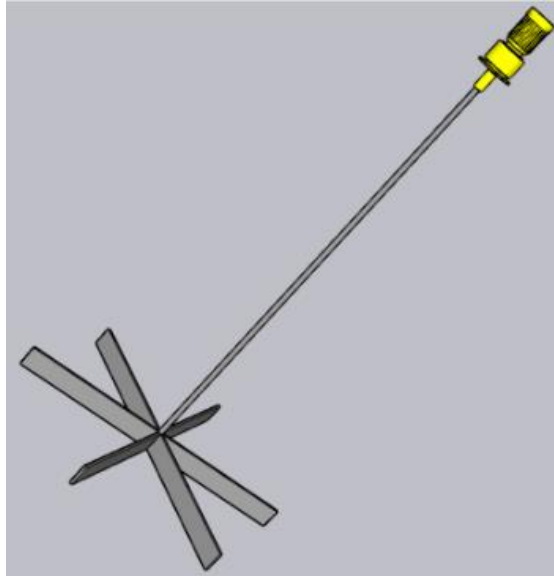
### **6.2.2. Agitadores**

El sistema de agitación despliega su función en generar la potencia necesaria para obtener una mezcla uniforme y un adecuado régimen de agitación, maximizando la difusión de gases en el líquido y minimizando la generación de esfuerzos cortantes y la presión hidrodinámica local y global. Este enfoque optimiza los procesos de transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa.

La agitación puede llevarse a cabo mediante rodetes o mediante la inyección de aire comprimido o recirculación del biogás, generando burbujas en el sustrato. Estas dos últimas opciones, a pesar de su efectividad, tienden a aumentar la presión interna de la cámara digestora, lo que exige un diseño más cuidadoso. Es importante tener en cuenta que velocidades de agitación excesivamente altas pueden afectar negativamente la actividad biológica dentro del biodigestor.

En cuanto a los tipos de agitadores, se pueden clasificar en paletas, paletas inclinadas, hélices y turbinas, cada una con sus propias características y aplicaciones específicas. Los agitadores de paleta, por ejemplo, son eficaces para problemas sencillos de agitación y funcionan bien a bajas o moderadas velocidades, mientras que las hélices son adecuadas para mantener en suspensión partículas sólidas pesadas. Por otro lado, las turbinas son versátiles y eficaces para una amplia gama de viscosidades. Es fundamental seleccionar el tipo de agitador más adecuado según las necesidades del proceso y las características del sustrato.

Para abordar esto, se ha encontrado en la bibliografía un agitador estándar que satisface estas necesidades. El eje y los álabes están contruidos de acero inoxidable AISI 304 debido a su resistencia a la corrosión en este entorno. El diámetro de las paletas es de 0,57 m y la potencia necesaria del motor es de 3 HP, considerando una velocidad de agitación baja por las razones mencionadas anteriormente.



*Figura 18. Sistema de Agitación. Fuente: Bioemia*

### **6.2.3. Bombas de carga**

Para llevar a cabo el traslado de materia orgánica desde la pileta de carga hasta el digestor, se tomó en consideración la producción de estiércol en el último día del ciclo de recolección, la cual fue aproximadamente de 43 m<sup>3</sup> de estiércol.

Aunque hay una amplia gama de opciones disponibles en cuanto a bombas para transportar estiércol diluido en agua, una opción práctica es la bomba centrífuga. Este tipo de bomba está especialmente diseñada para manejar líquidos con sólidos en suspensión y se emplea comúnmente en aplicaciones de bombeo de aguas residuales, lodos y fluidos viscosos. Además al elegir una bomba para el transporte de estiércol diluido en agua es importante considerar otros aspectos como la resistencia a la corrosión y su eficiencia energética.



*Figura 19. Bomba. Fuente: Catálogo Varisco*

Para manejar esta cantidad de estiércol dentro de un lapso de 3,5 horas, se determinó un caudal de 12,28 m<sup>3</sup>/h. Se eligió una bomba centrífuga autocebante de la marca VARISCO, con una potencia de 1,1 kW a 1450 rpm. Considerando la pérdida de carga en la tubería y la altura de elevación de 5 metros hasta el digestor, se estima una pérdida de presión de alrededor de 7 metros de columna de agua.



**AZIONAMENTI / ENTRAINEMENTS / ACCIONAMIENTOS**



**ST-R S**

- Albero libero
- Arbre nu
- Eje libre

Modello Modèle Modelo	Bocche Orifices Bocas	B	H	H1	L	L1	D j6	Peso Poids Peso
	in	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Kg
ST-R2S	2"	50	340	490	518	584	586	28
ST-R3S	3"	80	432	599	688	678	730	190
ST-R4S	4"	100	502	691	743	773	813	270
ST-R6S	6"	150	578	788	896	808	924	370
ST-R8S	8"	200	714	964	1068	979	1024	560

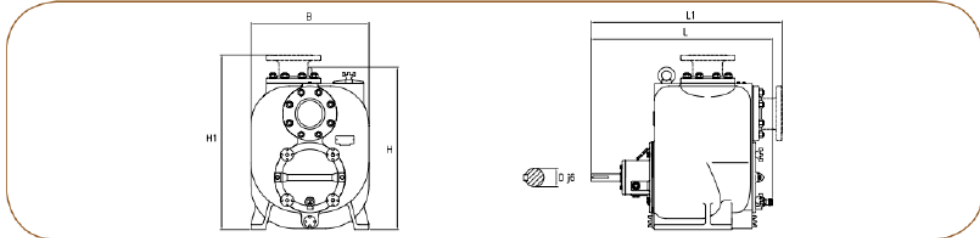


Figura 20. Especificaciones técnicas de bomba seleccionada. Fuente: Catálogo Varisco

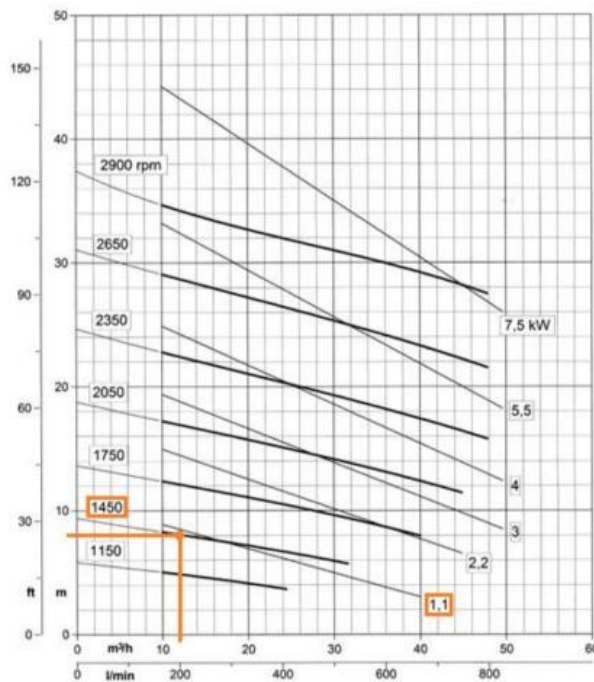


Figura 21. Curva caudal-altura de bomba seleccionada. Fuente: Catálogo Varisco

Se decidió instalar otra bomba con las mismas características para la descarga de efluentes del biodigestor hacia la pileta de descarga. Calculando el diámetro mínimo de la tubería de acero inoxidable, y considerando un caudal de 1,4 m<sup>3</sup>/s como velocidad de circulación de agua sugerida, se determinó una sección mínima de circulación del fluido de aproximadamente 0,002275 m<sup>2</sup>, lo que corresponde a un diámetro mínimo de la tubería de aproximadamente 54 mm. Se optó por el tamaño comercial más cercano, que es de 2(½)” (60,3 mm), de la marca FAMIQ.



CAÑO REDONDO CON  
COSTURA MATE (A-554) 304L  
60.3 x 1.5 mm

INDUSTRIA	NOMINAL	DIÁMETRO	2" - 60.3
CALIDAD	304L	ESPESOR (MM)	1.5
FORMA	REDONDO	NORMA	A-554
DIÁMETRO (MM)	60.3	TERMINACIÓN	MATE
DIÁMETRO (PULG)	2"	GRUPO DE MATERIAL	CAÑO NOMINAL
			C/COSTU

Figura 22. Especificaciones técnicas del caño para calefacción. Fuente: Catálogo Varisco

Dado que la distancia entre la pileta de carga y el digestor es de 23 metros, y hay otros tres metros entre el digestor y la pileta de descarga, se necesitarán 26 metros de tubería en total.

#### 6.2.4. Pileta de descarga del digestato

La pileta de descarga se ha diseñado para tener una capacidad de carga que representa aproximadamente la mitad del volumen del digestor. Sus dimensiones serán las siguientes: longitud de 12 metros, ancho de 10 metros y profundidad de 1,5 metros, resultando en un volumen total de 175 m<sup>3</sup>.

Como se mencionó anteriormente, la materia orgánica descompuesta se dirigirá a esta pileta donde se retendrá durante un periodo determinado para permitir la decantación y así obtener el biol y biosol. La construcción de la pileta de descarga se realizará con geomembrana ya que es más económica que el hormigón debido a las dimensiones requeridas. Además, la geomembrana posee las propiedades necesarias para contener el biofertilizante sin degradarse.

### 6.3. SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE BIOGÁS

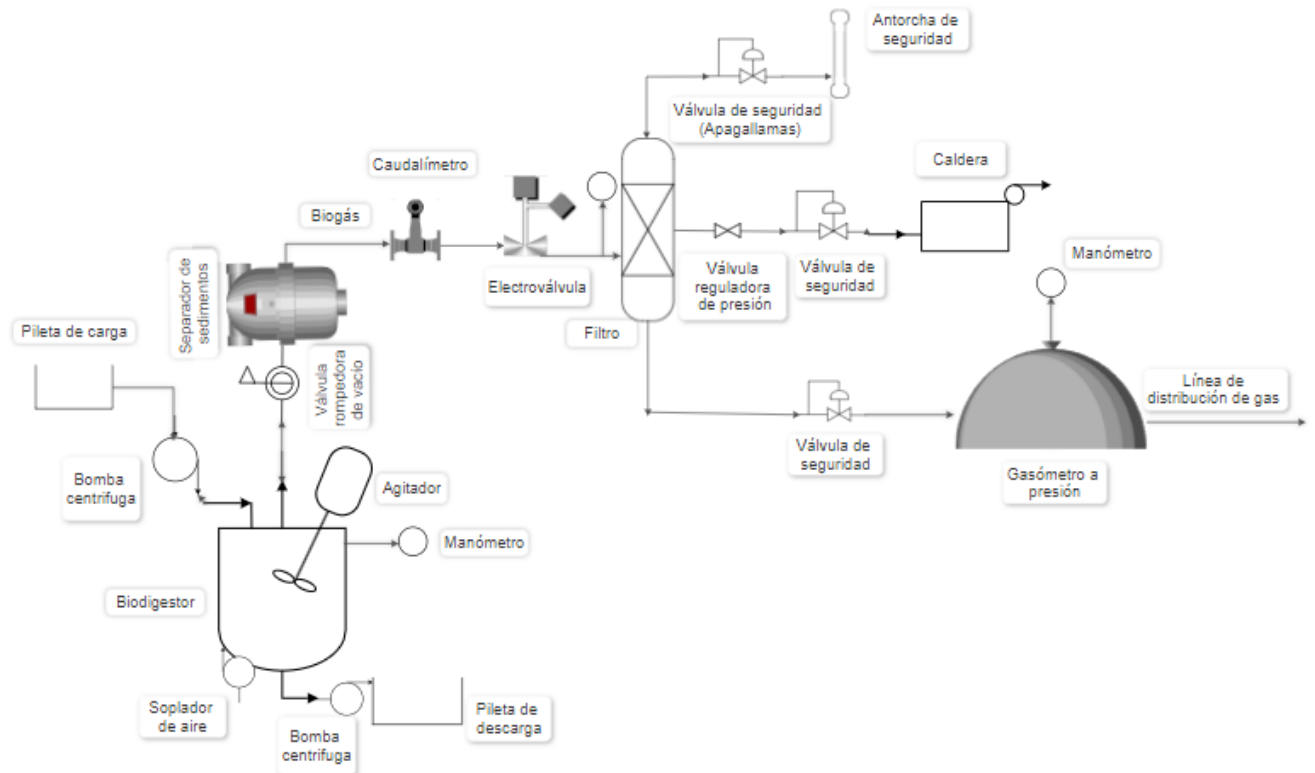


Figura 23. Diagrama general de la planta de biogás. Fuente: Elaboración propia

El sistema de circulación del biogás se inicia en el biodigestor, donde el soplador de aire facilita la extracción de gas generado. A partir de este punto, el biogás atraviesa un caudalímetro que mide la cantidad producida con precisión.

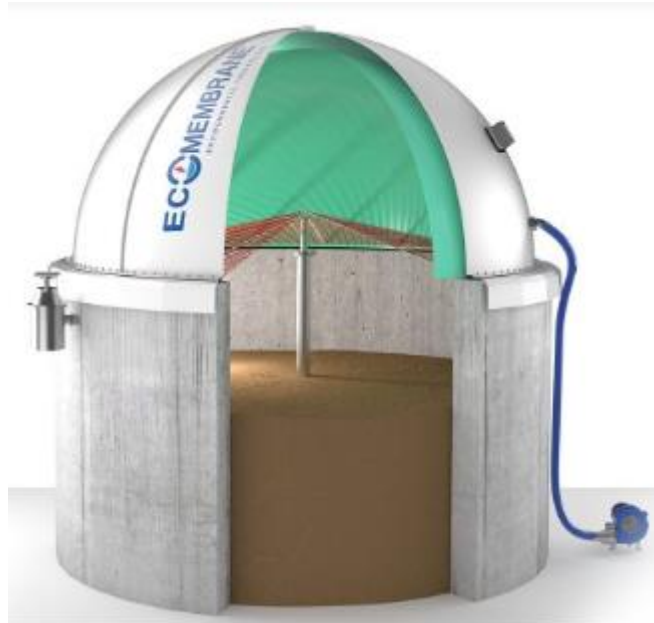
El circuito se divide en tres ramas. La primera, ubicada en la parte superior, incluye una antorcha de seguridad diseñada para quemar el biogás en caso de situaciones anormales, como fallos en la caldera que puedan interferir con el correcto consumo del mismo. Es importante destacar que la combustión del biogás es esencial para prevenir la liberación directa de metano, un gas de efecto invernadero significativamente más potente que el dióxido de carbono y el monóxido de carbono.

La otra rama del circuito se dirige hacia la caldera, y la última hacia el gasómetro a presión, requiriendo un filtrado antes para evitar la entrada de impurezas y gases corrosivos que puedan dañar estos equipos. Tanto la caldera como el gasómetro deben estar equipados con sistemas de regulación de presión y dispositivos indicadores correspondientes, ajustados según las necesidades específicas de cada unidad.

A continuación se describirán las características de los componentes del circuito de gas:

### 6.3.1. Cúpula de gas

Comúnmente, la parte superior del digestor denominada domo, cúpula o campana de gas, se destina al almacenamiento del biogás generado. Este depósito de almacenamiento puede ser rígido o flotante. En los tanques de cubierta fija es posible encontrar un cierre de agua incorporado para proteger la estructura del tanque de posibles presiones excesivas (ya sean positivas o negativas), que se generan al extraer el lodo o el gas de forma demasiado rápida.



*Figura 24. Biodigestor con membrana. Fuente: Ecomembrane.com*

Si la presión de gas supera los 30 cm de columna de agua, se liberará a la atmósfera a través del cierre de agua sin elevar la cubierta. En caso de extraer el lodo o utilizar el gas con excesiva rapidez, el vacío puede descender por debajo de los 20 c.c.a y romper el cierre de agua, lo que permitirá el ingreso de aire al tanque. Si el cierre de agua no estuviera presente, el vacío aumentaría drásticamente y podría dañar el tanque.

La tubería que conecta el tanque de almacenamiento de gas con el digestor también puede proteger este último contra pérdidas del cierre de agua, siempre y cuando el flujo no esté interrumpido. Cuando se introducen líquidos en el digestor, el gas puede desplazarse hacia el tanque de almacenamiento a través de la tubería, y cuando se extraen del digestor, el gas puede regresar al tanque por el mismo conducto.

### 6.3.2. Válvulas de seguridad y rompedora de vacío

Las válvulas de seguridad y la rompedora de vacío se ubican en la misma tubería, pero operan de manera independiente.



La válvula de seguridad está compuesta por un plato cargado con arandelas de peso calibrado. La suma de estos pesos, junto con el peso del plato, debe ser equivalente a la presión de gas proyectada para el tanque (generalmente entre 15 y 20 c.c.a). Si la presión de gas en el tanque supera este límite, la válvula se abrirá y liberará gas durante un breve periodo de tiempo. Esto sucederá antes de que se rompa el cierre de agua. Este puede romperse si la alimentación del tanque es excesiva o si la extracción del gas se realiza de manera muy lenta.

La válvula rompedora de vacío funciona de manera similar, pero su propósito es aliviar las presiones negativas para prevenir el colapso del tanque.



*Figura 25. Válvulas de seguridad. Fuente: Ecomembrane.com*

### **6.3.3. Apagallamas**

El apagallamas típico es una caja rectangular que contiene aproximadamente de 50 a 100 placas de aluminio corrugado con agujeros taladrados. En caso de ocasionarse alguna llama en la tubería de gas, se enfriaría por debajo del punto de ignición al pasar a través de los deflectores, pero el gas podría seguir pasando con poca pérdida de carga.

Para evitar explosiones deben instalarse apagallamas: entre las válvulas de seguridad y rompedora de vacío; en la cúpula del digestor, después del purgador de sedimentos; en la tubería de gas del digestor, y en el quemador de gases en exceso.



*Figura 26. Apagallamas. Fuente: Protectoseal*

#### **6.3.4. Válvulas térmicas**

Se trata de un dispositivo de protección adicional que se coloca en proximidad de una fuente de llama y cerca de la cúpula de gas. Estas válvulas son de forma redonda y cuentan con un plato de cierre conectado a un vástago mediante un resorte. El vástago se apoya sobre un disco fusible que mantiene el plato unido en posición. Si la llama genera suficiente calor, el elemento fusible se funde, permitiendo que el resorte accione el vástago y el plato se ajuste para interrumpir el flujo de gas. Esta acción evita cualquier riesgo potencial asociado con la presencia de llama en el área cercana y garantiza la seguridad del sistema.

#### **6.3.5. Soplador**

Para presurizar la cámara de aire superior y facilitar la salida del biogás del digestor, se empleará un ventilador. La curva característica de los ventiladores se obtiene mediante ensayos en laboratorios, representando distintos valores de caudal y presión en ejes coordenados. Esta curva, representada en la siguiente figura, se compone de tres partes que indican la presión estática ( $P_e$ ), la presión dinámica ( $P_d$ ) y la presión total ( $P_t$ ). En todo momento se cumple que:

$$P_t = P_e + P_d$$

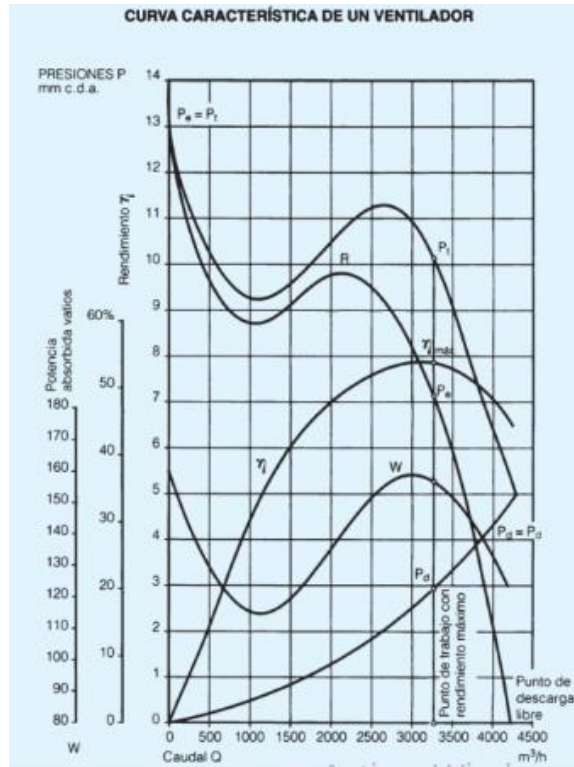


Figura 27. Curva característica de un ventilador. Fuente: Bioemia

En condiciones de descarga libre, la presión estática es nula, lo que resulta en el máximo caudal con una presión total igual a la dinámica. Por otro lado, cuando el ventilador está obstruido, el caudal mínimo coincide con una presión dinámica nula y una presión total igual a la estática.

La curva de potencia absorbida indica la energía que consume el motor que impulsa el ventilador. Por otro lado, el rendimiento del ventilador se muestra en otra curva y varía según el caudal que atraviesa el sistema. El punto óptimo de funcionamiento corresponde al máximo rendimiento, para el cual el ventilador fue diseñado.

El punto R en la curva característica de un ventilador, identificado en la *figura 6-13*, se conoce como punto de desprendimiento. Este punto delimita dos zonas: una a la izquierda, que representa el funcionamiento inestable del ventilador, y otra a la derecha, que indica el funcionamiento estable. En la *figura 6-14*, se presentan las curvas características de los principales tipos de ventiladores, donde se comparan tres ventiladores con el mismo diámetro de rodete.

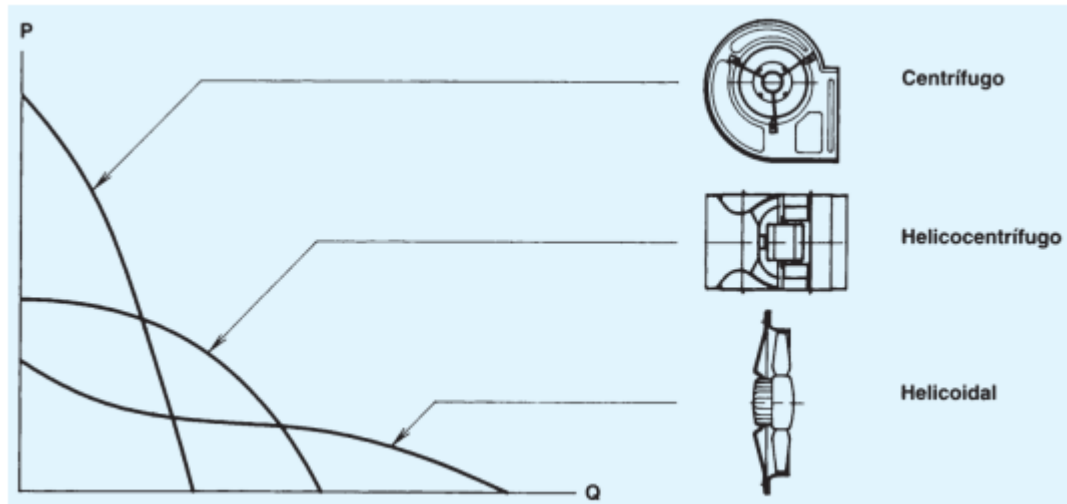


Figura 28. Curva de distintos tipos de ventiladores. Fuente: Bioemia

Es notable que manteniendo un caudal impulsado (igual  $Q$ ), los ventiladores centrífugos generan más presión que los helicocentrífugos, los cuales a su vez superan en presión a los helicoidales. Además, los ventiladores centrífugos mueven caudales menores que los helicocentrífugos, y estos últimos menos que los helicoidales.

Al analizar el punto de trabajo de un ventilador, es importante entender que su curva característica depende exclusivamente de las características propias del ventilador y solo cambia si varía su velocidad de rotación. Para determinar en qué punto específico estará operando el ventilador, podemos superponer las curvas características del ventilador y del conducto, como se muestra en la *figura 6-14*

### ***Selección del soplador***

Cuando seleccionamos un soplador, es fundamental considerar los parámetros de presión y caudal para evaluar su punto de trabajo adecuado. En cuanto a la presión, debemos asegurarnos de que el soplador pueda ejercer la presión necesaria sobre el gasómetro para expulsar el biogás a través de la tubería de salida. En nuestro caso, necesitamos una presión aproximada de 40 mbar en el circuito de gas para superar las pérdidas por fricción en la tubería, filtrado y accesorios, y garantizar las presiones adecuadas tanto para el generador como para la caldera. Por lo tanto, buscamos un soplador con una presión de 60 mbar para tener un margen adicional.

En cuanto al caudal, el soplador debe ser capaz de manejar todas las pérdidas de aire y mantener la presión interna requerida. Aunque las pérdidas de aire debido a la porosidad del tejido y otros orificios pueden calcularse, las pérdidas a través del sellado y otros cierres deben determinarse experimentalmente.

Para nuestro proyecto, hemos optado por un ventilador centrífugo de palas radiales, diseñado para trabajar con un bajo caudal pero alta presión. Estos ventiladores canalizan el aire en una dirección axial a la entrada y paralela a un plano radial de salida. En consecuencia, hemos seleccionado un soplador de la marca Chicago Blower Argentina, que tiene una presión máxima de 60 mbar y un caudal de 3 m<sup>3</sup>/min.

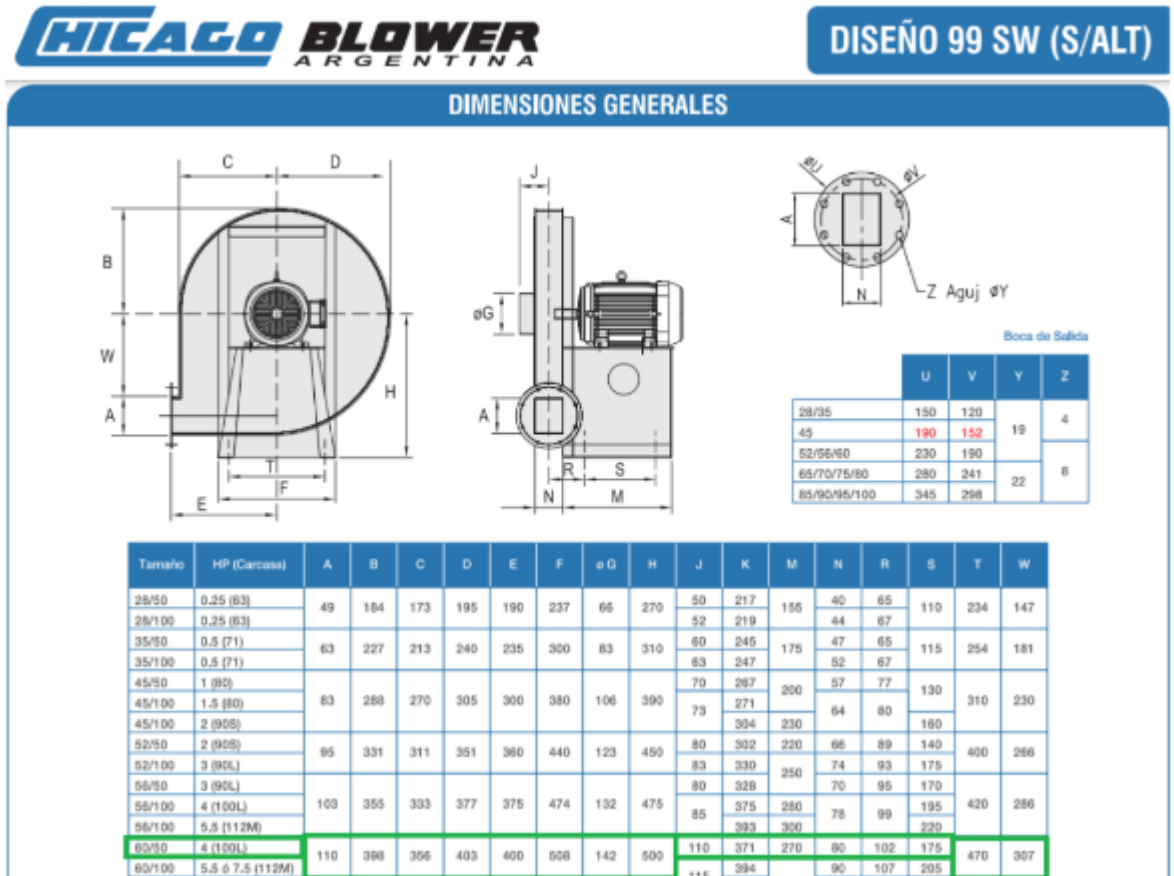


Figura 29. Especificaciones técnicas de soplador seleccionado. Fuente: Chicago Blower

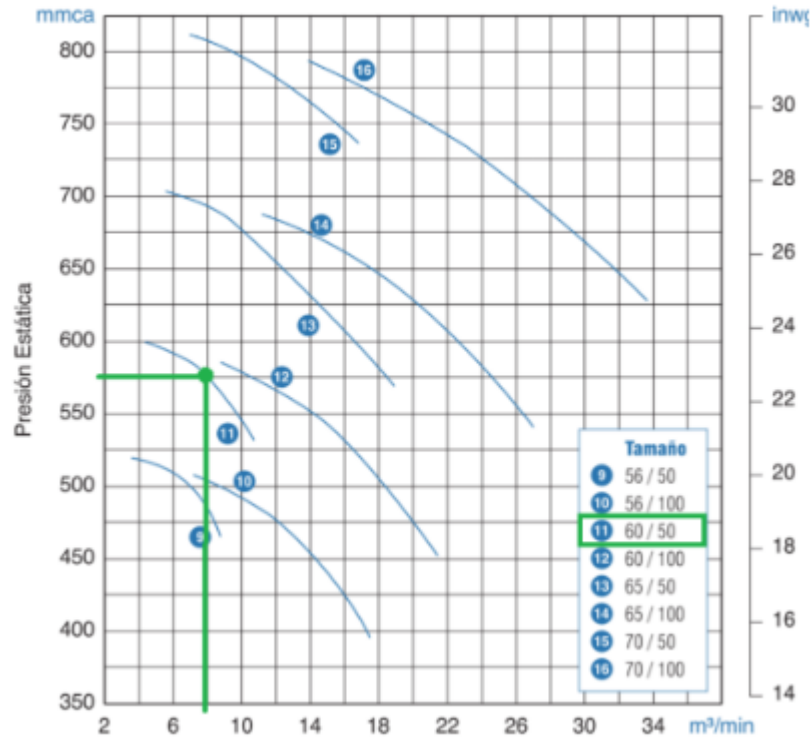


Figura 30. Curva característica del soplador seleccionado. Fuente: Chicago Blower

Es crucial mencionar que el sistema deberá contar con una válvula de retención para mantener la presión en el gasómetro durante cualquier interrupción temporal de energía.

### 6.3.6. Separadores de sedimentos

Un separador de sedimentos es un contenedor, cuyas dimensiones aproximadas son de 30 a 40 cm de diámetro y 60 a 90 cm de longitud. Por lo general, se ubica en la parte superior del digestor cercano a la cúpula de gas; cuenta con un deflector interior perforado y un sistema de drenaje de condensados cerca de su base. El gas ingresa por la parte superior de un lateral del tanque, desciende, atraviesa el deflector, asciende nuevamente y finalmente sale por la parte superior. En este proceso la humedad presente en el gas y de los residuos de mayor tamaño, quedan retenidos en este separador antes de ingresar al sistema de gas, asegurando de esta forma la protección y el buen funcionamiento de los componentes subsiguientes.

El separador seleccionado es de la empresa Progeco. Cada unidad cuenta con una estructura de acero equipada con una cubierta removible y conexiones con bridas para la entrada y salida de biogás. La disposición de las entradas y salidas está diseñada para maximizar el efecto de ciclón. El condensado se elimina a través de una salida especial ubicada en la parte inferior de la estructura.



*Figura 31. Separador de sedimentos seleccionado. Fuente: Progeco*

### **6.3.7. Electroválvulas**

Se utilizarán electroválvulas que se puedan comandar a distancia.

### **6.3.8. Caudalímetros de gas**

Se emplea un medidor de flujo másico de gas para monitorizar el caudal de biogás de salida, asegurando que el rango de medición sea adecuado para el caudal y la presión de gas operativa.

### **6.3.9. Manómetros**

Los manómetros se instalan en varios puntos del sistema para indicar la presión del gas en centímetros de columna de agua.

### **6.3.10. Reguladores de presión**

Se instalan comúnmente reguladores de presión, del tipo diafragma, tanto antes como después del quemador de gases en exceso en el sistema. Estos reguladores tienen la función de controlar la presión en todo el sistema de gas del digestor. Por lo general, se ajustan para mantener una presión tarada de 20 c.c.a, mediante el ajuste de tensión del muelle sobre el diafragma.

Cuando la presión de gas en el sistema es menor a 20 c.c.a, el regulador evita que el gas llegue al quemador. A medida que alcanza los 20 c.c.a, el regulador se abre ligeramente, permitiendo el paso del gas hacia el quemador. Si la presión continúa aumentando, el regulador se abre más para mantener la presión controlada y compensar cualquier variación en la presión del sistema. De esta manera, se asegura un adecuado suministro de gas al quemador mientras se mantiene una presión estable y segura en todo el sistema de gas del digestor.



Se emplearán dos reguladores de presión: uno para ajustar la presión y caudal de gas destinado a la caldera, y otro para la antorcha. Ambos reguladores ajustarán la presión de salida, a la presión adecuada para la entrada a cada equipo. En cuanto al caudal, este se ajustará según el consumo de gas de cada equipo respectivo.

### 6.3.11. Almacenamiento del gas

El gas producido en el proceso de digestión anaeróbica puede ser almacenado de dos formas:

1. *Gasómetros a presión:* en este método, el gas generado en el digestor es conducido mediante compresores hacia depósitos especiales donde queda almacenado a una presión aproximada de 3-4 atmósferas. Posteriormente, el gas es extraído de estos depósitos y dirigido a las instalaciones de uso o combustión. Al almacenarse a alta presión, el volumen del gas se reduce a una tercera parte de lo que ocuparía en el digestor, lo que facilita su manejo y transporte;
2. *Gasómetro de cubierta flotante:* en este tipo de gasómetros, la altura del gas almacenado puede variar. Los gases se mantienen a una presión baja de aproximadamente 200 mm de columna de agua. Este sistema utiliza una campana flotante similar a la que se emplea en un digestor primario, para almacenar el gas. La cubierta flotante está montada sobre ruedas que se deslizan a lo largo de perfiles de acero que actúan como guías. Estas ruedas permiten que la cubierta flotante se desplace libremente hacia arriba o hacia abajo, según la cantidad de gas almacenado.

Ambos métodos de almacenamiento ofrecen soluciones efectivas para gestionar el biogás producido permitiendo su posterior utilización o aprovechamiento de manera eficiente. Para nuestro caso en particular, emplearemos un gasómetro de membrana doble.

El dimensionamiento del gasómetro se determina en función de los requisitos de almacenamiento y las fluctuaciones en la producción de biogás. Generalmente, se puede calcular considerando una extensión máxima del 20% sobre el volumen total de digestor para la membrana de etileno propileno dieno (EDPM), aunque esta cifra puede variar significativamente según los consumos y la generación de biogás.

Para calcular el volumen del gasómetro, se debe emplear la siguiente ecuación, junto con un factor de seguridad (F.S), que oscila entre el 10% y el 20%:

$$\text{Volumen gasómetro} = Q_p * (1 - t_c) * 0,24$$



Donde,

$Q_p$  corresponde al caudal de biogás generado diariamente;

$t_c$  corresponde a la fracción del tiempo diario de consumo de biogás.

### 6.3.12. Quemador de los gases sobrantes

La antorcha o quemador de gases es un elemento clave en términos de seguridad y protección del medio ambiente. Su función principal es la combustión segura y controlada del gas en situaciones de emergencia, evitando así su liberación directa a la atmósfera. Además, se emplea para eliminar los excedentes de gas y las emisiones producidas en caso de parada.

Existen dos tipos principales de antorchas: abiertas y cerradas. Se distinguen principalmente por el tipo de llama que producen. Las antorchas abiertas generan una llama visible, mientras que las cerradas generan una llama oculta. Las primeras se instalan a alturas elevadas, mientras que las segundas se colocan a nivel del suelo.

En nuestra selección, nos inclinamos por utilizar una antorcha abierta en lugar de una cerrada. Esta decisión se fundamenta en su menor costo en comparación con la antorcha cerrada. Además, la antorcha abierta ofrece la ventaja de permitir un control a distancia gracias a que la llama es visible.



*Figura 32. Quemador de los gases sobrantes. Fuente: Varec biogás*

Basándonos en la tabla proporcionada por el proveedor y tomando en cuenta que el caudal de biogás es de aproximadamente  $57,34 \text{ m}^3/\text{h}$ , hemos elegido las dimensiones adecuadas para la antorcha. El modelo seleccionado es el FAII 50 MP.

**Tabla 2-5: Antorcha Dimensionamiento**

Modelo	Tubería de gas	Altura	Caudal mínimo	Caudal máximo
	Ø DN	mm	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h
FAII 50 MP	50	3850	20	80
FAII 100 MP	85	4100	80	150
FAII 200 MP	80	4340	150	250
FAII 300 MP	100	5050	250	350
<b>FAII 400 MP</b>	<b>125</b>	<b>5340</b>	<b>350</b>	<b>430</b>
FAII 500 MP	150	5840	430	550
FAII 750 MP	200	7000	550	850
FAII 1000 MP	250	10000	850	1100

*Tabla 12. Dimensionamiento de la antorcha. Fuente: Varec biogás*

### 6.3.13. Muestreador

El muestreador utilizado en el proceso consiste en una tubería de diámetro entre 8 y 10 cm con una tapa de cierre provista de bisagras. Esta tubería penetra en el tanque de digestión a través de la zona de gas y siempre se encuentra sumergida aproximadamente 30 cm en el lodo del digestor. Esta disposición permite obtener muestras del lodo sin generar pérdida de presión del gas y evitar crear situaciones peligrosas asociadas a la mezcla de aire y gas dentro del digestor. De esta manera, se garantiza un muestreo adecuado del lodo, preservando las condiciones óptimas de operación del digestor y asegurando la integridad del sistema.

### 6.3.14. Tuberías de gas

Durante todo el proceso, se requieren tuberías de diversos diámetros y materiales para el transporte de materias primas, productos intermedios y finales. Dado que estamos en una etapa de prefactibilidad, no se realizará el cálculo exacto de las cantidades de cada tipo y tamaño de tubería.

El transporte seguro de gas es fundamental en la industria energética. En Argentina el Ente Regulador del Gas (ENARGAS) establece normativas y especificaciones técnicas para garantizar la integridad de las tuberías utilizadas en este proceso. Según las prácticas comunes en la industria, las tuberías aprobadas para el transporte de gas suelen estar fabricadas con materiales resistentes y duraderos, como el acero al carbono, el acero inoxidable y el polietileno de alta densidad. Estos materiales ofrecen características específicas que los hacen adecuados para su uso en diferentes aplicaciones dentro de las redes de distribución y transporte de gas.

El acero al carbono es ampliamente utilizado debido a su resistencia y durabilidad, mientras que el acero inoxidable es preferido en aplicaciones que requieren una mayor resistencia a la corrosión. Por otro lado, el polietileno de alta densidad se destaca por su resistencia química,



flexibilidad y facilidad de instalación, lo que lo convierte en una opción popular para redes de distribución de gas.

Es importante destacar que las tuberías utilizadas para el transporte de gas deben cumplir con especificaciones técnicas que incluyen requisitos de resistencia, presión y seguridad.

Las tuberías de gas seleccionadas para este proyecto están aprobadas por ENARGAS a nivel internacional y son de acero con recubrimiento anticorrosivo EPOXI, con una capa de 300 micrones.

### **6.3.15. Sistema de calentamiento del digestor**

Los digestores tienen la flexibilidad de operar a diversas temperaturas, aunque el tiempo requerido para completar la digestión varía en función de la temperatura. A medida que esta aumenta, se acelera el proceso de estabilización del lodo. En la actualidad, los digestores modernos suelen operar en un rango de temperaturas mesofílicas, generalmente entre 35°-37° C.

El gas generado en el digestor se emplea como combustible para calentar una caldera, cuya temperatura óptima de operación oscila entre 60-80 °C. El agua caliente se bombea desde la caldera hacia serpentines, donde cede su energía térmica a la materia prima.

Se seleccionó una caldera de la marca CACH con una capacidad de 36.000/56.000 Kcal/h. Las calderas CGRH y Z operan de manera completamente automática mediante uno o dos termostatos con válvulas de seguridad inmersas en agua, los cuales controlan el encendido y apagado del quemador. Este último es de tipo atmosférico con encendido manual, funcionamiento controlado manualmente, sin componentes electrónicos, equipado con una válvula de seguridad a termocupla y un piloto permanente.

La elección de esta caldera se basó en el análisis del balance de energía realizado en el capítulo V, donde se calcularon los requerimientos térmicos en condiciones extremas. Esto garantiza la preparación del equipo frente a temperaturas bajas durante la temporada de invierno, evitando que afecten la producción de biogás.



Figura 33. Caldera de agua caliente. Fuente: Termotanques y calderas Talleres Los Andes

### 6.3.16. Secado, drenaje

El biogás generado en el digestor contiene una alta concentración de vapor de agua, y al enfriarse, este vapor se condensa en las cañerías. Si no se realiza una adecuada evacuación del agua condensada los conductos pueden obstruirse. Para evitar ese problema, es necesario instalar las cañerías de distribución con una pendiente mínima del 1%, de manera que el agua condensada pueda dirigirse hacia un recipiente específico conocido como “trampa de agua”. En esta trampa, el agua se almacena y luego se extrae. Existen diversos tipos de trampas de agua, tanto manuales como automáticas, siendo las automáticas las recomendadas debido a su menor requerimiento de mantenimiento.

### 6.3.17. Eliminación del H<sub>2</sub>S

Dada la escala del proyecto, se opta por utilizar carbón activado como método de filtrado, el cual elimina eficazmente el H<sub>2</sub>S y es aplicable a pequeñas escalas. Se selecciona un filtro de carbón activado impregnado u óxido de hierro de la marca AquaLimpia, diseñado para su instalación en exteriores.

Los filtros AQL se emplean para la completa eliminación del sulfuro de hidrógeno presente en el biogás. Este sistema está configurado para su instalación en la línea de gas entre el soplador de presión de gas y el generador o caldera. Como medio de filtrado se utiliza carbón activado impregnado u óxido de hierro, destinado a separar el sulfuro de hidrógeno. La separación se lleva a cabo mediante un proceso de absorción química catalítica, donde el sulfuro de hidrógeno se descompone en sus componentes individuales, azufre y vapor de agua. Para este proceso se requiere la presencia de una mínima cantidad de oxígeno. El filtro de biogás, incluyendo el fondo del tamiz, se fabrica en acero inoxidable ST 316 o HDPE (dependiendo de la presión de servicio), y garantiza que incluso en caso de encontrarse en concentraciones aún más elevadas, el sulfuro de

hidrógeno no cause daños por corrosión en el sistema. El diseño del filtro de carbón activado está orientado a su instalación en exteriores.

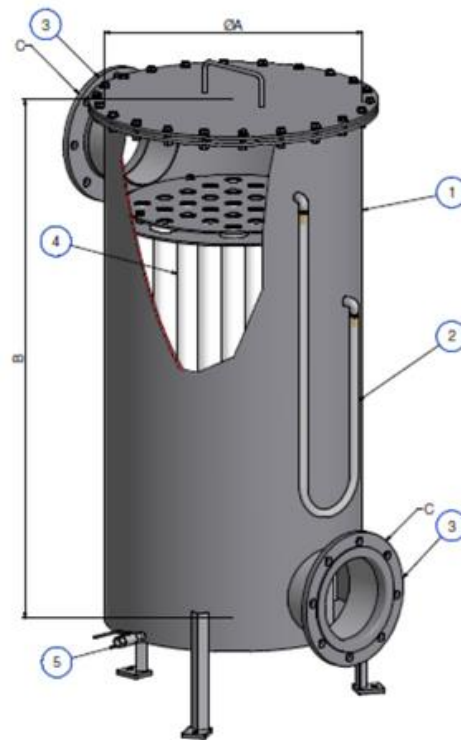


Figura 34. Filtro de Carbón activado. Fuente: Aqua Limpia

En el marco de este proyecto, se adquirió un filtro de la empresa Aqua Limpia, la cual recibe la información relativa a la concentración de sulfuro de hidrógeno que se necesita tratar de la corriente de biogás, junto con el caudal horario obtenido del mismo. Con estos datos, se diseña un equipo que cumple con los requisitos específicos del proyecto.

#### 6.4. OPERACIÓN DEL GAS

El gas generado durante la metanogénesis y acumulado en el digestor será evacuado mediante un ventilador centrífugo que aplica presión sobre el domo situado en la parte superior. Una vez expulsado, el gas será dirigido a diferentes destinos, detallados a continuación:

1. **Combustión en caldera:** la materia orgánica dentro del digestor requiere calor suministrado por la caldera. Esta última quemará biogás filtrado;
2. **Salida a chimenea de venteo:** esta opción se utilizará en situaciones excepcionales donde no sea posible almacenar o quemar el gas de manera segura. Se recurre a una antorcha que convierte el metano ( $\text{CH}_4$ ) en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para evitar su liberación a la atmósfera, considerando que el metano es un gas de efecto invernadero mucho más potente. Se diseñará el sistema de combustión de la antorcha de forma adecuada para minimizar las emisiones de óxidos de nitrógeno.



3. ***Inyección a la línea de distribución:*** en Argentina, los equipos de inyección de biogás en líneas de distribución deben cumplir con una serie de requisitos técnicos para garantizar su seguridad y eficiencia. Algunos de estos requisitos son:

- *Cumplimiento normativo:* los equipos deben cumplir con las regulaciones y normativas establecidas por los organismos competentes en Argentina, como el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS);
- *Certificaciones:* deben contar con certificaciones de calidad y seguridad emitidas por organismos reconocidos, que garanticen el cumplimiento de los estándares técnicos y de seguridad requeridos;
- *Compatibilidad:* los equipos deben ser compatibles con las características del biogás producido, incluyendo su composición química, presión y caudal, para garantizar el correcto funcionamiento en las líneas de distribución de gas natural;
- *Seguridad operativa:* deben incorporar dispositivos de seguridad y sistemas de control que prevengan fugas, sobrepresiones y otros riesgos operativos, garantizando la integridad del sistema y la seguridad de las personas y el medio ambiente;
- *Eficiencia energética:* se busca que los equipos sean eficientes en la conversión de biogás en energía útil, minimizando pérdidas y maximizando el rendimiento energético del sistema;
- *Mantenimiento y servicio técnico:* deben contar con sistemas de mantenimiento preventivo y correctivo, así como acceso a servicios técnicos especializados, para asegurar su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo.
- *Registro y seguimiento:* es importante que los equipos estén debidamente registrados y que se lleve un seguimiento de su desempeño y mantenimiento a lo largo de su vida útil, para garantizar su correcto funcionamiento y seguridad continua.

Es importante destacar que todas las opciones de destino del gas requieren un filtrado previo. Además, se deben tomar medidas para garantizar la seguridad, la eficiencia y la mínima contaminación ambiental durante la operación del sistema de gas.



## **CAPÍTULO VII: INGENIERÍA DE GESTIÓN**

### **INTRODUCCIÓN**

La estructura organizacional dentro de la empresa se establece para facilitar la dirección y gestión de sus actividades, mediante la definición de roles, funciones y responsabilidades para sus miembros. Esta proporciona un marco ordenado al identificar y clasificar las actividades de la empresa, agrupándolas en divisiones o departamentos, y asignando autoridades para la toma de decisiones y el seguimiento de las mismas.

Es fundamental que la estructura organizacional esté alineada con objetivos claros, realistas y mensurables, así como con la definición precisa de la jerarquía, deberes y actividades de cada individuo dentro de la organización.

#### **7.1. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA**

La estructura organizativa queda definida por las características específicas y únicas de cada proyecto de inversión.

Es muy importante el estudio de las variables organizacionales, puesto que la estructura que se adopta para la implementación y operación del proyecto está ligada con los egresos de inversión y costos operativos que pueden determinar su rentabilidad.

Se trabajará para tener una estructura sencilla, con la menor cantidad de empleados posible, esto se analiza con el fin de reducir costos en salarios, evitar relaciones informales en la organización y lograr una óptima producción.

#### **7.2. PRINCIPIOS GENERALES DE UNA ORGANIZACIÓN**

Para garantizar una estructura organizacional sólida, es esencial considerar los siguientes principios generales:

- **Separación de funciones:** Es crucial delimitar claramente las funciones de cada área de la empresa, evitando superposiciones que puedan generar confusiones o conflictos de competencia.
- **Jerarquía:** Se deben establecer subdivisiones coherentes en la línea de trabajo para evitar solapamientos o choques, garantizando que cada individuo reciba órdenes directas de una sola persona y evitando así la formación de relaciones informales no deseadas.



- Especificación Detallada de Tareas Directivas: Cada tarea directiva debe ser precisamente definida en todos los niveles de la jerarquía organizacional, con el objetivo de evitar la dilución de responsabilidades y asegurar una clara asignación de roles en cada nivel de dirección.
- Delegación Apropiada de Autoridad: Se debe delegar autoridad de manera adecuada a cada miembro del equipo directivo según su posición jerárquica, asegurando que cuenten con los recursos necesarios para ejercer su autoridad de manera efectiva y tomar decisiones en su área de competencia.
- Selección del Personal más Adecuado: Es fundamental seleccionar cuidadosamente al individuo más idóneo y competente para cada cargo, asegurando un ajuste óptimo entre las habilidades y capacidades requeridas para el puesto y las características del candidato.

### **7.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ORGANIZACIÓN**

#### **7.3.1. Constitución legal**

La constitución legal de una empresa es cuando una persona o un grupo de personas registran su empresa ante el gobierno con el fin de cumplir con la ley, y acceder a las diversas ventajas que presenta tener una empresa constituida legalmente.

Esto permite que nuestra empresa sea legalmente reconocida, que califique como sujeto de crédito, que podamos emitir comprobantes de pago, y que podamos producir, comercializar y promocionar nuestros productos o servicios con autoridad y sin restricciones.

En Argentina, al formar una sociedad comercial se debe tener en cuenta la ley 19550 “De las sociedades Comerciales”, donde incluye la descripción de las diferentes formas societarias y los beneficios y obligaciones que cada una genera en las partes intervinientes.

La empresa será constituida como una sociedad anónima, ya que tiene una personalidad jurídica que es adecuada para todo tipo de empresas desde pequeñas hasta de gran tamaño. Puede estar conformada por un mínimo de dos socios y sin número máximo, en donde la responsabilidad de los mismos será proporcional al capital aportado por cada uno de ellos. El capital está constituido por acciones y no por participaciones sociales.

#### **7.3.2. Razón social**

Biocapri S.A es una empresa productora de biogás a partir de estiércol caprino.

La compañía se encuentra ubicada en la provincia de Mendoza, más precisamente al sur de la misma, en la localidad de San Rafael.





### **7.3.3. Organigrama**

Se ha elegido una estructura organizacional funcional para nuestra planta productora de biogás, la cual centraliza la coordinación y la especialización de las tareas, generando una producción eficiente y predecible de productos limitados.

Los principios fundamentales que guían nuestro organigrama son los siguientes:

- La organización se desarrolla en torno a funciones específicas, no a individuos;
- Las funciones estrechamente relacionadas se agrupan bajo un mismo epígrafe;
- Se evita cualquier nombramiento que permita la superposición de autoridades y responsabilidades. La autoridad y responsabilidad asociada a cada función y subfunción están claramente definidas en el manual de organización.

Se combinan los deberes de manera que cada grupo pueda ser manejado eficientemente por una sola persona, siempre que estén estrechamente relacionados entre sí.

Dentro del esquema organizacional de la empresa, se consideran estratégicamente los servicios esenciales como salud, limpieza, higiene y seguridad, comedor y seguridad, como así también el departamento de recursos humanos dentro de asesoría externa.

La asesoría externa o staff se compone de personas que cumplen actividades específicas, y que por razones económicas no es conveniente que formen parte del personal permanente de la empresa, sino en situaciones que así lo requiera.

El staff estará integrado por un abogado, encargado de la asesoría legal; un contador encargado de los balances anuales, liquidación de sueldos, etc.; un técnico en seguridad e higiene para auditorías y capacitaciones; y un agente asesor que se encargue de la gestión de recursos humanos.

Esta decisión se basa principalmente en la existencia de empresas especializadas en el manejo de estos recursos por lo que pueden llevar a una optimización del funcionamiento de la organización en lo que está todo relacionado.

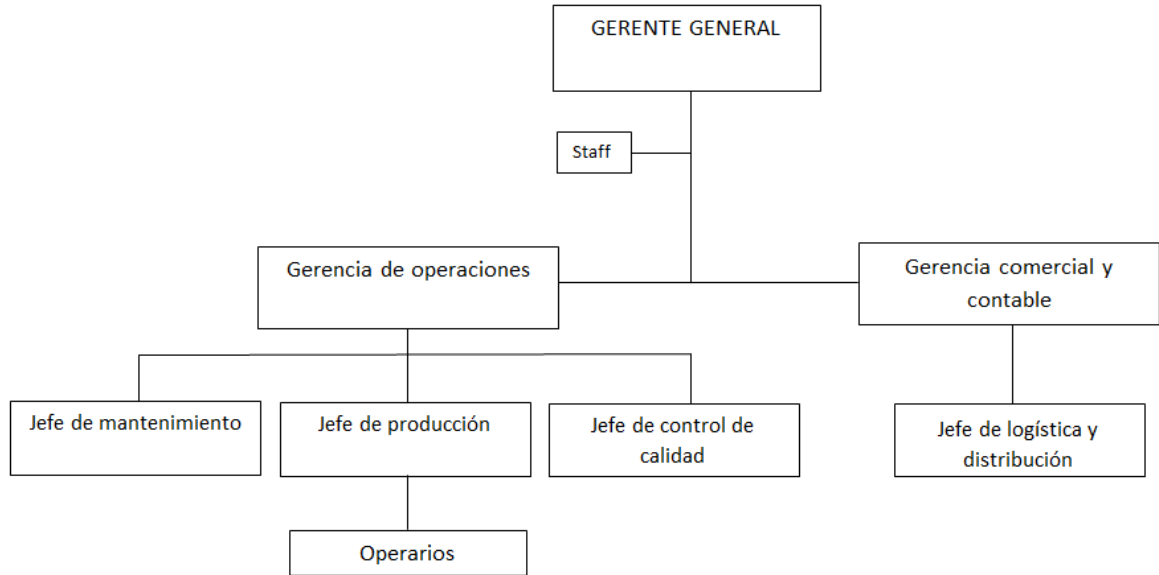


Figura 35. Organigrama. Fuente: Elaboración propia

### 7.3.4. Ficha de funciones

Las fichas de funciones son herramientas con carácter técnico-administrativo y de índole muy práctica que sirven para identificar, en forma individual a cada trabajador de una manera rápida, clara y sencilla.

De tal forma, para los distintos puestos se establecerán las distintas tareas a realizar, perfiles de puesto y las líneas de mando, definidas anteriormente en el organigrama.

#### 7.3.4.1. Gerente general

Persona de jerarquía, es el encargado de las estrategias y coordinación de todos los departamentos de la empresa.

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Gerencia General
SECTOR	Oficina de Administración General
FUNCIÓN	Gerente
SUPERVISA A	Gerente de operaciones y Gerente comercial y contable
REPORTA A	-
DEBERES	
Planificar e identificar los objetivos de la empresa a corto y largo plazo	
Liderar la formulación y aplicación del plan de negocios, organizar la estructura organizacional y controlar las actividades planificadas	
Liderar la gestión estratégica y alinear a las distintas gerencias	
Definir políticas generales de administración	
Desarrollar y mantener relaciones político-diplomáticas con autoridades y reguladores	
PERFIL DEL PUESTO	
Estudio de grado en organización empresarial/Ingeniero Industrial	



Conocimiento de normativas laborales, relaciones laborales y administración de personal.
Búsqueda y cierre de negocios
Capacidad de liderazgo

*Tabla 13. Ficha de funciones Gerencia General. Fuente: Elaboración propia*

#### 7.3.4.2. Gerente de operaciones

Persona de jerarquía, encargada de planificar, dirigir y controlar el proceso productivo, por medio del trabajo en equipo con los diferentes jefes de los sectores de mantenimiento, producción y control de calidad.

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Gerencia de operaciones
SECTOR	Gerencia de operaciones
FUNCIÓN	Gerente de operaciones
SUPERVISADO POR	Gerente General
SUPERVISA A	Jefes de mantenimiento, de producción y de control de calidad
REPORTA A	Gerente general
DEBERES	
Planificar y supervisar el trabajo de los distintos operarios	
Supervisar los procesos de producción	
Gestionar recursos materiales	
Gestionar recursos humanos	
Diseñar mejoras en el proceso	
PERFIL DEL PUESTO	
Ingeniero químico con orientación en Petroquímica	
Capacidad de trabajo en equipo	
Capacidad de análisis	
Capacidad de liderazgo	

*Tabla 14. Ficha de funciones de Operaciones. Fuente: Elaboración propia*

#### 7.3.4.3. Gerencia comercial y contable

Persona de jerarquía, a cargo de la gestión financiera de la organización. Es el responsable de la planificación, ejecución e información comercial y contable.

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Gerencia comercial y contable
SECTOR	Gerencia comercial y contable
FUNCIÓN	Gerente comercial y contable
SUPERVISADO POR	Gerente General
SUPERVISA A	Jefe de logística y distribución
REPORTA A	Gerente general
DEBERES	
Programar, organizar, dirigir, controlar y supervisar las actividades de personal, tesorería, contabilidad y costos, logística y servicios internos	



Administrar y supervisar los fondos financieros de la municipalidad, canalizando los ingresos y efectuando los pagos correspondientes
Supervisar el registro de ingresos y gastos en los aplicativos aprobados por el estado
Administrar los bienes, recursos materiales y humanos orientados a la dotación de servicios que requieran las diferentes áreas de la entidad
Formular, actualizar y proponer la normatividad interna de su competencia
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>
Licenciado en Administración Comercial o equivalente
Conocimiento de leyes, normas y reglamentos que rigen los procesos administrativos
Habilidades para desarrollar métodos y procedimiento de trabajo
Capacidad de liderazgo

*Tabla 15. Ficha de funciones Gerencia de Economía y finanzas. Fuente: Elaboración propia*

#### 7.3.4.4. Jefe de mantenimiento

Persona de jerarquía, encargada de administrar e implementar todos los programas que hacen al mantenimiento, sea éste predictivo, preventivo y/o correctivo programable, así como supervisar la ejecución de trabajos previstos e imprevistos, tanto de mantenimiento eléctrico como mecánico, con el objetivo de minimizar los tiempos improductivos y por ende los costos, maximizando así la disponibilidad y continuidad operativa de todos los equipos e instalaciones.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>ÁREA</b>	Departamento de mantenimiento
<b>SECTOR</b>	Taller de Mantenimiento
<b>FUNCIÓN</b>	Jefe de mantenimiento
<b>SUPERVISADO POR</b>	Gerencia de operaciones
<b>SUPERVISA A</b>	-
<b>REPORTA A</b>	Gerencia de operaciones
<b>DEBERES</b>	
Coordinar las tareas del personal a su cargo, para la correcta realización de las mismas	
Preparar planes de mantenimiento predictivo y preventivo	
Administrar los trabajos de mantenimiento emitidos por las partes	
Administrar y controlar posibles modificaciones del proceso productivo	
Evaluación de posibles trabajos a realizar por terceros	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Ingeniero mecánico o electromecánico	
Ser capaz de optimizar la eficiencia operativa y reducir al mínimo el tiempo de inactividad de los equipos	
Conocimiento de equipos y herramientas	
Capacidad de resolución de problemas	

*Tabla 16. Ficha de funciones Jefe de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia*



### 7.3.4.5. Jefe de producción

Persona de jerarquía, encargada de programar, dirigir y controlar el proceso productivo del biogás, administrando los recursos humanos y materiales como así también aportando con la mejora continua, desarrollo de la infraestructura y los procesos. Además, es la persona encargada de asegurar el cumplimiento del programa de producción en tiempo y forma adecuada.

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Departamento de producción
SECTOR	Planta
FUNCIÓN	Jefe de producción
SUPERVISADO POR	Gerencia de operaciones
SUPERVISA A	Operarios
REPORTA A	Gerencia de operaciones
DEBERES	
Definir en conjunto con la gerencia general, los objetivos del sector productivo	
Corregir desviaciones en el proceso y productos manteniendo la calidad óptima	
Coordinar labores del personal. Controlar la labor de los operarios en general	
Diseñar programas de mejoras en el proceso	
Emitir informes, analizar resultados y generar reportes de producción que respalden la toma de decisiones	
PERFIL DEL PUESTO	
Ingeniero de procesos o ingeniero químico	
Capacidad de liderazgo. Ser proactivo	
Conocimientos en el campo de las energías y combustibles	
Capacidad de liderazgo	
Manejo de software de control de procesos	

Tabla 17. Ficha de funciones Jefe de producción. Fuente: Elaboración propia

### 7.3.4.6. Operarios

Persona encargada de realizar tareas claves para el funcionamiento eficiente de la planta. Esto incluye la operación y supervisión de los equipos y maquinarias utilizados en el proceso de producción de biogás, así como el monitoreo constante de los niveles de producción y la calidad del biogás generado.

FICHA DE FUNCIÓN	
ÁREA	Departamento de producción
SECTOR	Planta de proceso
FUNCIÓN	Operario
SUPERVISADO POR	Jefe de producción
SUPERVISA A	-
REPORTA A	Jefe de producción
DEBERES	
Controlar las variables del proceso del biogás	



Mantener el correcto funcionamiento de la línea
Controlar la carga y descarga del reactor
Mantener las condiciones dentro de la máxima eficiencia
Efectuar informes de operación, cantidades procesadas y cantidades obtenidas de biogás
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>
Técnico químico o Técnico en industrias de procesos
Conocimientos en industrias de procesos y energías
Manejo de software de control de procesos
Criterio para análisis de resultados

Tabla 18. Ficha de funciones Operarios de Línea. Fuente: Elaboración propia

#### 7.3.4.7. Jefe de control de calidad

Persona de jerarquía, encargada de administrar los procesos de corroboración y aseguramiento de la calidad del producto intermedio y final. Además se encarga de centralizar y dirigir los procesos de reclamos de clientes y a proveedores.

<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>ÁREA</b>	Control de calidad
<b>SECTOR</b>	Oficina de administración general
<b>FUNCIÓN</b>	Jefe de calidad
<b>SUPERVISADO POR</b>	Gerencia de operaciones
<b>SUPERVISA A</b>	-
<b>REPORTA A</b>	Gerencia de operaciones
<b>DEBERES</b>	
Definir en conjunto con la gerencia general, los objetivos del sector calidad	
Garantizar los niveles de calidad definidos de las muestras analizadas	
Controlar las propiedades de la materia prima, productos intermedios y terminados	
Definir y revisar los procesos y procedimientos utilizados	
Asegurar la eficiencia en el uso del equipamiento y la calidad de los productos	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Ingeniero de procesos o ingeniero químico	
Conocimiento en normas de calidad a nivel nacional y global	
Conocimiento en gestión de procesos y selección de equipos	
Capacidad de evaluación de resultados	

Tabla 19. Ficha de funciones Jefe de control de calidad. Fuente: Elaboración propia

#### 7.3.4.8. Jefe de logística y distribución

Persona de jerarquía, responsable de gestionar eficazmente la cadena de suministro de la organización, asegurando la planificación, implementación y supervisión de las operaciones de transporte y almacenamiento de la materia prima y los productos. Su función clave es optimizar los procesos logísticos para garantizar entregas puntuales y eficientes, controlar costos, y mejorar continuamente la satisfacción del cliente y la eficacia operativa.



<b>FICHA DE FUNCIÓN</b>	
<b>ÁREA</b>	Departamento comercial y contable
<b>SECTOR</b>	Oficina de logística y distribución
<b>FUNCIÓN</b>	Jefe de logística y distribución
<b>SUPERVISADO POR</b>	Gerencia comercial y contable
<b>SUPERVISA A</b>	-
<b>REPORTA A</b>	Gerencia comercial y contable
<b>DEBERES</b>	
Coordinar las tareas para la correcta realización de las mismas	
Gestionar de manera correcta los materiales a su cargo	
Llevar un inventario actualizado	
Es responsable de coordinar la distribución del biogás producido, asegurando su transporte seguro y efectivo	
Encargado del cumplimiento de las normativas ambientales y de seguridad	
<b>PERFIL DEL PUESTO</b>	
Estudio de grado en Administración de empresas o Ingeniero Industrial	
Conocimientos de control de stock, distribución, administración de insumos y materias primas	

*Tabla 20. Ficha de funciones Jefe de logística y distribución. Fuente: Elaboración propia*

### **7.3.5. Programa de trabajo**

Para el funcionamiento de la empresa, en el sector productivo se necesitará un trabajo continuo de 24 hs dividido en tres turnos de ocho horas, por lo que serán necesarios cuatro grupos de trabajo. En el caso del sector administrativo, solo será necesario un turno de trabajo al igual que en el sector de calidad.

#### Sector productivo:

Primer turno: 7 a 15 hs.

Segundo turno: 15 a 23 hs.

Tercer turno: 23 a 7 hs.

Diagrama de trabajo: 6x2

#### Sector administrativo y de Calidad:

Único turno: 7 a 15 hs.

### **7.3.6. Personal necesario**

A continuación, se menciona la cantidad de personal necesario que se requiere por puesto.

PUESTOS		
<b>Gerencia General</b>		
Gerente general	1 persona	8 horas diarias, 5 días a la semana
<b>Gerencia de Operaciones</b>		
Gerente de operaciones	1 persona	8 horas diarias, 5 días a la semana
Jefe de mantenimiento	1 persona	8 horas diarias, 5 días a la semana
Jefe de control de calidad	1 persona	8 horas diarias, 5 días a la semana
Jefe de producción	1 persona	8 horas diarias, 5 días a la semana
Operarios	3 personas (1 por turno)	8 horas diarias, 7 días a la semana
<b>Gerencia Comercial y Contable</b>		
Gerente comercial y contable	1 persona	8 horas diarias, 5 días a la semana
Jefe de logística y distribución	1 persona	8 horas diarias, 5 días a la semana

Tabla 21. Personal necesario. Fuente: Elaboración propia

### 7.3.7. Clasificación de la empresa

Para determinar el tipo de empresa que tenemos se buscó la resolución 23/2024 publicada en el Boletín Oficial, donde se actualizaron los montos máximos de facturación en todos los sectores y tramos tomando como referencia el índice de precios implícitos del PIB elaborado por INDEC. La medida, que se lleva adelante una vez al año, tiene como objetivo garantizar que ninguna micro, pequeña y mediana empresa que no haya aumentado su volumen real de ventas quede fuera de los beneficios que otorga el Registro MiPyME.

Categoría	Construcción	Servicios	Comercio	Industria y Minería	Agropecuario
Micro	78.690.000	36.850.000	213.150.000	150.620.000	90.930.000
Pequeña	466.910.000	222.160.000	1.518.340.000	1.125.450.000	334.950.000
Mediana tramo 1	2.605.040.000	1.838.740.000	7.217.020.000	8.010.250.000	1.971.190.000
Mediana tramo 2	3.907.130.000	2.625.990.000	10.310.100.000	16.184.690.000	3.126.440.000

Tabla 22. Clasificación de la empresa. Fuente: Argentina.gob.ar/Ministerio de economía/Industria y desarrollo productivo

Basándonos en la producción anual de biogás de 439769,6 m<sup>3</sup> y su equivalente de 15422 MMBTU/año, podemos realizar una comparación con el precio del gas natural en Argentina, que es de 3,7 USD/MMBTU. Esto nos permite estimar el valor del biogás producido a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Precio de gas/m}^3 = 15422 \text{ BTU/año} * 3,7 \text{ U\$D/MMBTU} = \mathbf{57061,4 \text{ U\$D/año}}$$





También considerando que al biosol y biol obtenido se lo venderá como fertilizante, se podrá tener otro ingreso a partir del mismo equivalente a 6220335,9081 U\$/año. En conclusión, los ingresos totales anuales ascienden a 6277397,3 U\$/año.

De acuerdo a los cálculos, los valores de ingresos estimados por venta, la empresa que pertenece a la **categoría Servicios** y se clasifica como **mediana tramo 2**.



## **CAPÍTULO VIII: ASPECTOS LEGALES**

### **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se abordarán los aspectos legales relevantes para la industria en cuestión. Estos aspectos comprenden las normativas y obligaciones que deben cumplir tanto los distintos organismos dentro de una empresa como la propia empresa frente a la sociedad, durante cualquier actividad realizada para asegurar su viabilidad. Al referirnos a los aspectos legales, nos estamos refiriendo a leyes, decretos y resoluciones tanto a nivel nacional como provincial.

En términos generales, en nuestro proyecto, la falta de regulación específica en las instancias nacional, provincial y municipal dificultan el análisis generalizado de las actividades llevadas a cabo en plantas de biogás. Esto hace imposible ofrecer una visión general desde el punto de vista de las leyes en cada nivel mencionado. Además, resulta complicado considerar como válidos otros casos de aplicación de plantas que operan en regiones distintas a San Rafael, Mendoza, debido a la carencia de normativas específicas.

En el año 2020 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través de la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental, recibió de forma remota seis propuestas de consultorías destinadas a generar un estudio con miras a establecer un marco regulatorio para el biogás en Argentina. Sin embargo, hasta la actualidad, no se ha publicado un marco regulatorio específico para esta actividad.

Si bien se pueden utilizar datos como referencia sobre antecedentes legales para el proyecto en estudio, cada municipio y provincia cuenta con regulaciones propias a las cuales el proyecto debe adecuarse para su emplazamiento y funcionamiento de acuerdo con lo permitido legalmente.

### **8.1. MARCO LEGAL**

#### **8.1.1. Normativa nacional**

A continuación, se detallan las principales leyes, decretos y convenios nacionales aplicables a este tipo de industria que se deberán cumplir para llevar a cabo el proyecto. Dichas leyes son de carácter organizacional, ambiental, impositivo, etc.

##### **- Constitución Nacional**

Capítulo 2 “Nuevos Derechos y Garantías” - Artículo 41: “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y



cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de la protección, y a las provincias las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actuales o parcialmente peligrosos, y de los reactivos”.

- **Ley 24354/94- Decreto Reglamentario 720/95: Sistema Nacional de Inversión Pública**

Sus objetivos son la iniciación y actualización permanente de un inventario de proyectos de inversión pública nacional y la formulación anual y gestión del plan nacional de inversiones públicas. Incluye estudios de impacto ambiental en la presentación de proyectos.

- **Ley 25675/02: Ley General de Ambiente**

Esta ley establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. La presente ley regirá en todo el territorio de la Nación, sus disposiciones son de orden público, y se utilizarán para la interpretación y aplicación de la legislación específica sobre la materia, la cual mantendrá su vigencia en cuanto no se oponga a los principios y disposiciones contenidas en ésta. La política ambiental argentina está sujeta al cumplimiento de los siguientes principios: de congruencia, de prevención, precautorio, de equidad intergeneracional, de progresividad, de responsabilidad, de subsidiariedad, de sustentabilidad, de solidaridad y de cooperación.

- **Ley 25612/02: Gestión Integral de Residuos Industriales**

Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional y derivados de procesos industriales o de actividades de servicios.

Se entiende por proceso industrial, toda actividad, procedimiento, desarrollo u operación de conservación, reparación o transformación en su forma, esencia, calidad o cantidad de una materia prima o material para la obtención de un producto final mediante la utilización de métodos industriales.

Se entiende por actividad de servicio, toda actividad que complementa a la industrial o que por las características de los residuos que genera sea asimilable a la anterior, en base a los niveles de riesgo que determina la presente.



- **Ley 25688/02: Régimen de Gestión Ambiental de Aguas**

En esta Ley se establecen los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional.

- **Ley 20284: Ley de Contaminación Atmosférica**

Establece las normas para la preservación de los recursos del aire: fija parámetros de calidad de aire, crea el registro catastral de fuentes contaminantes y establece sanciones. No está reglamentada.

- **Decreto 674/89: Recursos Hídricos**

Régimen al que se ajustarán los establecimientos industriales y/o especiales que produzcan en forma continua o discontinua vertidos industriales o barros originados por la depuración de aquéllos a conductos cloacales, pluviales o a un curso de agua.

- **Ley de Seguridad e Higiene N° 19.587 - Decretos Reglamentarios 351/79 y 1338/96**

La legislación vigente en Argentina establece las condiciones de higiene y seguridad que deben cumplir todas las actividades industriales en el país, incluyendo los requisitos en cuanto a Servicios de Higiene, Seguridad y Medicina Laboral. Específicamente, esta normativa y su respectivo decreto establecen directrices relacionadas con la prevención de incendios.

El capítulo 18 del reglamento de esta ley detalla las disposiciones específicas sobre la protección contra incendios, en particular, en los artículos 160 y 164, que presentan los siguientes aspectos fundamentales:

El artículo 160 enlista los objetivos esenciales para la protección contra incendios, que comprenden:

1. Dificultar la generación de incendios;
2. Prevenir la propagación del fuego y los gases tóxicos;
3. Garantizar la evacuación segura de las personas;
4. Facilitar el acceso y las labores de extinción para el personal de bomberos;
5. Dotar a las instalaciones de sistemas de detección y extinción de incendios.

Por otro lado, el artículo 164 se centra en las plantas industriales destinadas a la elaboración, transformación y almacenamiento de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Este artículo amplía las directrices establecidas en la normativa 13660 y su reglamentación, incluyendo las siguientes consideraciones:



1. *Se prohíbe el manejo, transporte y almacenamiento de materias inflamables en el interior de los establecimientos cuando se realice en condiciones inseguras y en recipientes que no hayan sido diseñados especialmente para los fines señalados;*
2. *Se prohíbe el almacenamiento de materias inflamables en los lugares de trabajo, salvo aquellos donde debido a la actividad que en ellos se realice, se haga necesario el uso de tales materiales. En ningún caso, la cantidad almacenada en el lugar de trabajo superará los 200 litros de inflamables de primera categoría o sus equivalentes.*
3. *Se prohíbe la manipulación o almacenamiento de líquidos inflamables en aquellos locales situados encima o al lado de sótanos y fosas, a menos que tales áreas estén provistas de ventilación adecuada, para evitar la acumulación de vapores y gases.*
4. *En cada depósito no se permitirá almacenar cantidades superiores a los 10.000 litros de inflamables de primera categoría o sus equivalentes.*
5. *Queda prohibida la construcción de depósitos inflamables en subsuelos de edificios y tampoco se admitirá que sobre dichos depósitos se realicen otras construcciones.*

### **Ruidos**

Este riesgo será monitoreado mediante la ejecución de mediciones de ruido en diversas fuentes sonoras. A través de cálculos específicos, se determinará si los niveles encontrados superan los máximos establecidos. Para llevar a cabo este proceso, se empleará un decibelímetro integrador.

De acuerdo con la normativa, si los niveles registrados son inferiores a los 85 dB de Nivel Sonoro Continuo Equivalente, solo se realizarán evaluaciones adicionales para garantizar que el nivel se mantenga constante y para detectar posibles cambios debido a la incorporación de nuevos equipos o maquinarias, ajustes en sistemas de ventilación o extracción, falta de mantenimiento, entre otros factores.

En caso de que el nivel supere los 85 dB, será necesario reducir el ruido a niveles mínimos desde la fuente generadora. Además, se implementarán carteles indicativos sobre el uso de protectores auditivos y se proporcionará a todo el personal los elementos necesarios para la protección auditiva.

### **Ventilación**

La ventilación en los espacios laborales debe contribuir a mantener condiciones ambientales que no comprometan a la salud de los trabajadores. Además, es esencial que los lugares de trabajo permitan una ventilación efectiva de forma natural.



La ventilación mínima de los locales se establece en función del número de personas presentes.

### **Iluminación**

Conforme a la legislación vigente, la iluminación en los puestos de trabajo debe cumplir con requisitos mínimos esenciales:

- Composición espectral: la luz debe tener una composición espectral adecuada a la tarea, permitiendo la correcta observación o reproducción de colores según sea necesario;
- Efecto estroboscópico: se debe evitar este efecto en los lugares de trabajo;
- Iluminación: la iluminación debe ser suficiente para la tarea a realizar.

Se recomienda una intensidad de luz de 220 lux a 350 lux en áreas de producción y de 110 lux en otras zonas.

### **Equipos de protección personal (EPP)**

El empleo del equipo de protección personal debe ajustarse según la naturaleza de la actividad realizada. En específico, el operador debe utilizar un conjunto de elementos apropiados, como zapatos confeccionados en cuero con suelas de caucho, vestimenta compuesta por pantalones y camisas de talla ajustada y cómoda, casco protector, lentes de seguridad, y, en situaciones particulares, tapones auditivos.

### **Elementos de protección industrial**

En términos generales, las máquinas y herramientas deben cumplir con las siguientes condiciones de seguridad:

- *Seguridad intrínseca*: las máquinas y herramientas deben ser intrínsecamente seguras. En caso de presentar algún riesgo para los usuarios, deben contar con las protecciones adecuadas;
- *Aislamiento de motores*: los motores que representen riesgos deben estar completamente aislados. Además, es necesario que cuenten con un sistema de parada de emergencia que permita detener el motor de manera inmediata desde un lugar seguro;
- *Protección de elementos móviles*: todos los elementos móviles accesibles al trabajador, debido a la estructura de las máquinas, deben estar debidamente protegidos o aislados;
- *Transmisiones seguras*: las transmisiones, incluyendo árboles, acoplamientos, poleas, correas, engranajes, mecanismos de fricción, entre otros, deben contar con



las protecciones más apropiadas para mitigar los riesgos específicos asociados a cada tipo de transmisión y prevenir posibles accidentes;

- *Protección en partes de riesgo mecánico:* aquellas partes de las máquinas y herramientas que presenten riesgos mecánicos y no requieran intervención directa del trabajador deben contar con protecciones eficaces, como cubiertas, pantallas, barandas, entre otros;
- *Requisitos mínimos para protecciones:* las protecciones deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos: eficacia en su diseño, fabricación de materiales resistentes, posibilidad de desplazamiento para ajustes o reparaciones, facilitar el control y engrase de los elementos de las máquinas, montaje o desplazamiento que solo puede realizarse intencionalmente.
- *No constituir riesgos inherentes:* deben carecer de riesgos intrínsecos por sí mismas para garantizar la seguridad del entorno;
- *Ser parte integral de las máquinas:* las protecciones deben formar parte integrante de las máquinas, asegurando una implementación coherente y efectiva;
- *Operar sin obstáculos:* deben funcionar de manera libre de entorpecimientos, sin interferir innecesariamente en el proceso productivo normal;
- *No limitar la visibilidad:* no deben obstaculizar la visión del área operativa, garantizando una visibilidad óptima para los operadores;
- *Área operativa sin obstáculos:* deben permitir que el área operativa esté libre de obstáculos.

### **Leyes Laborales**

Dentro del contexto laboral, es relevante hacer mención de las leyes pertinentes que deben considerarse al contratar nuevo personal para las instalaciones de la planta de biogás. Estas leyes, aplicables a todo empleador al momento de contratar, no requieren una atención detallada debido a que no presentan particularidades singulares.

- **Ley de Contrato de Trabajo N° 20.744**  
Régimen del contrato de trabajo.
- **Ley de Régimen Laboral N° 25.877**

Esta ley abarca aspectos como la contratación, las condiciones de trabajo, los derechos y obligaciones de los empleadores y los trabajadores, la terminación del contrato, entre otros. Establece normas para la jornada laboral, las vacaciones, los salarios, la protección de la maternidad, la seguridad e higiene en el trabajo, y la resolución de conflictos laborales. La ley



busca garantizar los derechos de los trabajadores y regular de manera equitativa las relaciones laborales en el país.

- **Ley de Protección del Trabajo N° 24.013**

Abarca varios aspectos relacionados con el empleo y la protección de los trabajadores. Entre los puntos más relevantes, se encuentran la regularización del empleo no registrado, la promoción y defensa del empleo, y la protección de los trabajadores desempleados.

- **Ley de Riesgos de Trabajo N° 24.557**

Tiene como objetivos principalmente reducir la siniestralidad laboral mediante la prevención de riesgos derivados del trabajo y la reparación de los daños derivados de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales. Esta ley aborda aspectos como: prevención de riesgos, regulación de contingencias y situaciones, prestaciones dinerarias y en especies, determinación y revisión de incapacidades, entre otros.

- **Ley de Reforma Laboral N° 25.013**

Sancionada en Argentina el 2 de septiembre de 1998, establece un régimen de reforma laboral que incluye la modificación de algunos aspectos de la regulación del Contrato de Trabajo y de las Leyes N° 24.013, 24.465 y 24.467, así como de la normativa vigente en materia de convenciones colectivas de trabajo. Entre las modificaciones, se eliminan las modalidades promovidas de contratación y se establecen disposiciones sobre el contrato de trabajo de aprendizaje.

- **Convenio Colectivo de Trabajo N°77/89**

\Los trabajadores de plantas de biogás en Argentina pueden estar regulados por diversos convenios colectivos, dependiendo de la naturaleza de sus labores y de la estructura de la empresa empleadora. Algunos convenios que podrían aplicar son:

Convenio Colectivo de Trabajo de la Industria Química: si las actividades en la planta de biogás implican procesos químicos o la producción de productos químicos;

Convenio Colectivo de Trabajo de la Industria de la Construcción: en el caso de construcción o mantenimiento de la planta;

Convenio Colectivo de Trabajo de la Industria Energética: si la planta de biogás está relacionada con la generación de energía.

En la jurisdicción nacional, no se cuenta con una normativa específica que regule de manera precisa la producción de biogás ni su integración como una fuente energética en un proceso o establecimiento particular. En lugar de ello, las regulaciones existentes se centran en el transporte y la distribución del gas natural en todo el territorio argentino.





- **La ley nacional 26.093/2006**

Establece un régimen de apoyo para la producción y utilización de biocombustibles, pero aborda de forma tangencial el tema del biogás.

- **Decreto Reglamentario 109/2007 y la Resolución SE 1296/2008**

Definen las condiciones de seguridad mínimas para las instalaciones de elaboración, almacenamiento y mezcla de biocombustibles, se enfocan principalmente en la autorización de plantas de biodiesel y bioetanol. En contraste, no existe una regulación específica destinada a la autorización de plantas de producción de biogás.

El Ministerio de Energía y Minería de la nación también ha implementado el Programa Biogás, en conjunto con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este programa tiene como objetivo demostrar que las plantas y sistemas de generación y aprovechamiento de biogás, como los rellenos sanitarios y los biodigestores, son sostenibles desde el punto de vista técnico, ambiental, institucional y económico financiero.

### **8.1.2. Legislación Provincial**

Como se determinó anteriormente en el Capítulo 3 “Localización”, este proyecto se llevará a cabo en la provincia de Mendoza. Es por ello que es de vital importancia verificar la legislación provincial específica aplicable a este tipo de emprendimiento.

- **Constitución Provincial**

Establece los lineamientos básicos acerca de los derechos y obligaciones con que cuenta todo habitante de la provincia.

### **8.1.3. Normativa municipal**

Extractos significativos del código de edificación del Departamento de San Rafael, Mendoza:

- ***Almacenamiento y manipulación de materiales inflamables***

El almacenamiento y manipulación de materiales inflamables o fácilmente combustibles deben llevarse a cabo de forma independiente y cumplir con las disposiciones contra incendios especificadas en este Código. Dichas actividades deben realizarse en áreas distantes de escaleras o puertas principales de salida.

Queda prohibida la instalación de locales destinados al fraccionamiento de gas en garrafas, excepto en casos en los que se ubiquen en predios aprobados y autorizados por Gas del Estado, rodeados por vías públicas y/o ferroviarias.



Cuando el número de garrafas llenas exceda cinco unidades, deberán ser depositadas en espacios abiertos o, en su defecto, en áreas bien ventiladas. Los locales destinados a la venta de garrafas, ubicados en pisos altos o superiores, podrán almacenar de manera transitoria y circunstancial un máximo de 100 kg de gas licuado. En locales de planta baja, se permitirá un almacenamiento máximo de hasta 300 kg.

Se prohíbe designar áreas para depósito permanente de garrafas llenas o vacías, sótanos y plantas bajas de edificios de más de una planta. En el caso de plantas bajas, solo se permitirá el almacenamiento en patios o galerías al aire libre, dispuestas en una sola capa o en estantes que garanticen una ventilación adecuada, con un límite de 500 kg.

En edificios de planta baja, se podrá disponer de depósitos siempre que se asegure una ventilación adecuada a través de elementos mecánicos y/o naturales, capaces de extraer el aire desde el nivel del suelo hacia el exterior.

Si se requiere la instalación de dispositivos eléctricos, se deben tomar precauciones para evitar la generación de chispas en las instalaciones.

- ***Instalaciones de gas***

Las instalaciones de gas se registrarán por las normas establecidas por Ecogas o su entidad equivalente.

## **8.2. AUTORIDADES COMPETENTES**

El Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS), es un ente autárquico establecido a través de la Ley N°24.076 - Marco Regulatorio de la Industria del Gas Natural - en 1992. Este ente opera dentro de la órbita de la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía de la Nación Argentina y tiene la responsabilidad de regular, controlar, fiscalizar y resolver disputas inherentes al servicio público de transporte y distribución de gas en todo el país.

No obstante, es importante señalar que este ente regulatorio nacional no ejerce jurisdicción sobre entornos privados donde se produzca o consuma biogás siempre y cuando dicho biogás no sea inyectado en la red de gas natural.

La norma ENARGAS NAG-602-2019 sobre la calidad del Gas Natural no solo contempla el gas natural, sino también otros gases como el gas de síntesis y aquellos provenientes de fuentes no convencionales, como el biogás, siempre y cuando estos presenten características similares al gas natural y cumplan con las especificaciones establecidas en dicha norma.

En el capítulo 4, punto 4.6 - Recepciones de Gas No Convencional, se especifica lo siguiente:



*Aquellos gases que, sin ser gas natural, como el gas sintético o el gas procedente de fuentes no convencionales como el biogás u otros tipos de gases, podrán ingresar a los sistemas de transporte y/o distribución de gas natural, siempre que, consistan primordialmente en metano; y que resulte técnicamente posible y segura su inyección.*

*Para ello, quien pretenda el ingreso, deberá contar con el consentimiento del transportista o distribuidor que opere el sistema en cuestión y cumplir con todos los estándares de calidad para el gas natural, establecidos en esta norma.*

*No obstante, el ingreso de estos gases estará condicionado a la evaluación de riesgo que otros posibles componentes minoritarios presentes en estos gases, puedan representar para la salud de las personas o para la integridad de las instalaciones o aparatos de consumo.*

Este planteamiento abre la posibilidad de inyectar el biogás producido en la red de gas natural utilizada para la distribución pública, bajo la condición de cumplir con los requisitos de adaptación y calidad requeridos.

En el capítulo 5 - Especificaciones del gas natural en condiciones básicas - se especifica lo siguiente:

*El gas que ingrese en los sistemas de transporte y distribución deberá cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 1.*

Parámetro	Unidad	Condición básica	Referencia de control
<b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	% molar	2 (5.1)	ASTM D 1945 / GPA 2261 / IRAM-IAP A 6852
<b>Total de inertes (CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>)</b>	% molar	4 (5.2)	ASTM D 1945 / GPA 2261 / ISO 6976 / IRAM-IAP A 6852
<b>Oxígeno (O<sub>2</sub>)</b>	% molar	0,2	ASTM D 1945 / GPA 2261 / IRAM-IAP A 6852
<b>Vapor de agua (H<sub>2</sub>O)</b>	mg/m <sup>3</sup>	65	ASTM D 1142 / IRAM-IAPG A 6856
<b>Sulfuro de hidrógeno (SH<sub>2</sub>)</b>	mg/m <sup>3</sup>	3	GPA 2377 / IRAM-IAPG A 6860
<b>Azufre entero (S<sub>TOT</sub>)</b>	mg/m <sup>3</sup>	15	GPA 2377 IRAM-IAPG A 6860 / IRAM-IAPG A 6861
<b>Punto de rocío de hidrocarburo (PRHC)</b>	°C	<-4 @ 5500 kPa	GPA 2286 y Ecuación de Estado
<b>Poder calorífico superior (PCS)</b>	kcal/m <sup>3</sup>	8850 – 10200	GPA 2172 / ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854 / ASTM D3588
	MJ/m <sup>3</sup>	37,04 – 42,70	
<b>Índice de Wobbe (IW)</b>	kcal/m <sup>3</sup>	11300 – 12470	ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854
	MJ/m <sup>3</sup>	47,30 – 52,20	
<b>Partículas sólidas y líquidas</b>	-	(5.3)	Ver 6.9
<b>Temperatura máxima</b>	°C	50	-

*Tabla 23. Especificaciones del GN. Fuente: Enargas*

### 8.3. BIOFERTILIZANTE

El digestato obtenido, previamente mencionado como Biol y Biosol, puede ser envasado para su posterior comercialización.

La utilización de digestato como fertilizante debe estar sujeta a consideraciones ambientales y a la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Por su contenido en nutrientes, su uso inapropiado podría generar contaminación del suelo y del agua debido a la eutrofización, tal como puede ocurrir con cualquier otro fertilizante. Además, es fundamental considerar la idoneidad del suelo para recibir el digestato.



Hasta el 2019, el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), no había incorporado el digestato en su Resolución 264/2011, lo que implica su registro y, por ende su comercialización.

Sin embargo, la Resolución 19/2019 de la Secretaría de Ambiente regularizó la aplicación de digestatos procedentes de plantas de generación de biogás. Esta resolución aprueba la Norma técnica para su aplicación agrícola, estableciendo criterios y requisitos mínimos para asegurar la sostenibilidad de su uso.

Desde una perspectiva técnica, el transporte de digestato implica costos elevados debido a su alto contenido en agua, alrededor del 90%. Por ello, es esencial establecer procedimientos claros que reduzcan los costos asociados a estos proyectos.

Para su comercialización, es necesario registrar previamente el producto en el registro de Fertilizantes de SENASA, cumpliendo con los requisitos estipulados en la Resolución 264/2011 y lo establecido en los anexos de la Resolución 19/2019.



## **CAPÍTULO IX: ASPECTOS NORMATIVOS**

### **INTRODUCCIÓN**

En Argentina existe un conjunto diverso de normativas que delinear los requisitos necesarios para acceder a mercados específicos o se implementan mediante decisiones empresariales a través de la dirección de políticas de calidad o estrategias comerciales. Entre estas normativas se encuentran las normas ISO, IRAM, ASME, entre otras.

Si bien estas normas contribuyen a mejorar la eficiencia organizativa, su implementación y certificación requieren una inversión considerable, además de la disponibilidad de recursos humanos y financieros para su mantenimiento. Diversos estudios han señalado que para aumentar la utilidad neta de la empresa es crucial lograr una correcta implementación y uso del sistema de calidad. Esto se traduce en la reducción de costos, como la disminución de tiempos de inactividad, la optimización del transporte de mercancías, la mejora del diseño interior de la empresa y la satisfacción del cliente mediante la estandarización de la calidad.

Aunque la demanda de nuestro producto se centra en el ámbito doméstico, el biogás tiene una amplia gama de aplicaciones potenciales. Por ende, es importante aplicar normativas de calidad que aseguren la producción de un producto seguro que cumpla con las expectativas y necesidades de nuestros clientes.

### **9.1. NORMAS A CERTIFICAR**

#### **9.1.1. Normas ISO**

Las normas ISO son un conjunto de estándares y directrices desarrollados por la Organización Internacional de Normalización (ISO), que establecen requisitos y especificaciones para productos, servicios y procesos en diferentes áreas. Estas normas son voluntarias, pero su cumplimiento puede ser requerido por los clientes o por la legislación. Uno de los estándares ISO más relevantes para la gestión de proyectos es la ISO 21500.

Para aplicar estas normas a un proyecto, se pueden seguir los siguientes pasos generales:

1. Dar a conocer la norma y nombrar un encargado del sistema de gestión;
2. Realizar un análisis de la situación actual y diseñar el sistema de gestión;
3. Permitir que participen todos los trabajadores y poner en marcha el sistema de calidad;
4. Realizar las auditorías internas y resolver las no conformidades;
5. Realizar la auditoría externa y obtener la certificación.



Es importante tener en cuenta que cada norma ISO tiene requisitos específicos y puede requerir pasos adicionales o diferentes en su implementación. Además, es recomendable contar con la asesoría de expertos en la materia para asegurar una implementación exitosa y eficiente.

En este proyecto se abordarán normativas para garantizar la calidad de los productos y la seguridad de los trabajadores. Se focalizará en certificar las normas ISO 45001 sobre seguridad laboral e ISO 9001 de gestión de calidad debido a las inversiones significativas que requiere su implementación.

#### **9.1.1.1. ISO 21500**

La ISO 21500 es una guía para la dirección y gestión de proyectos que se aplica a cualquier tipo de organización, ya sea pública, privada o sin ánimo de lucro, y a cualquier tipo de proyecto, independientemente de su complejidad, tamaño o duración.

Esta norma tiene varios objetivos, entre ellos:

- Estabilizar y sistematizar tareas y actividades;
- Homogeneizar las actividades del proyecto;
- Mejorar la imagen de la empresa;
- Facilitar la obtención de cuotas de mercado;
- Aumentar la eficiencia de la empresa;
- Aumentar la motivación y estimulación del personal en torno a un proyecto común;
- Reducir al mínimo el riesgo de no cumplir con las obligaciones para el cliente;
- Permitir a la empresa medir la eficacia de su sistema de gestión.

La norma ISO 21500 no incluye requisitos como tal y no ha sido elaborada con ningún tipo de fin de mercado específico. Su estructura se basa en las directrices del PMBOK (Project Management Body of Knowledge), el estándar del PMI (Project Management Institute). La implementación de esta norma permite la aplicación genérica en cualquier empresa, independientemente del tamaño o tipo de proyecto.

#### **9.1.1.2. ISO 9000: Sistemas de Gestión de Calidad**

La serie de normas ISO 9000 representa un conjunto de directrices que establecen los elementos esenciales para el sistema de gestión de calidad de una organización, delineando cómo estos elementos deben interactuar para garantizar la calidad de los productos y servicios ofrecidos.

Estas normas no prescriben un modelo específico para el sistema de gestión de calidad de una organización, sino que establecen los requisitos mínimos que deben cumplir estos sistemas.



Dentro de estos requisitos, se proporciona un margen amplio que permite a cada organización diseñar su propio sistema de gestión de calidad, adaptándolo a sus particularidades.

Las normas ISO relacionadas con la calidad incluyen:

- *ISO 9000*: esta norma trata los fundamentos y la terminología asociada con la calidad, ofreciendo directrices generales para los sistemas de gestión de calidad;
- *ISO 9001*: establece los requisitos para los sistemas de gestión de calidad, pudiendo ser aplicada para uso interno, certificación o acuerdos contractuales;
- *ISO 9004*: proporciona directrices para mejorar el rendimiento del sistema de gestión de calidad, yendo más allá de los requisitos estipulados en ISO 9001, enfocándose en la mejora continua del sistema.

Dicha norma internacional describe los conceptos y principios fundamentales de la gestión de la calidad que son universalmente aplicables a:

- Las organizaciones que buscan el éxito sostenido por medio de la implementación de un sistema de gestión de la calidad;
- Los clientes que buscan la confianza en la capacidad de una organización para proporcionar regularmente productos y servicios conformes a sus requisitos;
- Las organizaciones y las partes interesadas que buscan mejorar la comunicación mediante el entendimiento común del vocabulario utilizado en la gestión de la calidad;
- Las organizaciones que realizan evaluaciones de la conformidad frente a los requisitos de la Norma ISO 9001;
- Los proveedores de formación, evaluación o asesoramiento en gestión de la calidad;
- Quienes desarrollan normas relacionadas.

### **9.1.1.3. ISO 14000: Sistemas de Gestión Medioambiental**

La ISO 14000 comprende un conjunto de normas internacionales que se centran en la gestión ambiental. Esta serie proporciona a las organizaciones de alcance global la oportunidad de impulsar medidas ambientales y evaluar su desempeño según criterios aceptados a nivel internacional. Su propósito principal es respaldar la preservación ambiental y la prevención de la contaminación, equilibrando estas metas con las necesidades socioeconómicas.

En particular, la norma ISO 14001, la primera de la serie 14000, establece los requisitos esenciales para la implementación de un sistema de gestión ambiental. Esta norma se adapta a organizaciones de diversas tipologías y dimensiones, así como a diferentes contextos geográficos,





culturales y sociales. Cabe destacar que no establece directrices específicas en términos de rendimiento ambiental absoluto, sino que se enfoca en la obligación de comprometerse con la mejora continua y cumplir leyes y regulaciones pertinentes.

La norma no define límites exactos de emisiones de gases como óxido nitroso en las salidas de combustión, ni especifica niveles máximos permitidos de contaminación bacteriana en los efluentes de aguas residuales. En cambio, describe los requisitos del propio sistema de gestión que, de mantenerse apropiadamente, pueden contribuir a mejorar el desempeño ambiental, reduciendo impactos como las emisiones de óxido nitroso y los efluentes contaminados por bacterias.

#### **9.1.1.4. ISO 45001: Seguridad y calidad de vida en el trabajo**

Esta norma proporciona un marco para la implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, con el objetivo de proteger la salud, la seguridad y el bienestar de los trabajadores.

La norma ISO 45001 se basa en el ciclo de mejora continua y es compatible con otras normas ISO, como la 14001 (Sistema de Gestión Ambiental), y la 9001 (Sistemas de Gestión de Calidad). La implementación puede ser beneficiosa para cualquier organización, ya que ayuda a cumplir con las normativas legales y mejorar la gestión de la seguridad y salud en el trabajo.

#### **9.1.1.5. ISO 26000: Responsabilidad social empresaria (RS)**

La norma ISO 26000 proporciona directrices voluntarias para la responsabilidad social, sin incluir requisitos de certificación como otras normas. Está diseñada para ser aplicable a organizaciones de cualquier tipo, independientemente de su tamaño, ubicación o contexto.

La norma se basa en siete principios de responsabilidad social, que incluyen rendición de cuentas, transparencia, comportamiento ético, respeto a los intereses de las partes interesadas, respeto al principio de legalidad, respeto a la normativa internacional de comportamiento y respeto a los derechos humanos. Además, aborda siete materias fundamentales que forman los ejes verticales de la responsabilidad social: gobernanza de la organización, derechos humanos, prácticas laborales, medio ambiente, prácticas justas de operación, asuntos de consumidores y participación activa y desarrollo de la comunidad.

La norma ISO 26000 es una guía práctica para diseñar e implementar sistemas de responsabilidad social en organizaciones de todo tipo, con el objetivo de fomentar el comportamiento socialmente responsable a través de su esfera de influencia.

#### **9.1.1.6. ISO 31000: Sistemas de Gestión de Riesgos**

La ISO 31000 es una norma internacional que ofrece las directrices y principios para gestionar el riesgo de las organizaciones.



Esta norma tiene por objetivo que organizaciones de todos los tipos y tamaños puedan gestionar los riesgos en la empresa de forma efectiva, por lo que recomienda que las organizaciones desarrollen, implementen y mejoren continuamente un marco de trabajo cuyo objetivo es integrar el proceso de gestión de riesgos en cada una de sus actividades.

Como complemento a esta norma se ha desarrollado otro estándar: la ISO 31010 “Gestión del riesgo. Técnicas de evaluación de riesgos”. Esta norma provee de una serie de técnicas para la identificación y evaluación de riesgos, tanto positivos como negativos.

### **9.1.2. Normas IRAM**

Las Normas IRAM (Instituto de Racionalización Argentino de Materiales), son un conjunto de normas técnicas desarrolladas por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Estas normas establecen los requisitos y especificaciones para productos, servicios y procesos en diferentes áreas, como la construcción, la industria alimentaria, la salud y la seguridad. Dichas normas son voluntarias, pero su cumplimiento puede ser requerido por los clientes o por la legislación. Su objetivo es mejorar la calidad, la seguridad y la eficiencia de los productos y servicios, así como facilitar el comercio y la cooperación técnica entre los diferentes sectores.

IRAM ha establecido acuerdos con varios organismos internacionales y universidades destacadas. Entre los organismos, se incluyen entidades como AENOR, AFNOR y ABNT, mientras que en el ámbito universitario se destacan instituciones como la UBA y la UNLP, entre otras.

Con presencia tanto en distintas regiones de Argentina como en países como Chile, Bolivia, Ecuador y Perú, el IRAM cuenta con diversas sucursales. Además, ejerce como representante argentino en la ISO y participa activamente en la “Comisión Panamericana de Normas Técnicas” (COPANT), y en la “Asociación MERCOSUR de Normalización” (AMN).

Las normas IRAM aplicadas sobre este proyecto serán:

<b>Normas de seguridad</b>	
<b>IRAM 10005-1</b>	Colores y señales de seguridad. Colores y señales fundamentales
<b>IRAM 10005-2</b>	Colores y señales de seguridad. Aplicación de colores de seguridad en señalizaciones particulares.
<b>IRAM 113094</b>	Plantas y tacos de caucho para calzado de seguridad. Características de los compuestos de caucho.
<b>IRAM 113095</b>	Compuestos de poliuretano para plantas y tacos de calzado de seguridad.
<b>IRAM 13300</b>	Guantes de polil (cloruro de vinilo) plastificado para uso general.



<b>IRAM 13301</b>	Guantes entelados de polil (cloruro de vinilo) plastificado para uso industrial.
<b>IRAM 2507</b>	Sistema de seguridad para la identificación de cañerías.
<b>IRAM 10007</b>	Señales de advertencia. Sistema de señalización de riesgos para eventual incendio u otra emergencia.
<b>IRAM 10032</b>	Baliza cónica para señalización vial.
<b>Normas de calidad ambiental</b>	
<b>IRAM 29001</b>	Ecología. Aire. Definiciones.
<b>IRAM 29002-1</b>	Ecología. Calidad del agua. Definiciones.
<b>IRAM 29004</b>	Calidad del medio ambiente. Definiciones de términos generales.
<b>IRAM 29005</b>	Medio ambiente y recursos de base. Vocabulario sobre materias primas. Términos utilizados para la gestión de desechos.
<b>IRAM 29012-10</b>	Medio ambiente. Calidad del agua. Muestreo de aguas residuales.

*Tabla 24. Normas IRAM. Fuente: Elaboración propia*

## **9.2. CONTROL DE CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTO FINAL**

Es de suma importancia implementar un control de calidad interno para auditar el proceso de producción, permitiendo identificar y corregir posibles desviaciones con respecto a las especificaciones finales del producto. Si este no cumpliera con las especificaciones de calidad para su inyección en la red de distribución se llevará a cabo un proceso de recirculación a través de los equipos de purificación. El objetivo es asegurar que el producto alcance los valores requeridos antes de su distribución.

Existen diversas técnicas disponibles para llevar a cabo este control, siendo crucial seleccionar aquellas que resulten más relevantes y aplicables al contexto específico del proceso productivo.

Debido a la variabilidad inherente a la materia prima utilizada, es esencial realizar un análisis exhaustivo de cada lote de materia prima, en este caso, el estiércol caprino. La composición de este estiércol puede variar según su origen geográfico, lo que a su vez puede influir directamente en los resultados finales del producto obtenido.

### **9.2.1. Ensayos sobre el Biogás**

Como se detalla en el capítulo VIII, sección 9.3. "Autoridades Competentes", se especifica que el gas ingresado en los sistemas de transporte y distribución debe cumplir con las normas:

Parámetro	Unidad	Condición básica	Referencia de control
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	% molar	2 (5.1)	ASTM D 1945 / GPA 2261 / IRAM-IAP A 6852
Total de inertes (CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> )	% molar	4 (5.2)	ASTM D 1945 / GPA 2261 / ISO 6976 / IRAM-IAP A 6852
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	% molar	0,2	ASTM D 1945 / GPA 2261 / IRAM-IAP A 6852
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	mg/m <sup>3</sup>	65	ASTM D 1142 / IRAM-IAPG A 6856
Sulfuro de hidrógeno (SH <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	3	GPA 2377 / IRAM-IAPG A 6860
Azufre entero (S <sub>TOT</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	15	GPA 2377 IRAM-IAPG A 6860 / IRAM-IAPG A 6861
Punto de rocío de hidrocarburo (PRHC)	°C	<-4 @ 5500 kPa	GPA 2286 y Ecuación de Estado
Poder calorífico superior (PCS)	kcal/m <sup>3</sup>	8850 – 10200	GPA 2172 / ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854 / ASTM D3588
	MJ/m <sup>3</sup>	37,04 – 42,70	
Índice de Wobbe (IW)	kcal/m <sup>3</sup>	11300 – 12470	ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854
	MJ/m <sup>3</sup>	47,30 – 52,20	
Partículas sólidas y líquidas	-	(5.3)	Ver 6.9
Temperatura máxima	°C	50	-

Tabla 25. Especificaciones del GN. Fuente: Enargas

### 9.2.2. Determinación de la composición mediante cromatografía de gases

La norma ASTM D 1945/GPA 2261/IRAM-IAP A 6852 establece los procedimientos para la determinación de la composición del gas natural y otros gases relacionados, como el biogás producido a partir de residuos animales mediante cromatografía de gases. Los procedimientos detallados en esta norma incluyen la calibración del equipo, la preparación de las muestras y la realización de las mediciones.

Estos métodos se utilizan para determinar la composición del gas, identificando y cuantificando los diferentes componentes que lo conforman, como el metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y otros componentes presentes en la muestra de gas.

De manera general, en la técnica de cromatografía de gases, la muestra se introduce en la fase móvil, que consiste en un gas inerte, generalmente Helio (He). Esta fase móvil lleva los distintos componentes de la muestra a través de una columna que contiene la fase estacionaria. En la actualidad, las columnas capilares son las más utilizadas en este proceso.

La columna se encuentra ubicada en un horno con control de temperatura. La velocidad de migración de cada componente (y por ende, su tiempo de retención en la columna), depende de cómo se distribuyen entre la fase móvil y la fase estacionaria.

Cada componente presente en la muestra tiene una afinidad diferente hacia la fase estacionaria, lo que permite su separación. Los componentes fuertemente retenidos por esta fase se



desplazan lentamente en la fase móvil, mientras que aquellos débilmente retenidos lo hacen rápidamente. La presión de vapor de los compuestos es un factor crítico en este equilibrio; en términos generales, a mayor presión de vapor, menor será el tiempo de retención de la columna. Esta variación en la movilidad da lugar a la separación de los diferentes componentes de la muestra en bandas, que pueden analizarse tanto cualitativa como cuantitativamente mediante detectores específicos.

Existen tres técnicas básicas para la inyección de muestras (líquidas o gaseosas), en columnas capilares: split, split-less y on column. Las dos primeras consisten en la inyección y vaporización de la muestra en una cámara de vaporización. El sistema split desvía la mayor parte de la muestra fuera del sistema cromatográfico y envía solo una pequeña fracción a la columna. El método split-less dirige toda la muestra a la columna, siendo más adecuado para el análisis de trazas o componentes altamente volátiles. La inyección *on column* se realiza en frío, evitando la etapa de evaporación que podría descomponer compuestos termolábiles.



## **CAPÍTULO X: ASPECTOS AMBIENTALES**

### **INTRODUCCIÓN**

Desde hace poco tiempo, los desechos industriales solían ser descartados y depositados en ríos, mares o en su lugar de origen sin recibir tratamiento alguno. No se tenía plena conciencia del impacto que esta práctica podría generar en el medio ambiente o en la salud y la higiene de las personas. Actualmente, la preocupación por el medio ambiente ha trascendido el ámbito científico, convirtiéndose en una prioridad tanto política como social.

La adecuada gestión de los aspectos ambientales es un factor fundamental para cualquier proyecto. Garantizar el desarrollo sostenible implica no solo buscar beneficios económicos, sino también proteger el entorno natural. El cumplimiento de las normativas ambientales, así como la búsqueda del consenso social para las actividades, favorecen una producción amigable con el entorno.

El proceso de producción de biogás representa una estrategia ambientalmente favorable y sostenible que capitaliza el potencial energético de la materia orgánica. Este método no solo contribuye a la gestión eficiente de los residuos, sino que también facilita la producción de una fuente de energía renovable, disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles y, consecuentemente, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

Uno de los principales beneficios ambientales del proceso de biogás es su capacidad para transformar desechos orgánicos, que de otro modo podrían acabar en vertederos, generando metano y otros gases nocivos, en una valiosa fuente de energía limpia. Esta conversión no solo mitiga la liberación de metano a la atmósfera, un potente gas de efecto invernadero, sino que también contribuye a la conservación de recursos naturales y a la reducción del impacto ambiental asociado con la gestión de residuos.

Además, el biogás generado puede ser utilizado para producir calor y electricidad, ofreciendo una alternativa limpia que puede ser integrada en los sistemas energéticos locales, promoviendo así la descentralización de la producción energética y fomentando la autosuficiencia energética de las comunidades.

La digestión anaeróbica, proceso central en la producción de biogás, también produce un subproducto denominado digestato, que puede ser utilizado como fertilizante orgánico, reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos sintéticos y promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles. Esta utilización no solo devuelve nutrientes esenciales al suelo, sino que también mejora su calidad y fomenta la sostenibilidad a largo plazo de las tierras agrícolas.



Por lo tanto, el proceso de obtención de biogás se establece no solo como una solución energética, sino como una práctica integral de gestión ambiental que alinea las necesidades energéticas con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la operación de plantas de biogás puede generar emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales negativos si no se manejan adecuadamente.

La evaluación de impacto ambiental representa un procedimiento técnico administrativo fundamental utilizado para identificar, anticipar y comprender los diversos factores que un proyecto puede ejercer sobre su entorno ambiental. Su objetivo principal es analizar y prever los efectos que la ejecución de un proyecto podría tener en el ambiente circundante, buscando alternativas que minimicen estos efectos adversos. Para llevar a cabo esta evaluación, se requiere un profundo entendimiento de los procesos tecnológicos, económicos y sociales involucrados.

El concepto de impacto ambiental abarca toda acción o actividad que genere una modificación, tanto positiva como negativa, en el medio ambiente o en alguno de sus componentes. Estas alteraciones pueden variar en su intensidad, dependiendo del contexto en el que se desarrollen.

Este capítulo se enfocará en el análisis de los residuos y emisiones generadas por una planta de producción de biogás. Se llevará a cabo un estudio preliminar de los posibles impactos que podrían manifestarse en las diferentes fases del proyecto, tales como la construcción, operación y mantenimiento. Es importante tener en cuenta que este análisis se expandirá y profundizará durante la etapa de factibilidad del proyecto.

## **10.1. RESPONSABILIDAD SOCIAL AMBIENTAL**

La norma ISO 26000 representa un estándar internacional que establece los parámetros para la Responsabilidad Social Empresarial (RSE), destacando su vínculo con la responsabilidad ambiental en el ámbito empresarial. Esta norma se concentra en siete áreas centrales: gobernanza organizativa, derechos humanos, prácticas laborales, medio ambiente, prácticas laborales, medio ambiente, prácticas justas de colaboración, aspectos de consumo y participación activa y desarrollo comunitario.

La responsabilidad ambiental se posiciona como un elemento fundamental de la RSE, abarcando la prevención de la contaminación, la gestión adecuada de los recursos, la mitigación del cambio climático y la protección del entorno natural.



## **10.2. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

Como se determinó con anterioridad, el proyecto se instalará en el parque industrial del departamento de San Rafael visto en el capítulo de “Localización”, por lo tanto, la legislación nacional y provincial aplicable al mismo fue detallada en el capítulo “Aspectos Jurídicos”.

### **10.2.1. Actividades del proyecto en sus distintas etapas**

A continuación se enumeran las actividades llevadas a cabo en cada etapa del proyecto para luego determinar los impactos ambientales asociados a cada una de ellas.

#### **10.2.1.1. Etapa de construcción**

- ❖ Desarrollo de accesos viales: engloba las labores de adecuación y construcción de las vías necesarias para facilitar la entrada de maquinaria y personal a la zona de trabajo. Esta fase incluye la instalación temporal de señalizaciones, cercas, líneas eléctricas, entre otros elementos;
- ❖ Preparación del terreno de obra: implica movimientos de suelo y la eliminación de cualquier obstáculo que pueda dificultar las labores de construcción de la planta;
- ❖ Instalaciones provisionales: comprende la colocación de estructuras temporales como obradores, servicios sanitarios y depósitos necesarios para llevar a cabo eficientemente las tareas relacionadas con la instalación de la industria, así como depósitos para herramientas y materiales requeridos;
- ❖ Transporte de maquinaria: en esta etapa, se lleva a cabo el traslado temporal o permanente de equipos de excavación, nivelación, camiones y otras maquinarias esenciales;
- ❖ Transporte de materiales: implica la circulación de camiones y otros equipos de transporte para llevar los insumos necesarios para la ejecución de las tareas constructivas;
- ❖ Preparación del terreno: incluye todas las acciones relacionadas con la excavación y construcción de las zonas necesarias para el montaje de los equipos asociados a la planta;
- ❖ Obras civiles en el predio: involucra el desarrollo de las tareas de construcción de las instalaciones de la planta propiamente dicha;
- ❖ Instalación y montaje de equipos: una vez concluidas las obras civiles, se llevan a cabo las diversas tareas necesarias para la instalación de todos los equipos involucrados en el proceso productivo;
- ❖ Manejo de residuos: durante la fase de construcción de la planta, se genera una cantidad significativa de residuos que según su naturaleza, deberán ser tratados y dispuestos adecuadamente;





- ❖ Limpieza de la obra: esta etapa abarca una serie de trabajos necesarios para dejar las instalaciones en condiciones óptimas para la inicio de la operación;
- ❖ Contingencias: en caso de situaciones excepcionales que puedan ser críticas, se deben contemplar en los planes de acción correspondientes.

#### **10.2.1.2. Etapa de operación y mantenimiento**

- Operación de la planta: engloba todas las actividades inherentes al proceso productivo, cuyo impacto específico fue detallado previamente;
- Mantenimiento de las instalaciones: comprende las labores de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, en caso de ser necesario, para asegurar el funcionamiento óptimo de las instalaciones;
- Gestión de los residuos: a lo largo de las fases anteriores se genera una cantidad de residuos. Estos deben someterse a tratamiento, transporte y disposición de acuerdo a los procedimientos establecidos.
- Contingencias: incluye accidentes o eventos extraordinarios que puedan ocurrir durante las fases de operación y mantenimiento, como salidas de servicio debido a fuertes lluvias , incendios, actos de violencia, entre otros.

#### **10.2.1.3. Etapa de abandono**

- Seguridad y mantenimiento;
- Desmantelamiento;
- Desguace y/o venta de equipos;
- Venta inmueble.

#### **10.2.2. Caracterización de residuos**

La selección de la ubicación para la planta se ha centrado estratégicamente en un parque industrial, presentando ventajas significativas, especialmente en términos de aceptación social, un aspecto complejo de abordar. Este parque industrial está distante tanto de las áreas urbanas como de la población rural, minimizando así el impacto directo de los posibles ruidos y olores en la comunidad local.

La materia prima utilizada en nuestro proceso es inherentemente e inofensiva, constituida principalmente por residuos animales comunes. Por lo general, carece de olores fuertes y genera una cantidad significativamente menor de gases de efecto invernadero en comparación con, por ejemplo, el excremento de vaca.

El segundo componente predominante es el agua, utilizada tanto en el proceso de digestión anaeróbica como en el intercambio calórico esencial para la producción de biogás.



Durante el proceso de producción, se generan residuos potencialmente peligrosos y tóxicos, como el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), que requiere tratamiento debido a los posibles efectos adversos tanto en el medio ambiente como en la salud humana. Otro subproducto gaseoso es el dióxido de carbono.

En cuanto a los residuos líquidos y sólidos, se producen Biol y Biosol, los cuales se someten a tratamiento para su posterior comercialización como fertilizantes, lo que asegura que no tengan impacto negativo en el medio ambiente.

### **10.2.3. Prevención de la contaminación**

Antes de abordar el tratamiento específico para cada residuo, es esencial aplicar una serie de premisas que son fundamentales para una gestión ambiental eficaz.

En primer lugar, se debe destacar la importancia de reducir la generación de residuos desde la fuente, mediante la optimización del proceso de producción y la gestión mejorada de los materiales.

La reutilización de insumos y materias primas relacionadas con el proceso es una prioridad, buscando así minimizar al máximo los desperdicios. El reciclaje de los residuos finales también es una técnica crucial para valorizar el material y permitir su reutilización.

Adicionalmente, se debe considerar la posibilidad de sustituir materias primas que generan residuos peligrosos durante la producción, ajustando las formulaciones para obtener un producto con un rendimiento equivalente pero elaborado con materias primas de bajo o nulo impacto ambiental.

Establecer mejoras en las operaciones incluye políticas de concientización del personal, modificaciones en los procedimientos y medidas preventivas de pérdidas. De esta manera, la mitigación del impacto ambiental no solo contribuye a una gestión más efectiva, sino que también resulta en ahorros sustanciales en materias primas e insumos.

La prevención y control de la contaminación deben abordarse considerando los siguientes aspectos:

- Elaboración de una guía preliminar para el diseño del proyecto, con el objetivo de definir un marco operativo eficiente y reducir las pérdidas. La implementación de este enfoque de gestión se respalda en normas como ISO 9000 (gestión de la calidad), e ISO 14000 (gestión ambiental);
- Capacitación del personal en actividades relacionadas con la reducción de residuos, difundiendo procedimientos y políticas organizacionales destinadas a condiciones



operativas técnicas y ambientales confiables, el óptimo funcionamiento de los equipos en condiciones seguras y la adecuada manipulación de materias primas, insumos y productos.

#### **10.2.4. Prácticas operativas**

Los aspectos de mayor relevancia incluyen:

- ❖ *Estudio, evaluación y optimización del manejo de materias primas e insumos:*
  - Evaluación de riesgos emergentes para cada material;
  - Implementación de controles de calidad;
  - Gestión del almacenamiento, incluyendo tipo, calidad, fecha de vencimiento, ubicación y medio de transporte;
  - Análisis de manipulación de materiales;
  - Verificación y/o elaboración de inventarios.
- ❖ *Análisis de condiciones operativas de equipos y tareas de mantenimiento:*
  - Evaluación de etapas del proceso y equipos específicos;
  - Reducción de los costos operativos;
  - Reforzamiento de medidas de seguridad;
  - Prevención de accidentes, situaciones de emergencia y derrames;
  - Identificación de posibles fallas en equipos y accesorios (tanques, cañerías, bombas, válvulas, filtros, etc);
  - Diseño de un plan de mantenimiento.
- ❖ *Programación de la Producción:*
  - Elaboración de cronogramas para cada equipo y de manera integrada, para todo el proceso en general;
  - Verificación de disponibilidad de materiales en depósito y planificación de adquisiciones;
  - Mejora de la productividad;
  - Reducción de pérdidas;
  - Control de la calidad de los productos;
  - Respuesta eficiente de la demanda.
- ❖ *Definición anticipada de la disposición de residuos:*
  - Facilitación de medidas adecuadas para manipulación y traslado de residuos;
  - Clasificación y separación eficiente de residuos peligrosos y no peligrosos;
  - Especificación de reciclado, ubicación de disposición final o tratamiento más conveniente.
- ❖ *Redacción de manuales de operaciones y procedimientos:*



- Definición y/o modificación de operaciones del proceso;
- Actualización constante de manuales debido a cambios tecnológicos y la introducción de nuevos materiales.

### 10.2.5. Lista de chequeo

Con el propósito de evaluar los distintos elementos susceptibles de ser afectados en cada etapa del proyecto y delimitar la extensión del estudio de impacto ambiental, se llevará a cabo la elaboración de una lista de verificación o chequeo.

Preguntas sobre las características del proyecto	SI	NO
¿Implica acciones durante la fase de construcción, operación o abandono que causen cambios físicos en la localización?	X	
¿Implica labores de eliminación de vegetales o suelos?	X	
¿Implica la creación de nuevos usos del suelo?		x
¿Labores previas a la construcción como realización de perforaciones y análisis de suelo?		x
¿Labores de construcción?	X	
¿Labores de demolición?		x
¿Terrenos ocupados temporalmente para labores de construcción de viviendas para los trabajadores?		x
¿Dragados?		x
¿Trabajos de minería?		x
¿Procesos de producción y manufacturación?	X	
¿Instalaciones de almacenamiento de bienes y materiales?	X	
¿Instalaciones para tratamiento de residuos sólidos o efluentes líquidos?	X	
¿Instalación para vivienda de trabajadores?		x
¿Cierre o desviaciones de ruta de transporte?		x
¿Nuevas líneas eléctricas, gasoductos u oleoductos?	X	
¿Existirá afluencia de personas en la zona ya sea con carácter permanente o temporal?	X	
¿Se introducirán especies exóticas?		x
¿Existirá pérdida de especies?		x
¿Conllevará el uso de cualquier recurso natural especialmente no renovable o escaso?		x
Tierras no urbanizadas o agrícolas		x
Agua	X	
Minerales		x
Recursos forestales		x
¿Implicará el uso, almacenamiento, transporte, manipulación o producción de sustancias que pudieran ser dañinas para la salud humana?	X	
¿Producirá el proyecto residuos sólidos durante las fases de construcción, operación y abandono?	X	
Residuos mineros		x
Residuos municipales		x



Residuos tóxicos	X	
Otros residuos industriales		x
Productos sobrantes	X	
Fangos o lodos del tratamiento de efluentes		x
Suelo contaminado		x
Residuos agrícolas		x
¿Emitirá el proyecto contaminantes peligrosos, tóxicos o nocivos a la atmósfera?		x
¿Provocará el proyecto ruidos y vibraciones?		x
¿Implicará riesgo de contaminación sobre el suelo o el agua debido al escape de contaminantes?		x
¿Debido a la producción de aguas residuales y efluentes?		x
¿Debido a los contaminantes liberados a la atmósfera?		x
¿Existe en el entorno o emplazamiento del proyecto alguno de los siguientes elementos del medio que pueda verse afectado?		x
Ríos u otras masas de agua		x
Zonas costeras		x
Caminos usados por el público para acceder a servicios o recreación		x
Zonas de importancia cultural o histórica		x
¿Está el proyecto en una zona sin urbanizar?		x
¿Está el proyecto en una localización en la que será visible para un gran número de personas?		x
¿Existe en el entorno o emplazamiento algún área densamente poblada o urbanizada que pueda verse afectada por el mismo?		x
¿Existen emisiones del proyecto que puedan tener un impacto sobre la calidad del medio ambiente?		x
¿Es probable que el proyecto afecte a la disponibilidad de cualquier recurso ya sea a nivel local o global?		x
¿Es probable que el proyecto pueda afectar a la salud humana o al bienestar de la comunidad?		x

*Tabla 26. Lista de Chequeo. Fuente: Elaboración propia*

LISTA DE CRITERIOS PARA EVALUAR LA IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	SI	NO
¿Se producirá un cambio grande en las condiciones ambientales?		x
¿Existirá mucha población afectada?		x
¿Será difícil evitar, reducir, reparar o compensar los impactos?		x
¿Serán los elementos del proyecto chocantes con el medio?		x
¿Serán los impactos inusuales en el área?		x
¿Se extenderá el impacto sobre una gran superficie?		x
¿Pueden existir impactos transfronterizos?		x

*Tabla 27. Lista de criterios para evaluar la importancia de los impactos ambientales. Fuente: Elaboración propia*



Al examinar detenidamente la lista de chequeo, se evidencia que el impacto ambiental derivado del proyecto no será considerable. La elección de establecer la planta en un complejo industrial sugiere que los efectos sobre aspectos tales como el suelo, la fauna y la sociedad ya han sido considerados en cierta medida desde la concepción del parque industrial.

Este enfoque nos capacita para identificar las áreas más propensas a alteraciones debido a la implementación del proyecto. En este escenario, los principales desafíos residirán en los subproductos gaseosos del proceso, cuya gestión requerirá gran atención, especialmente en situaciones imprevistas como escapes o ventilaciones, que podrían implicar riesgos asociados al contenido de sustancias tóxicas.

### **10.3. CONCLUSIÓN**

En este capítulo, se procedió a evaluar los impactos ambientales generados por la operación de la planta de producción de Biogás, objeto central de este estudio.

Desde la perspectiva ambiental, el proyecto demuestra viabilidad al registrar impactos negativos de magnitud relativamente baja, los cuales son susceptibles de ser controlados mediante la implementación de planes de gestión ambiental adecuados, en aquellos casos donde se considere necesario.

Cabe destacar que este proyecto presenta beneficios ambientales significativos, tales como la conversión de desechos en un producto de valor para la sociedad. Además, como se mencionó anteriormente, se generan subproductos como el Biol y el Biosol, aprovechables como fertilizantes para actividades agrícolas, contribuyendo así a la sostenibilidad y al ciclo eficiente de recursos.



## **CAPÍTULO XI: EVALUACIÓN ECONÓMICA**

### **INTRODUCCIÓN**

La viabilidad económica, abordada mediante criterios como el Valor Actual Neto (VAN), y la Tasa Interna de Retorno (TIR), se establecerá mediante la valoración presente de flujos de caja proyectados a 10 años. Esta evaluación incluirá un análisis exhaustivo de las características del proyecto propuesto, que abarcara la tasa de descuento, estructura de costos, cálculo del punto de equilibrio y beneficios, con un enfoque particular en la rentabilidad.

Los aspectos económicos serán examinados en detalle en el capítulo siguiente, donde se llevará a cabo un análisis de riesgos y sensibilidad. Este último será crucial para determinar en qué medida una variable puede modificarse sin comprometer la viabilidad del proyecto.

### **11.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA**

#### **11.1.1. Tasa de descuento**

La tasa de descuento es un parámetro relevante en la evaluación económica y financiera de proyectos, ya que permite descontar los flujos de beneficios y costos económicos futuros de un proyecto o un programa a un periodo presente. En el contexto de proyectos, la tasa de descuento es importante para determinar la viabilidad y el rendimiento del proyecto.

La tasa de descuento se calcula utilizando el modelo de precios de los activos de capital (CAPM), que incluye el coeficiente beta, el cual es difícil de encontrar en las bases de datos. La importancia de determinar el valor del coeficiente beta radica en que es una medida del riesgo sistemático en la empresa.

En la evaluación de proyectos, la tasa de descuento seleccionada para actualizar los flujos de caja emerge como una de las variables más influyentes, ya que una elección inapropiada puede distorsionar significativamente los resultados.

A través de este método, la tasa de descuento se calcula de la siguiente manera:

$$r = R_f + (R_m - R_f) \cdot \beta + R_p$$

- *Tasa libre de riesgo (Rf):* en la práctica convencional y de amplio consenso, la tasa libre de riesgo se evalúa comúnmente como el rendimiento de los Bonos del Tesoro de Estados Unidos (Treasury Bonds o T-Bonds), con una madurez equivalente a la vida útil del activo bajo evaluación. Para un horizonte de evaluación de diez años, el rendimiento del T-Bonds es del 5%.



- *Tasa de rentabilidad ( $R_m$ ):* representa la tasa de rentabilidad observada en el mercado de los Estados Unidos, abarcando todos los sectores de la economía. Se estima en un 10%.
- *Sensibilidad ( $\beta$ ):* este parámetro vincula el riesgo inherente al proyecto con el riesgo del mercado. Dado que los productos generados por este proyecto pertenecen al sector de la energía renovable se ha empleado un valor de beta igual a 0,9.
- *Riesgo país ( $R_p$ ):* la elección para evaluar el riesgo país se ha basado en la utilización del EMBI (Emerging Market Bond Index Plus). De acuerdo con la información proporcionada por *Ambito.com*, la serie histórica arroja un promedio de alrededor de 900 PUNTOS BÁSICOS, considerado como el escenario de mayor probabilidad.

Con los datos recabados, se procederá al cálculo de la tasa de descuento aplicable a este proyecto:

$$r = 5 + (10 - 5) \cdot 0,9 + 9 = 18,5\%$$

## 11.2. ESTRUCTURA DE COSTOS

### 11.2.1. Inversión inicial

Las erogaciones que deben llevarse a cabo antes de iniciar la operación de una planta industrial se conocen como costos de inversión. Estos costos engloban activos fijos, tanto tangibles como intangibles, y activos corrientes, como el capital de trabajo, que son esenciales para el establecimiento y operación de la empresa. Representan una cantidad significativa de recursos que se destinarán a realizar diversas acciones necesarias antes de la puesta en marcha.

De esta manera, las inversiones realizadas previamente al inicio del proyecto se pueden clasificar en:

- **Activos fijos tangibles:** inversiones en bienes tangibles que se utilizarán en los procesos de transformación de los insumos o que brindarán soporte a la operación normal del proyecto, como el terreno, obras físicas, infraestructura de servicios, etc.
- **Activos fijos intangibles:** todas las inversiones realizadas en activos que comprenden los servicios adquiridos necesarios para la puesta en marcha del proyecto, como gastos de organización, patentes, licencias, gastos de puesta en marcha, entre otros.

#### 11.2.1.1. Activos tangibles

La ejecución de un proyecto implica la utilización de recursos para dos fases distintas:

- a. *Instalación y montaje del proyecto:* se requiere una inversión completa en la distribución y el rendimiento de la maquinaria, las características y el costo de los



edificios, construcciones, equipo complementario, etc. Esto posibilita la estimación del valor de los activos necesarios para obtener la inversión total requerida.

- b. *Etapa de operación o funcionamiento del proyecto:* previo a realizar cualquier inversión, es crucial evaluar si conducirá a ingresos que superen los costos de inversión. Es esencial considerar que las erogaciones a realizar antes de iniciar la operación de una planta industrial se conocen como costos de inversión.

#### 11.2.1.1.1. Terreno

Se adquirirá un terreno ubicado en el Parque Industrial de San Rafael, implicando la necesidad de cumplir con todos los requisitos establecidos por las ordenanzas municipales correspondientes. Los costos asociados a servicios y gastos comunes están directamente vinculados a la superficie de terreno utilizada.

La delimitación perimetral se llevará a cabo mediante una malla metálica de acero galvanizado, presentada en secciones de 2 m de altura y 12 m de longitud. Considerando las dimensiones del terreno de 50 m x 19,84 m, se utilizarán 8 unidades cuyo costo de instalación se estima en un porcentaje adicional del 40% al precio de venta.

Terreno	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total	Costo con Instalación
Adquisición m <sup>2</sup>	992	USD 1,000.00	USD 992,000.00	
Trámites	1	USD 23.00	USD 23.00	
Cierre	8	USD 126.00	USD 1,008.00	USD 192.00
<b>Subtotal</b>			<b>USD 993,031.00</b>	<b>USD 993,223.00</b>

Tabla 28. Activos fijos tangibles, Terreno. Fuente: Elaboración propia

#### 11.2.1.1.2. Edificios e instalaciones

La inversión asociada a las edificaciones se determina mediante el cálculo del costo unitario para cada tipo de instalación, cuyas dimensiones han sido previamente establecidas en el capítulo V: “Ingeniería de Proceso”, sección 5.8 “Diseño y distribución de la Planta”. El costo relacionado con las instalaciones eléctricas se estima como el 30% del costo total de las edificaciones. En cuanto a las tuberías, el procedimiento es análogo, considerándose un 4% del costo total de la edificación.



ACTIVOS FIJOS TANGIBLES				
Edificios e instalaciones	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total	Costo con Instalación
Producción m <sup>2</sup>	331	USD 235.00	USD 77,785.00	
Almacén de MMPP m <sup>2</sup>	42	USD 190.00	USD 7,980.00	
Almacén PPF m <sup>2</sup>	300	USD 200.00	USD 60,000.00	
Sanitarios y vestidores m <sup>2</sup>	25	USD 280.00	USD 7,000.00	
Oficinas administrativas m <sup>2</sup>	25	USD 235.00	USD 5,875.00	
Estacionamiento	100	USD 190.00	USD 19,000.00	
Laboratorio de calidad	15	USD 340.00	USD 5,100.00	
Instalación eléctrica	1	USD 54,822.00	USD 54,822.00	
Tuberías	1	USD 7,309.60	USD 7,309.60	
Caminos km	0.10	USD 40.00	USD 4.00	
<b>Subtotal</b>			<b>USD 244,875.60</b>	<b>USD 244,875.60</b>

Tabla 29. Activos fijos tangibles, Edificios e instalaciones. Fuente: Elaboración propia

### 11.2.1.1.3. Maquinaria y equipos

En el capítulo VI, “Tecnología” se detallaron todas las necesidades relativas a los equipos. Para determinar el costo total establecido, se multiplica por el factor de Lang, calculando así la inversión total necesaria para la instalación del equipo en la planta, teniendo en cuenta el transporte. En este caso, el factor de Lang es de 3,6, obtenido de la revista Chemical Engineering en la sección de “Economics Indicator” para una planta de procesamiento de sólidos y fluidos mixtos.

En el ítem de instrumentos, se consideran bombas, válvulas, elementos de automatización y control, así como accesorios, en función del tamaño de la planta. Además, se



estima el costo total del equipamiento de laboratorio mediante una comparación con laboratorios de prestaciones similares.

ACTIVOS FIJOS TANGIBLES				
Maquinaria y equipos	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total	Costo con Instalación
Biodigestor	1	USD 70,000.00	USD 70,000.00	USD 252,000.00
Pileta de pretratamiento	1	USD 2,000.00	USD 2,000.00	USD 7,200.00
Pileta de almacenamiento	1	USD 6,000.00	USD 6,000.00	USD 21,600.00
Pileta de descarga	1	USD 5,000.00	USD 5,000.00	USD 18,000.00
Agitadores	4	USD 2,084.00	USD 8,336.00	USD 30,009.60
Bombas de carga y descarga	4	USD 20,000.00	USD 80,000.00	USD 288,000.00
Cúpula de gas	1	USD 10,000.00	USD 10,000.00	USD 36,000.00
Válvula de seguridad	2	USD 1,578.00	USD 3,156.00	USD 11,361.60
Apagallamas	2	USD 100.00	USD 200.00	USD 720.00
Válvulas térmicas	2	USD 1,710.00	USD 3,420.00	USD 12,312.00
Soplador	1	USD 10,000.00	USD 10,000.00	USD 36,000.00
Separador de sedimentos	1	USD 15,000.00	USD 15,000.00	USD 54,000.00
Purgador de condensado	1	USD 15,000.00	USD 15,000.00	USD 54,000.00
Caudalímetro	1	USD 370.00	USD 370.00	USD 1,332.00
Manómetros	2	USD 200.00	USD 400.00	USD 1,440.00
Regulador de Presión	2	USD 200.00	USD 400.00	USD 1,440.00
Antorcha	1	USD 10,000.00	USD 10,000.00	USD 36,000.00



Muestreador	1	USD 100.00	USD 100.00	USD 360.00
Caldera	1	USD 28,700.00	USD 28,700.00	USD 103,320.00
Trampas de agua	2	USD 150.00	USD 300.00	USD 1,080.00
Filtro de carbón activado	1	USD 25,000.00	USD 25,000.00	USD 90,000.00
Instrumentación	1	USD 400.00	USD 400.00	USD 1,440.00
Equipos de laboratorio	1	USD 10,000.00	USD 10,000.00	USD 36,000.00
<b>Subtotal</b>			<b>USD 303,782.00</b>	<b>USD 1,093,615.20</b>

*Tabla 30. Activos fijos tangibles, Maquinaria y equipos. Fuente: Elaboración propia*

#### 11.2.1.1.4. Muebles y útiles

En esta sección se contempla la inversión necesaria para equipar las oficinas administrativas y de operación, y el laboratorio de calidad. A esta inversión se le agrega un porcentaje para cubrir gastos relacionados con útiles de oficina e imprevistos.

ACTIVOS FIJOS TANGIBLES				
Muebles y útiles	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total	Costo con Instalación
Computadoras	2	USD 571.00	USD 1,142.00	
Impresoras	1	USD 300.00	USD 300.00	
Escritorios	2	USD 60.00	USD 120.00	
Sillas	10	USD 40.00	USD 400.00	
Mesas	2	USD 42.00	USD 84.00	
Armarios	4	USD 180.00	USD 720.00	
Aire acondicionado	1	USD 400.00	USD 400.00	
Teléfonos	4	USD 70.00	USD 280.00	
Imprevistos (%)	1	USD 360.00	USD 360.00	
<b>Subtotal</b>			<b>USD 3,806.00</b>	<b>USD 3,806.00</b>

*Tabla 31. Activos fijos tangibles, Muebles y útiles. Fuente: Elaboración propia*



### 11.2.1.2. Activos intangibles

Las inversiones en activos intangibles abarcan servicios o derechos adquiridos esenciales para iniciar el proyecto. Los cargos diferidos, estimados como un porcentaje de las inversiones en activos fijos, son amortizables y afectan indirectamente al flujo de caja.

Para la planeación e integración del proyecto, se estima un 0,3% de la inversión total en activos fijos. La Ingeniería de proyecto representa el 0,35% del costo total de los equipos de planta. La supervisión del proyecto requiere el 0,15% del capital invertido en activos fijos. La administración del proyecto tiene un costo equivalente al 0,5% de la inversión en activos fijos.

La puesta en marcha de los equipos implica un costo del 2% del costo de los equipos de planta.

La inversión inicial para obtener la patente se estima en USD 1500, según información proporcionada por empresas del sector.

Dentro de los costos asociados a la constitución de la empresa, se incluyen la inscripción en la Subsecretaría de Trabajo y en diversos organismos como el sindicato, ART, AFIP, Seguridad Social, entre otros. Dado que se trata de una Sociedad Anónima, se deben abonar dos códigos tributarios en la Dirección de Personas Jurídicas, con un costo de \$75000. La adquisición de los Libros Societarios y Contables tiene un valor de \$70000. La inscripción de los trabajadores en la Subsecretaría de Trabajo conlleva un costo de \$40000. Los honorarios mínimos de un asesor contable para la constitución de sociedades son de \$50000, y la remuneración estipulada de un abogado es aproximadamente \$60000. Estos costos totalizan \$295000 para la constitución de la empresa. Además, pueden surgir otros gastos imprevistos, elevando los cargos diferidos a un total de \$350000.

ACTIVOS FIJOS INTANGIBLES				
Cargos diferidos	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total	Costo con Instalación
Planeación e integración del proyecto	1	USD 4,637.06	USD 4,637.06	
Ingeniería del proyecto	1	USD 1,063.24	USD 1,063.24	
Supervisión del proyecto	1	USD 2,318.53	USD 2,318.53	



Administración del proyecto	1	USD 7,728.43	USD 7,728.43	
Constitución de la empresa	1	USD 350.00	USD 350.00	
Puesta en marcha	1	USD 6,075.64	USD 6,075.64	
Patentes y licencias	1	USD 1,500.00	USD 1,500.00	
<b>Subtotal</b>			<b>USD 23,672.90</b>	<b>USD 23,672.90</b>

*Tabla 32. Activos fijos intangibles. Fuente: Elaboración propia*

### 11.2.1.3. Inversión necesaria

Para la instalación y operación de la planta de producción de biogás, según las especificaciones delineadas en este proyecto, se requiere una inversión inicial equivalente a la suma de los costos de activos fijos tangibles e intangibles.

En este contexto, dicho valor se estima en U\$D 2.359.192,7.

## 11.3. CRONOGRAMA DE INVERSIONES

El cronograma de inversiones representa el desglose de las inversiones detalladas por cada uno de los conceptos fundamentales a lo largo del tiempo en el cual se llevarán a cabo. Proporciona una visión temporal de las sumas a invertir en cada concepto, acumuladas por unidad de tiempo, en este caso, años.

En el contexto de una industria de este tipo y dadas las particularidades del proceso, se considera óptimo realizar la inversión total de puesta en marcha en el primer año.

En este año, la adquisición del terreno se efectúa en el primer mes. La construcción de la edificación e instalaciones está programada para los primeros seis meses, con desembolsos de valor constante cada mes.

Los costos diferidos se utilizan en su totalidad en el primer mes, a excepción de los costos de puesta en marcha de la planta, que, lógicamente, se requieren en el último mes de inversión. La adquisición de maquinaria y equipos está programada para ocurrir desde el séptimo hasta el duodécimo mes, con valores equivalentes cada mes.

Finalmente, tanto los muebles como los utensilios son adquiridos en el último mes, dado que no requieren un extenso periodo de tiempo para instalación.

Dado que la inversión total se realiza en diferentes momentos a lo largo del tiempo, para calcular su valor real en el momento cero de este proyecto, se lleva a cabo una actualización de los

distintos costos mensuales. El primer paso para realizar este cálculo implica determinar la tasa equivalente mensual en relación con la tasa de descuento anual calculada para este proyecto.

$$TEM = (1 + R)^{1/12} - 1 = (1 + 0,185)^{1/12} - 1 = 1,424\%$$

Con esta tasa se actualizan las inversiones a realizar cada mes, considerando que la erogación correspondiente se hace a la mitad de cada mes.

MES					
Concepto	1	2	3	4	5
Edificios e instalaciones	USD 993,223.00	USD 40,812.60	USD 40,812.60	USD 40,812.60	USD 40,812.60
Maquinaria y equipos					
Cargos diferidos	USD 17,597.26				
Muebles y útiles					
<b>Total Mensual</b>	<b>USD 1,010,820.26</b>	<b>USD 40,812.60</b>	<b>USD 40,812.60</b>	<b>USD 40,812.60</b>	<b>USD 40,812.60</b>

Tabla 33. Cronograma de inversiones. Fuente: Elaboración propia

MES					
Concepto	6	7	8	9	10
Edificios e instalaciones	USD 40,812.60				
Maquinaria y equipos		USD 182,269.20	USD 182,269.20	USD 182,269.20	USD 182,269.20
Cargos diferidos					
Muebles y útiles					
<b>Total Mensual</b>	<b>USD 40,812.60</b>	<b>USD 182,269.20</b>	<b>USD 182,269.20</b>	<b>USD 182,269.20</b>	<b>USD 182,269.20</b>

Tabla 34. Cronograma de inversiones. Fuente: Elaboración propia

MES			
Concepto	11	12	Valor futuro
Edificios e instalaciones			USD 1,408,691.49
Maquinaria y equipos	USD 182,269.20	USD 182,269.20	USD 1,149,433.16
Cargos diferidos		USD 6,075.64	USD 27,013.49
Muebles y útiles		USD 3,806.00	USD 3,860.20
<b>Total Mensual</b>	<b>USD 182,269.20</b>	<b>USD 192,150.84</b>	<b>USD 2,588,998.34</b>

Tabla 35. Cronograma de inversiones. Fuente: Elaboración propia

$$I_0 = \sum_{i=1}^n VF_i (1+r)^{n_i} = 2.588.998,34 \text{ USD}$$

De esta forma, el valor de la inversión inicial, actualizada en el momento cero del proyecto, asciende a U\$D 2.588.998,34.

### 11.3.1. Inversión en capital de trabajo (ICT)

La concepción más elemental de capital de trabajo lo define como el conjunto de recursos necesarios para el funcionamiento de la empresa. En este contexto, el capital de trabajo equivale al activo corriente, comprendiendo efectivo, inversiones a corto plazo, cartera e inventarios.

Para la operatividad de la empresa, se requieren recursos que cubran las necesidades de insumos, materia prima, mano de obra, reposición de activos fijos, entre otros. Estos recursos deben estar disponibles a corto plazo para satisfacer las necesidades de la empresa en un ciclo productivo específico, considerando su capacidad y tamaño.

Para una evaluación más precisa del capital de trabajo, se procede a restar los pasivos corrientes de los activos corrientes. Este cálculo resulta en el capital de trabajo neto contable, que representa los recursos con los que la empresa puede operar si todos los pasivos a corto plazo se saldan.

En términos más específicos, el pasivo circulante abarca las deudas exigibles a corto plazo, mientras que el activo circulante constituye el fondo de maniobra.





### 11.3.3.1. Métodos de cálculo

Diversos métodos se emplean para el cálculo del capital de trabajo, entre los cuales se destacan los siguientes:

- **Método del período de desfase:** este enfoque implica determinar la cantidad de los costos de operación que deben ser financiados desde el primer pago por la adquisición de materia prima hasta la recaudación del ingreso por la venta de productos, destinado a financiar el siguiente periodo de desfase. Es decir, considera el tiempo de recuperación. El intervalo de tiempo obtenido se utiliza junto con el costo unitario para calcular la inversión en el Costo de Capital (ICT).
- **Método del déficit acumulado máximo:** este método se basa en calcular los flujos de egresos e ingresos proyectados mes a mes, determinando el saldo y su acumulado. La ICT para financiar la operación normal del proyecto se toma como el máximo saldo acumulado, reflejando los recursos necesarios para mantener el nivel de operación calculado. El déficit acumulado máximo debe estar disponible, considerando siempre el desfase entre ingresos y egresos.
- **Método contable:** en este método, se cuantifica la inversión necesaria en cada rubro del activo corriente, considerando que estos activos pueden financiarse con pasivos de corto plazo (créditos de proveedores, préstamos bancarios, etc). Se analizan aspectos como el saldo óptimo de efectivo, el nivel adecuado de cuentas por cobrar, el volumen de existencias a mantener y los niveles esperados de deudas a corto plazo. Dado que este proyecto se encuentra en una fase de análisis de prefactibilidad, estos factores no se determinan y por ende, no se aplica este método.

### 11.3.3.2. Selección del método

Generalmente, el método del déficit acumulado máximo es empleado en proyectos con marcada estacionalidad. Por otro lado, el sistema de período de desfase es especialmente útil para proyectos con períodos de recuperación breve. No obstante, este último método presenta la deficiencia de no considerar los ingresos que podrían generarse durante el período de recuperación, provenientes de ventas realizadas a otros consumidores. Esta omisión tiende a sobrestimar el monto calculado, afectando negativamente la evaluación.

A pesar de lo expuesto, para el caso particular de este proyecto, la aplicación del método de desfase se percibe como más adecuada y beneficiosa.



### 11.3.3.3. Cálculo de la inversión en capital de trabajo

El cálculo del capital de trabajo mediante el método seleccionado se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$ICT = \frac{CA}{365} \cdot nd$$

Donde:

- ICT: inversión inicial en capital de trabajo;
- CA: costo anual erogable proyectado para el primer año de operación;
- nd: número de días de desfase entre la ocurrencia de los egresos y la generación de ingresos.

Para determinar el período de desfase, se consideran los siguientes tiempos:

- Tiempo de elaboración del producto: 35 días;
- Tiempo de comercialización: 30 días;
- Tiempo en que se hace efectivo el cobro: 30 días;

Por lo tanto,  $nd = 95$  días

El cálculo detallado del costo anual de operación erogable se presenta en secciones subsiguientes, y su valor final es de USD 3.466.651,56.

Sustituyendo estos valores en la fórmula de cálculo, se determina que la inversión en capital de trabajo alcanza un valor de USD 902.279,1740.

#### 11.3.3.3.1. Costos fijos

Los costos fijos son aquellos desembolsos que la empresa está obligada a afrontar, independientemente de su nivel operativo. En otras palabras, estos costos persisten, ya sea que la empresa esté en producción o no. Constituyen una erogación imperativa que la empresa debe absorber, subrayando así su relevancia en la estructura financiera. Entre los costos fijos se encuentran los salarios, servicios públicos, seguros, alquileres, entre otros, los cuales serán detallados y cuantificados en secciones posteriores.

##### ➤ *Costos por depreciaciones y amortizaciones*

Las definiciones de depreciación y amortización se centran en la pérdida de valor económico que experimenta un activo con el paso del tiempo.

La distinción fundamental entre ambos conceptos radica en que la depreciación se aplica a la pérdida de valor en activos tangibles, mientras que la amortización se refiere a los bienes intangibles.

El porcentaje de depreciación/amortización está predeterminado por la ley y varía según el tipo de actividad bajo análisis.

En las siguientes tablas se detallan los costos asociados a conceptos de amortización y depreciación para los activos que forman parte de la inversión de la empresa.

El costo anual total de amortizaciones y depreciaciones varía según el año dentro del horizonte de evaluación ya que la vida útil contable varía según el concepto analizado.

Edificios e instalaciones	Tasa de depreciación anual	Inversión inicial	Depreciación anual	Vida útil contable (años)	Depreciación total
Producción m2	4.00%	USD 77,785.00	USD 3,111.40	25	USD 31,114.00
Almacén de MMPP m2	4.00%	USD 7,980.00	USD 319.20	25	USD 3,192.00
Almacén PPF m2	4.00%	USD 60,000.00	USD 2,400.00	25	USD 24,000.00
Comedor	4.00%	USD 7,000.00	USD 280.00	25	USD 2,800.00
Sanitarios y vestidores m2	4.00%	USD 5,875.00	USD 235.00	25	USD 2,350.00
Oficinas administrativas m2	4.00%	USD 19,000.00	USD 760.00	25	USD 7,600.00
Estacionamiento	4.00%	USD 5,100.00	USD 204.00	25	USD 2,040.00
Instalación eléctrica	4.00%	USD 54,822.00	USD 2,192.88	25	USD 21,928.80
Tuberías	4.00%	USD 7,309.60	USD 292.38	25	USD 2,923.84
Caminos km	4.00%	USD 4.00	USD 0.16	25	USD 1.60
<b>Subtotal</b>		<b>USD 244,875.60</b>	<b>USD 9,795.02</b>		<b>USD 97,950.24</b>

*Tabla 36. Costos fijos. Fuente: Elaboración propia*



Muebles y útiles	Tasa de depreciación anual	Inversión inicial	Depreciación anual	Vida útil contable (años)	Depreciación total
Computadoras	33.00%	USD 1,142.00	USD 376.86	3	USD 1,130.58
Impresoras	33.00%	USD 300.00	USD 99.00	3	USD 297.00
Escritorios	33.00%	USD 120.00	USD 39.60	3	USD 118.80
Sillas	33.00%	USD 400.00	USD 132.00	3	USD 396.00
Mesas	33.00%	USD 84.00	USD 27.72	3	USD 83.16
Armarios	33.00%	USD 720.00	USD 237.60	3	USD 712.80
Aire acondicionado	33.00%	USD 400.00	USD 132.00	3	USD 396.00
Teléfonos	33.00%	USD 280.00	USD 92.40	3	USD 277.20
Imprevistos (5%)	33.00%	USD 360.00	USD 118.80	3	USD 356.40
<b>Subtotal</b>		<b>USD 3,806.00</b>	<b>USD 1,255.98</b>		<b>USD 3,767.94</b>

*Tabla 37. Costos fijos. Fuente: Elaboración propia*

Maquinaria y equipos	Tasa de depreciación anual	Inversión inicial	Depreciación anual	Vida útil contable (años)	Depreciación total
Biodigestor	10.00%	USD 70,000.00	USD 7,000.00	10	USD 70,000.00
Pileta de pretratamiento	10.00%	USD 2,000.00	USD 200.00	10	USD 2,000.00
Pileta de almacenamiento	10.00%	USD 6,000.00	USD 600.00	10	USD 6,000.00
Pileta de descarga	10.00%	USD 5,000.00	USD 500.00	10	USD 5,000.00
Agitadores	10.00%	USD 8,336.00	USD 833.60	10	USD 8,336.00



Bombas de carga y descarga	10.00%	USD 80,000.00	USD 8,000.00	10	USD 80,000.00
Cúpula de gas	10.00%	USD 10,000.00	USD 1,000.00	10	USD 10,000.00
Válvula de seguridad	10.00%	USD 3,156.00	USD 315.60	10	USD 3,156.00
Apagallamas	10.00%	USD 200.00	USD 20.00	10	USD 200.00
Válvulas térmicas	10.00%	USD 3,420.00	USD 342.00	10	USD 3,420.00
Soplador	10.00%	USD 10,000.00	USD 1,000.00	10	USD 10,000.00
Separador de sedimentos	10.00%	USD 15,000.00	USD 1,500.00	10	USD 15,000.00
Purgador de condensado	10.00%	USD 15,000.00	USD 1,500.00	10	USD 15,000.00
Caudalímetro	10.00%	USD 370.00	USD 37.00	10	USD 370.00
Manómetros	10.00%	USD 400.00	USD 40.00	10	USD 400.00
Regulador de Presión	10.00%	USD 400.00	USD 40.00	10	USD 400.00
Antorcha	10.00%	USD 10,000.00	USD 1,000.00	10	USD 10,000.00
Muestreador	10.00%	USD 100.00	USD 10.00	10	USD 100.00
Caldera	10.00%	USD 28,700.00	USD 2,870.00	10	USD 28,700.00
Trampas de agua	10.00%	USD 300.00	USD 30.00	10	USD 300.00
Filtro de carbón activado	10.00%	USD 25,000.00	USD 2,500.00	10	USD 25,000.00
Instrumentación	10.00%	USD 400.00	USD 40.00	10	USD 400.00
Equipos de	10.00%	USD	USD 1,000.00	10	USD 10,000.00

laboratorio		10,000.00			
<b>Subtotal</b>		<b>USD 303,782.00</b>	<b>USD 30,378.20</b>		<b>USD 303,782.00</b>

*Tabla 38. Costos fijos. Fuente: Elaboración propia*

Cargos diferidos	Tasa de amortización anual	Inversión inicial	Amortización anual	Vida útil contable (años)	Amortización total
Planeación e integración del proyecto	50.00%	USD 4,637.06	USD 2,318.53	2	USD 4,637.06
Ingeniería del proyecto	50.00%	USD 1,063.24	USD 531.62	2	USD 1,063.24
Supervisión del proyecto	50.00%	USD 2,318.53	USD 1,159.26	2	USD 2,318.53
Administración del proyecto	50.00%	USD 7,728.43	USD 3,864.22	2	USD 7,728.43
Constitución de la empresa	50.00%	USD 350.00	USD 175.00	2	USD 350.00
Puesta en marcha	50.00%	USD 6,075.64	USD 3,037.82	2	USD 6,075.64
Patentes y licencias	50.00%	USD 1,500.00	USD 750.00	2	USD 1,500.00
<b>Subtotal</b>		<b>USD 23,672.90</b>	<b>USD 11,836.45</b>		<b>USD 23,672.90</b>

*Tabla 39. Costos fijos. Fuente: Elaboración propia*

➤ *Costos fijos de mano de obra:*

En el capítulo de Estructura Organizacional, se llevó a cabo un análisis detallado del organigrama de la empresa. A partir de esta información, se procedió a identificar las funciones que conforman la mano de obra permanente.

Esta determinación se efectuó mediante la consideración de un escenario de parada de producción. En este contexto, se examinaron las funciones esenciales que deben mantenerse



operativas incluso durante una pausa en la producción para garantizar el funcionamiento continuo de la planta.

En resumen, la mano de obra fija incluirá a los trabajadores del sector administrativo, así como a los gerentes y jefes del sector productivo. Para el cálculo de los salarios, se tuvieron en cuenta aspectos como la categoría laboral, beneficios adicionales que abarcan vacaciones, aguinaldos, entre otros. Los resultados detallados de este análisis se presentan en las Tablas 11-8-1; 11-8-2 y 11-8-3.

Función	Puestos	Categoría	Sueldo básico	Extra (0,6)	Sueldo bruto	Jubilación (0,11)
Gerente general	1	Fuera CCT	USD 1,638.00	USD 982.80	USD 2,620.80	USD 180.18
Gerente de Operaciones	1	Fuera CCT	USD 1,430.00	USD 858.00	USD 2,288.00	USD 157.30
Jefe de mantenimiento	1	Fuera CCT	USD 1,050.00	USD 630.00	USD 1,680.00	USD 115.50
Jefe de producción	1	Fuera CCT	USD 1,100.00	USD 660.00	USD 1,760.00	USD 121.00
Jefe de Control de Calidad	1	Fuera CCT	USD 1,000.00	USD 600.00	USD 1,600.00	USD 110.00
Gerente de Comercial y Contable	1	Fuera CCT	USD 1,100.00	USD 660.00	USD 1,760.00	USD 121.00
Jefe de Logística y distribución	1	Fuera CCT	USD 1,000.00	USD 600.00	USD 1,600.00	USD 110.00

Tabla 40. Costos fijos mano de obra. Fuente: Elaboración propia

Obra social (0,03)	ART (0,01)	Cuota sindical (0,03)	Aporte personal (0,03)	Sueldo neto	Total anual empleados
USD 49.14	USD 16.38	USD 49.14	USD 49.14	USD 2,964.78	USD



					35,577.36
					USD
USD 42.90	USD 14.30	USD 42.90	USD 42.90	USD 2,588.30	31,059.60
					USD
USD 31.50	USD 10.50	USD 31.50	USD 31.50	USD 1,900.50	22,806.00
					USD
USD 33.00	USD 11.00	USD 33.00	USD 33.00	USD 1,991.00	23,892.00
					USD
USD 30.00	USD 10.00	USD 30.00	USD 30.00	USD 1,810.00	21,720.00
					USD
USD 33.00	USD 11.00	USD 33.00	USD 33.00	USD 1,991.00	23,892.00
					USD
USD 30.00	USD 10.00	USD 30.00	USD 30.00	USD 1,810.00	21,720.00

*Tabla 41. Costos fijos mano de obra. Fuente: Elaboración propia*

Aportes patronales anuales (0,345)	Previsión por despidos anual (0,2)	Total anual
USD 12,274.19	USD 7,115.47	USD 54,967.02
USD 10,715.56	USD 6,211.92	USD 47,987.08
USD 7,868.07	USD 4,561.20	USD 35,235.27
USD 8,242.74	USD 4,778.40	USD 36,913.14
USD 7,493.40	USD 4,344.00	USD 33,557.40
USD 8,242.74	USD 4,778.40	USD 36,913.14
USD 7,493.40	USD 4,344.00	USD 33,557.40



<b>Total</b>	<b>USD 279,130.45</b>
--------------	---------------------------

*Tabla 42. Costos fijos mano de obra. Fuente: Elaboración propia*

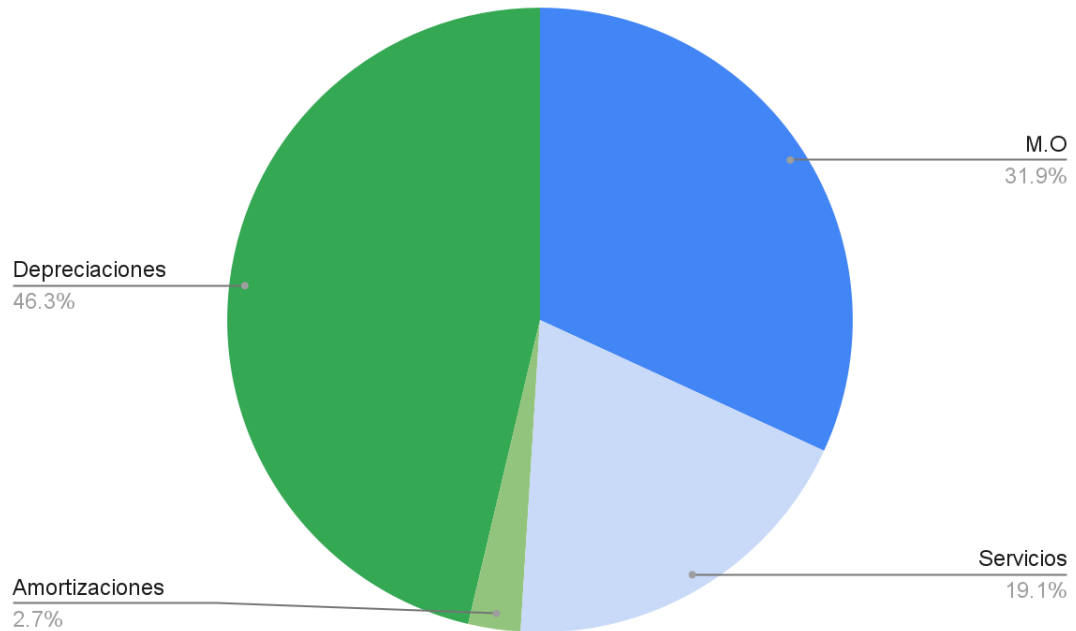
➤ *Costos fijos de servicios y costos totales fijos:*

En esta sección, se incorporan los costos fijos que no pueden ser categorizados en los ítems previos. Se incluyen, por ejemplo, costos asociados a servicios como librería, suministro de agua y gas en áreas administrativas, baños, servicios de internet, teléfonos, entre otros.

Servicio	Costo anual
Gastos de librería y limpieza	USD 800.00
Teléfonos e internet	USD 1,500.00
Seguridad	USD 100,000.00
Limpieza	USD 5,000.00
Recursos Humanos	USD 30,000.00
Atención Médica	USD 30,000.00
Agua	USD 100.00
<b>Total</b>	<b>USD 167,400.00</b>

*Tabla 43. Costos fijos de servicios y costos totales fijos. Fuente: Elaboración propia*

En la figura subsiguiente, se presenta un análisis detallado de los distintos valores de costos fijos recopilados, permitiendo observar la influencia de cada ítem en el total.



*Figura 36. Distribución de costos fijos - Fuente: Elaboración propia*

Es evidente que los costos fijos se encuentran similarmente distribuidos entre las depreciaciones y amortizaciones de la inversión inicial, y la mano de obra fija junto con los servicios. No obstante, se nota que el impacto de las depreciaciones y amortizaciones disminuye progresivamente a medida que se extiende el horizonte de evaluación.

#### **11.3.3.3.2. Costos variables**

Como su determinación sugiere, los costos variables se refieren a los costos de producción que fluctúan según el nivel de producción, incrementando a medida que la producción aumenta. La estrategia de la organización debería apuntar a que la mayor proporción de sus costos sea variable, con el fin de minimizar sus costos totales cuando sea necesario reducir la producción.

❖ *Costos variables por materias primas e insumos:*

Tanto las materias primas como los insumos esenciales para la producción de biogás han sido previamente identificados y cuantificados en el capítulo “Ingeniería de Proceso”. La tabla 11-10 presenta los resultados de los costos variables asociados a materias primas e insumos, calculados multiplicando el costo unitario de cada factor por las cantidades necesarias.

MMPP/Insumos	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Estiércol	680000 kg/año	1,5 USD/kg	USD 1,020,000.00
Agua	2720 m3/año	300 USD/m3	USD 816,000.00
<b>Total</b>			<b>USD 1,836,000.00</b>

Tabla 44. Costos variables por materia prima e insumos. Fuente: Elaboración propia

❖ *Costos variables por mano de obra variable:*

Esta categoría abarca todas las funciones incluidas en el organigrama de la empresa que no se han considerado previamente como costos fijos de mano de obra, principalmente los operarios.

Función	Puestos	Categoría	Sueldo básico	Extra (0,6)	Sueldo bruto	Jubilación (0,11)
Operarios	9	A2	USD 200.00	USD 120.00	USD 320.00	USD 22.00

Tabla 45. Costos variables por mano de obra variable. Fuente: Elaboración propia

Obra social (0,03)	ART (0,01)	Cuota sindical (0,03)	Aporte personal (0,03)	Sueldo neto	Total anual empleados
USD 6.00	USD 2.00	USD 6.00	USD 6.00	USD 362.00	USD 3,258.00

Tabla 46. Costos variables por mano de obra variable. Fuente: Elaboración propia

Aportes patronales anuales (0,345)	Previsión por despidos anual (0,2)	Total anual
USD 1,124.01	USD 651.60	USD 5,033.61
<b>Total</b>		<b>USD 5,033.61</b>

Tabla 47. Costos variables por mano de obra variable. Fuente: Elaboración propia

❖ *Costos variables por servicios y otros:*

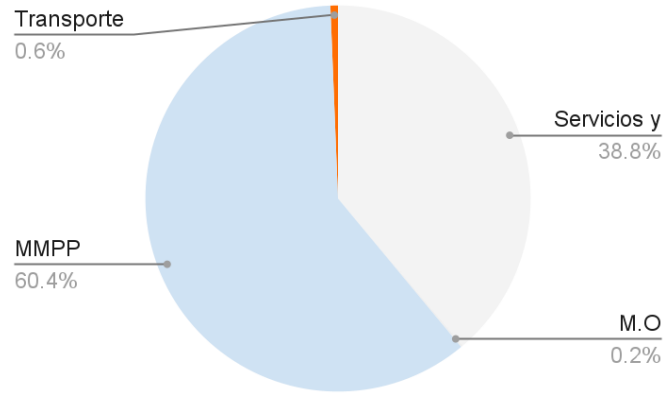
En este contexto, se procede de manera similar a los costos fijos para este tipo de conceptos. Se incluyen aquellos cuyo consumo está directamente relacionado con la cantidad de

producto terminado, como el agua y la electricidad para el proceso, así como algunos insumos necesarios para el mantenimiento.

Servicios y otros costos	Cantidad anual	Precio unitario	Costo total
Energía eléctrica kW/h	750	USD 0.09	USD 67.50
Transporte de MMPP	11	USD 1,750.00	USD 19,250.00
Agua m <sup>3</sup> /a	7.7	USD 100.00	USD 770.00
Envases Biofertilizante (Unidades)	115600	USD 10.00	USD 1,156,000.00
Insumos para mantenimiento			USD 3,000.00
<b>Total</b>			<b>USD 1,179,087.50</b>

*Tabla 48. Costos variables por servicios y otros. Fuente: Elaboración propia*

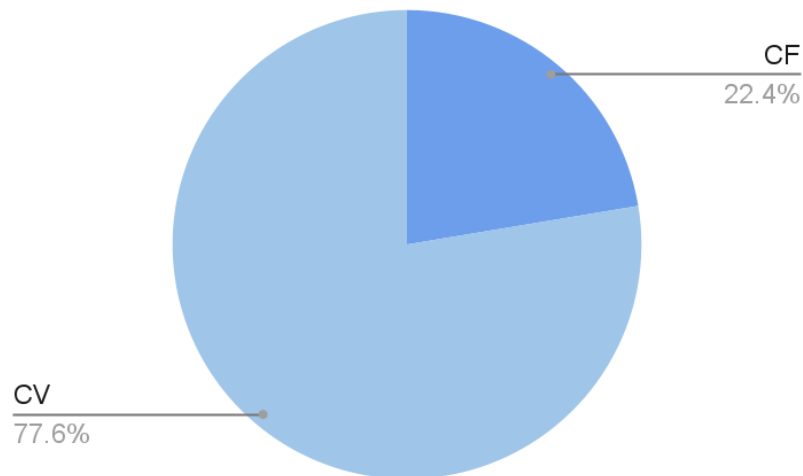
La figura siguiente ofrece un análisis detallado de los diferentes valores de costos variables obtenidos, permitiendo observar la contribución de cada ítem al costo total. Es evidente que el concepto que más influye en el costo variable del producto es el de materias primas e insumos. Por lo tanto, se deben dirigir los principales esfuerzos hacia la reducción de estos costos, ya sea mediante acuerdos con proveedores o la optimización del consumo a través de mejoras en la eficiencia del proceso.



*Figura 37. Distribución de costos variables - Fuente: Elaboración propia*

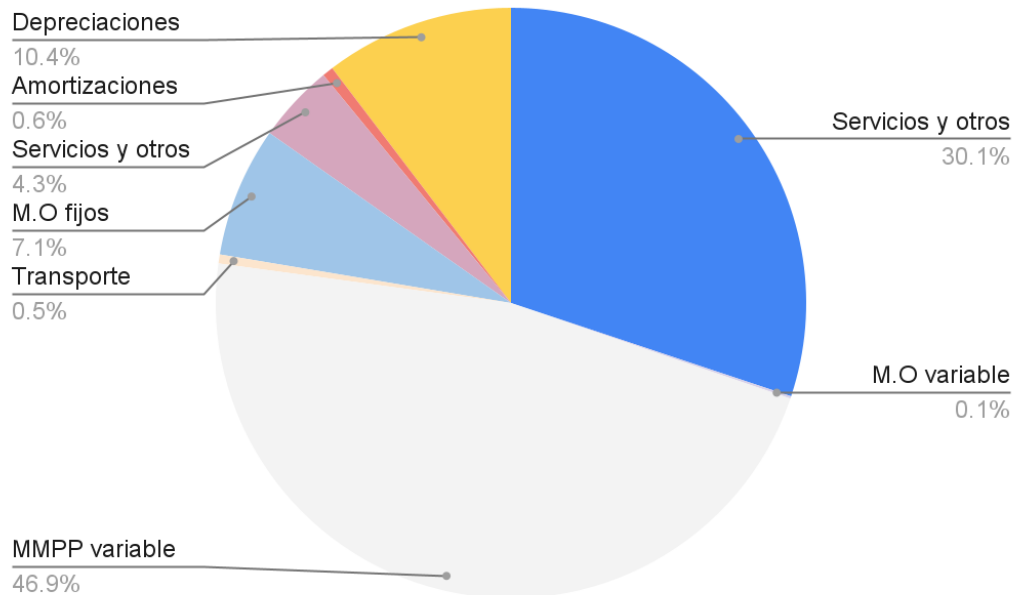
### 11.3.3.3. Costos totales

El costo total de la empresa se compone de la suma de los costos variables y los costos fijos calculados. El costo total de producción para el plan de producción bajo estudio asciende a 3.915.074. 64 USD por año.



*Figura 38. Distribución entre costos fijos y variables - Fuente: Elaboración propia*

En la figura 8-3, se representa la relación entre los costos fijos y variables, lo cual refuerza la premisa de que la empresa debe centrarse principalmente en la reducción de los costos de producción para incrementar los niveles de rentabilidad.



*Figura 39. Distribución de costos totales - Fuente: Elaboración propia*

La figura exhibe la distribución de los costos en distintos ítems, en ella se destacan los servicios y la materia prima variable como los más significativos. Esta visualización proporciona una perspectiva clara de la estructura de costos y subraya los aspectos clave que requieren atención para optimizar la eficiencia y rentabilidad de la empresa.

#### **11.4. PUNTO DE EQUILIBRIO**

El punto de equilibrio, también conocido como punto muerto, constituye una herramienta fundamental en la estrategia empresarial. Su utilidad radica en evaluar la solvencia y el potencial de rentabilidad de una empresa precisa.

Concretamente, este indicador determina el nivel de ventas necesario para cubrir la totalidad de los costos de la empresa. Es esencial para proyectar el volumen anual de ventas que evita las pérdidas y marca el inicio de la obtención de beneficios.

El punto de equilibrio en una empresa se define como el punto en el cual los ingresos por ventas igualan la suma de los costos fijos y variables. Al superar este punto, la empresa comienza a generar beneficios; en cambio, si las ventas caen por debajo de este umbral, se incurre en pérdidas.

La formulación matemática de este concepto parte de igualar los ingresos por ventas al total de los costos. Realizando los despejes pertinentes obtenemos la siguiente ecuación que permite calcular el punto de equilibrio:

$$Q_e = \frac{CF}{P_v - CV_v}$$



Dónde:

- $Q_e$  = cantidad de producto que determina el punto de equilibrio;
- CF = costos fijos totales;
- $P_v$  = precio de venta del producto;
- $CV_u$  = costo variable unitario.

Este cálculo es esencial para evaluar la salud financiera de la empresa y determinar el volumen de ventas necesario para evitar pérdidas y comenzar a obtener beneficios.

Cantidad producida (m3)	Cantidad producida (BTU)	Ingreso por ventas Biogás	Ingresos por ventas Biofertilizante	Ingresos Totales	Costo fijo total	Costo variable	Costo total	Resultado
0	0	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 3,915,074.64	USD 0.00	USD 3,915,074.64	<b>-USD 3,915,074.64</b>
12000	420.84	USD 1,557.11	USD 169,734.40	USD 171,291.51	USD 3,915,074.64	USD 50,866.30	USD 3,965,940.94	<b>-USD 3,794,649.43</b>
14000	490.98	USD 1,816.63	USD 198,023.47	USD 199,840.10	USD 3,915,074.64	USD 59,344.02	USD 3,974,418.66	<b>-USD 3,774,578.56</b>
16000	561.12	USD 2,076.14	USD 226,312.54	USD 228,388.68	USD 3,915,074.64	USD 67,821.74	USD 3,982,896.38	<b>-USD 3,754,507.70</b>
20000	701.4	USD 2,595.18	USD 282,890.67	USD 285,485.85	USD 3,915,074.64	USD 84,777.17	USD 3,999,851.81	<b>-USD 3,714,365.96</b>
25000	876.75	USD 3,243.98	USD 353,613.34	USD 356,857.32	USD 3,915,074.64	USD 105,971.46	USD 4,021,046.11	<b>-USD 3,664,188.79</b>
26000	911.82	USD 3,373.73	USD 367,757.88	USD 371,131.61	USD 3,915,074.64	USD 110,210.32	USD 4,025,284.96	<b>-USD 3,654,153.35</b>
27000	946.89	USD 3,503.49	USD 381,902.41	USD 385,405.90	USD 3,915,074.64	USD 114,449.18	USD 4,029,523.82	<b>-USD 3,644,117.92</b>
28000	981.96	USD 3,633.25	USD 396,046.94	USD 399,680.19	USD 3,915,074.64	USD 118,688.04	USD 4,033,762.68	<b>-USD 3,634,082.49</b>



28,800	1010.016	USD 3,737.0 6	USD 407,362.57	USD 411,099.6 3	USD 3,915,074 .64	USD 122,079.1 2	USD 4,037,153 .77	<b>-USD 3,626,054. 14</b>
29000	1017.03	USD 3,763.0 1	USD 410,191.48	USD 413,954.4 9	USD 3,915,074 .64	USD 122,926.9 0	USD 4,038,001 .54	<b>-USD 3,624,047. 05</b>
30000	1052.1	USD 3,892.7 7	USD 424,336.01	USD 428,228.7 8	USD 3,915,074 .64	USD 127,165.7 6	USD 4,042,240 .40	<b>-USD 3,614,011. 62</b>
31000	1087.17	USD 4,022.5 3	USD 438,480.54	USD 442,503.0 7	USD 3,915,074 .64	USD 131,404.6 1	USD 4,046,479 .26	<b>-USD 3,603,976. 18</b>
<b>390125.0 890</b>	<b>13681.68 687</b>	<b>USD 50,622. 24</b>	<b>USD 5,518,137.45</b>	<b>USD 5,568,759 .70</b>	<b>USD 3,915,074 .64</b>	<b>USD 1,653,685 .05</b>	<b>USD 5,568,759 .70</b>	<b>USD 0.00</b>
395000	13852.65	USD 51,254. 81	USD 5,587,090.80	USD 5,638,345 .60	USD 3,915,074 .64	USD 1,674,349 .11	USD 5,589,423 .75	<b>USD 48,921.85</b>
397000	13922.79	USD 51,514. 32	USD 5,615,379.86	USD 5,666,894 .19	USD 3,915,074 .64	USD 1,682,826 .83	USD 5,597,901 .47	<b>USD 68,992.72</b>
400000	14028	USD 51,903. 60	USD 5,657,813.47	USD 5,709,717 .07	USD 3,915,074 .64	USD 1,695,543 .40	USD 5,610,618 .05	<b>USD 99,099.02</b>
410000	14378.7	USD 53,201. 19	USD 5,799,258.80	USD 5,852,459 .99	USD 3,915,074 .64	USD 1,737,931 .99	USD 5,653,006 .63	<b>USD 199,453.36</b>
420000	14729.4	USD 54,498. 78	USD 5,940,704.14	USD 5,995,202 .92	USD 3,915,074 .64	USD 1,780,320 .57	USD 5,695,395 .22	<b>USD 299,807.70</b>
425000	14904.75	USD 55,147. 58	USD 6,011,426.81	USD 6,066,574 .38	USD 3,915,074 .64	USD 1,801,514 .87	USD 5,716,589 .51	<b>USD 349,984.87</b>
430000	15080.1	USD 55,796. 37	USD 6,082,149.47	USD 6,137,945 .84	USD 3,915,074 .64	USD 1,822,709 .16	USD 5,737,783 .80	<b>USD 400,162.04</b>
439769.6	15422.71 987	USD 57,064. 06	USD 6,220,335.91	USD 6,277,399 .97	USD 3,915,074 .64	USD 1,864,121 .11	USD 5,779,195 .75	<b>USD 498,204.22</b>

Tabla 49. Punto de Equilibrio. Fuente: Elaboración propia



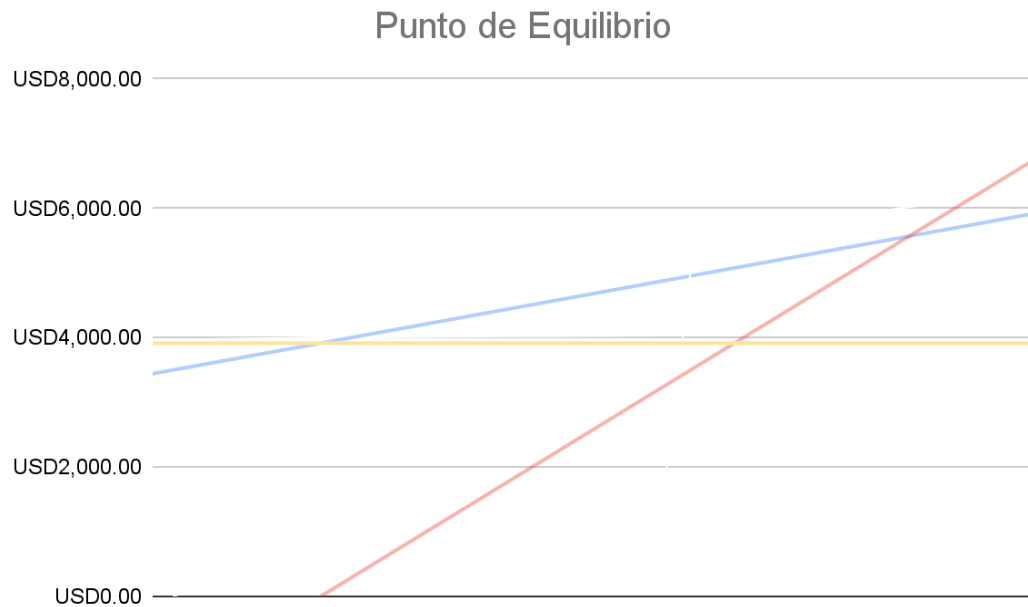


Figura 40. Punto de equilibrio - Fuente: Elaboración propia

El punto de equilibrio se identifica como el cruce de las líneas de ingresos totales y costos totales, donde la ganancia neta es igual a cero. En este caso específico, el punto de equilibrio se alcanza en un volumen de producción de 390125,0890 m<sup>3</sup> de biogás. Resultado que también se verifica visualmente en la figura 8-5, donde las curvas de ingresos totales y costos totales se intersectan.

#### 11.4.1. Costo variable unitario

El costo variable unitario se define como la relación entre el total de costos variables en los que incurre la organización para implementar un plan de producción específico y la cantidad de unidades incluidas en dicho plan de producción.

$$CVu = \frac{CVT}{Q} = \frac{USD\ 1864121,11}{439769,6\ m^3} = 4,239\ \frac{USD}{m^3}$$

### 11.5. BENEFICIOS DEL PROYECTO

#### 11.5.1. Precio de venta

Se estableció un valor de 3,7 USD/BTU como precio de venta del biogás tomando como referencia los valores observados para el gas natural en Argentina. Además, se consideró la venta de biofertilizante como subproducto, el cual se valora en 2,29 USD/kg.

#### 11.5.2. Ingresos totales

Los ingresos totales anuales se obtendrán multiplicando la cantidad de biogás vendida por su precio de venta.



INGRESOS					
Año	1	2	3	4	5
Producción Biogás(BTU /año)	15422	15422	15422	15422	15422
Precio (USD/BTU)	USD 3.7	USD 3.7	USD 3.7	USD 3.7	USD 3.7
Producción Biofertilizan te (kg/año)	2,716,303.89	2,716,303.89	2,716,303.89	2,716,303.89	2,716,303.89
Precio (USD/kg)	USD 2.29	USD 2.29	USD 2.29	USD 2.29	USD 2.29
Ingresos	USD 6,277,397.3	USD 6,277,397.3	USD 6,277,397.3	USD 6,277,397.3	USD 6,277,397.3

*Tabla 50.Ingresos. Fuente: Elaboración propia*

INGRESOS					
Año	6	7	8	9	10
Producción (m3)	15422	15422	15422	15422	15422
Precio (USD/m3)	USD 3.7	USD 3.7	USD 3.7	USD 3.7	USD 3.7
Producción Biofertilizan te (kg)	2,716,303.89	2,716,303.89	2,716,303.89	2,716,303.89	2,716,303.89
Precio (USD/kg)	USD 2.29	USD 2.29	USD 2.29	USD 2.29	USD 2.29
Ingresos	USD 6,277,397.3	USD 6,277,397.3	USD 6,277,397.3	USD 6,277,397.3	USD 6,277,397.3

*Tabla 51.Ingresos. Fuente: Elaboración propia*



### 11.5.3. Contribución marginal

La contribución marginal se define como la diferencia entre el precio de venta y el costo variable unitario. Este indicador refleja cómo los precios de los productos o servicios contribuyen a cubrir los costos fijos y generar utilidades, objetivos fundamentales para cualquier empresa.

El concepto de contribución marginal desempeña un papel crucial en las decisiones estratégicas, como la retención, retirada o incorporación de nuevos productos. Esto se debe a la influencia que estos productos pueden tener en la absorción de los costos fijos y en la capacidad general de generar beneficios.

La correlación entre la contribución marginal de cada artículo y sus volúmenes de venta es crucial. Esto se debe a que, en ciertos casos, productos con una rotación elevada y una contribución marginal reducida pueden generar una ganancia total superior a la de otros artículos con una contribución marginal más elevada pero una venta y ganancia totales inferiores. Este análisis es esencial para optimizar la rentabilidad y tomar decisiones sobre la gestión de la cartera de productos.

Contribución Marginal Biogás	
Ingreso total anual (USD/año)	USD 6,277,397.3
Costo variable anual (USD/año)	USD 1,179,087.50
Contribución marginal (USD/año)	USD 5,098,309.8
Unidades producidas (m <sup>3</sup> /año)	439769.6
Contribución marginal (USD/m <sup>3</sup> )	USD 11.6
Costo fijo anual unitario (USD/m <sup>3</sup> )	USD 1.99

Utilidad (USD/m <sup>3</sup> )	USD 9.6
-----------------------------------	---------

Tabla 52. Contribución Marginal. Fuente: Elaboración propia

#### 11.5.4. Utilidad anual

La utilidad anual de la empresa se determina como la disparidad entre la contribución marginal y los costos fijos anuales. Es importante señalar que no se puede afirmar que se ha obtenido ganancia sin deducir previamente el porcentaje destinado al pago de impuestos y otros costos asociados. Este análisis más detallado será abordado en fases posteriores, particularmente en el contexto del flujo de caja de la empresa.

Utilidad anual	
Contribución marginal	USD 5,098,309.8
Costos fijos anuales	USD 875,703.53
Utilidad anual	USD 4,222,606.3

Tabla 53. Utilidad Anual. Fuente: Elaboración propia

#### 11.5.5. Flujo de caja

El flujo de caja, también conocido como flujo de efectivo, se define como la diferencia entre los ingresos y los egresos de una empresa o individuo, el cual es reinvertido en su operación o proceso productivo. Este fenómeno refleja la disponibilidad neta de efectivo para sufragar los costos y gastos en los que incurre la entidad, otorgándole un margen de seguridad para operar a lo largo del horizonte de proyecto, siempre y cuando este flujo sea positivo. En este contexto, se presenta el análisis del flujo de caja para los próximos 10 años, abarcando el horizonte de evaluación del proyecto.

FLUJO DE CAJA						
Horizonte temporal	0	1	2	3	4	5
Ingresos por ventas (+)	USD 0.00	USD 6,277,397.31	USD 6,277,397.31	USD 6,277,397.31	USD 6,277,397.31	USD 6,277,397.31
Ingresos brutos (- 4%)	USD 0.00	USD 251,095.89	USD 251,095.89	USD 251,095.89	USD 251,095.89	USD 251,095.89



Costos fijos de producción (-)	USD 0.00	USD 167,400.00	USD 167,400.00	USD 167,400.00	USD 167,400.00	USD 167,400.00
Costos Variables de producción (-)	USD 0.00	USD 3,039,371.11	USD 3,039,371.11	USD 3,039,371.11	USD 3,039,371.11	USD 3,039,371.11
Costos de administración (-)	USD 0.00	USD 279,130.45	USD 279,130.45	USD 279,130.45	USD 279,130.45	USD 279,130.45
Costos fijos de comercialización (-)	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00
Costos variables de comercialización (-)	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00
Amortizaciones y depreciaciones (-)	USD 0.00	USD 53,265.65	USD 53,265.65	USD 41,429.20	USD 40,173.22	USD 40,173.22
<b>Utilidad antes de IG</b>	<b>USD 0.00</b>	<b>USD 2,487,134.20</b>	<b>USD 2,487,134.20</b>	<b>USD 2,498,970.65</b>	<b>USD 2,500,226.63</b>	<b>USD 2,500,226.63</b>
Impuestos a las ganancias (-35%)	USD 0.00	USD 870,496.97	USD 870,496.97	USD 874,639.73	USD 875,079.32	USD 875,079.32
<b>Utilidad neta</b>	<b>USD 0.00</b>	<b>USD 1,616,637.23</b>	<b>USD 1,616,637.23</b>	<b>USD 1,624,330.92</b>	<b>USD 1,625,147.31</b>	<b>USD 1,625,147.31</b>



					<b>1</b>	<b>1</b>
Amortizaciones y depreciaciones (+)	USD 0.00	USD 53,265.65	USD 53,265.65	USD 41,429.20	USD 40,173.22	USD 40,173.22
Inversión inicial (-)	USD 2,588,998.34					
Inversión de capital de trabajo (-)(+)	USD 902,279.17					
Valor residual						
<b>Flujo de caja</b>	<b>-USD 3,491,277.52</b>	<b>USD 1,669,902.88</b>	<b>USD 1,669,902.88</b>	<b>USD 1,665,760.13</b>	<b>USD 1,665,320.53</b>	<b>USD 1,665,320.53</b>

Tabla 54. Flujo de Caja. Fuente: Elaboración propia

<b>FLUJO DE CAJA</b>				
<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
USD 6,277,397.31	USD 6,277,397.31	USD 6,277,397.31	USD 6,277,397.31	USD 6,277,397.31
USD 251,095.89	USD 251,095.89	USD 251,095.89	USD 251,095.89	USD 251,095.89
USD 167,400.00	USD 167,400.00	USD 167,400.00	USD 167,400.00	USD 167,400.00
USD 3,039,371.11	USD 3,039,371.11	USD 3,039,371.11	USD 3,039,371.11	USD 3,039,371.11
USD 279,130.45	USD 279,130.45	USD 279,130.45	USD 279,130.45	USD 279,130.45
USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00
USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 0.00
USD 40,173.22	USD 40,173.22	USD 40,173.22	USD 40,173.22	USD 40,173.22
<b>USD 2,500,226.63</b>	<b>USD 2,500,226.63</b>	<b>USD 2,500,226.63</b>	<b>USD 2,500,226.63</b>	<b>USD 2,500,226.63</b>



USD 875,079.32	USD 875,079.32	USD 875,079.32	USD 875,079.32	USD 875,079.32
<b>USD</b>	<b>USD</b>	<b>USD</b>	<b>USD</b>	<b>USD</b>
<b>1,625,147.31</b>	<b>1,625,147.31</b>	<b>1,625,147.31</b>	<b>1,625,147.31</b>	<b>1,625,147.31</b>
USD 40,173.22	USD 40,173.22	USD 40,173.22	USD 40,173.22	USD 40,173.22
				USD 902,279.17
				USD 1,140,148.36
<b>USD</b>	<b>USD</b>	<b>USD</b>	<b>USD</b>	<b>USD</b>
<b>1,665,320.53</b>	<b>1,665,320.53</b>	<b>1,665,320.53</b>	<b>1,665,320.53</b>	<b>3,707,748.07</b>

*Tabla 55. Flujo de Caja. Fuente: Elaboración propia*

### 11.5.5.1. Valor actual neto

El Valor Actual Neto (VAN), emerge como un indicador financiero fundamental para evaluar la viabilidad de un proyecto. Su aplicación implica la medición de los flujos de ingresos y egresos futuros, seguida de la deducción de la inversión inicial. Si, tras este análisis, se revela un remanente positivo, el proyecto se considera viable.

Este indicador resulta especialmente útil para discernir entre opciones dentro de un mismo proyecto, considerando diversas proyecciones de flujos. Asimismo, al momento de ceder un proyecto o negocio, permite determinar si la oferta de precio supera o no las ganancias que se obtendrían al no venderlo.

La fórmula para calcular el VAN es la siguiente:

$$VAN = \text{Beneficio neto actualizado (BNA)} - \text{Inversión inicial}$$

El BNA representa el valor actual de flujo de caja o beneficio neto proyectado, actualizado por una tasa de descuento ( $r$ ), que se identifica como la tasa de rendimiento mínima esperada, previamente calculada en la sección de Evaluación Económica de este capítulo.

En terminos practicos:

- $VAN < 0$ : El proyecto no es rentable. Cuando la inversión supera el BNA, no se alcanza la tasa de rendimiento esperada ( $r$ );
- $VAN = 0$ : El proyecto es rentable, ya que la ganancia asociada a la tasa de rendimiento ya está incorporada. Igualdad entre el BNA y la inversión implica cumplimiento con la tasa de rendimiento;
- $VAN > 0$ : El proyecto es rentable. Si el BNA supera la inversión, no solo se cumple con la tasa  $r$  sino que se genera un beneficio adicional.



En el contexto de este proyecto, el VAN calculado es de USD 4.243.224,68 indicando que el proceso propuesto presenta viabilidad económica.

#### **11.5.5.2. Tasa interna de retorno**

La Tasa Interna de Retorno (TIR), constituye un indicador crítico en la evaluación de la rentabilidad de una inversión. Es la tasa de interés que refleja el porcentaje de beneficio o pérdida que generará una inversión para las cantidades no retiradas del proyecto.

Este parámetro se emplea en la evaluación de proyectos de inversión y guarda estrecha relación con el Valor Actual Neto (VAN). La TIR se define como la tasa de descuento que iguala el VAN a cero en un proyecto de inversión específico.

La TIR proporciona una medida relativa de la rentabilidad relativa expresada en porcentaje. No obstante, su cálculo puede ser desafiante debido al número de periodos, que determina el orden de la ecuación a resolver. Para abordar este problema, se pueden aplicar diversas aproximaciones, utilizar calculadoras financieras o programas informáticos, siendo este último el enfoque adoptado en este caso.

Este indicador se interpreta como un parámetro de rentabilidad relativa, donde una TIR mayor indica una mayor rentabilidad. Además, se utiliza como criterio para la toma de decisiones respecto a la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. En este sentido, si la TIR supera la tasa de descuento, se acepta la inversión; de lo contrario, se rechaza.

En la evaluación de este proyecto, la TIR calculada es del 47%, superior a la tasa de descuento del proyecto, lo que confirma la factibilidad económica del mismo.

### **11.6. CONCLUSIÓN**

Tras completar el análisis económico del proyecto propuesto, se concluyó que, en consonancia con el entorno económico-financiero proyectado para Argentina y el mundo, y manteniéndose dentro del horizonte temporal establecido de 10 años, el proyecto resultaría rentable. Esta afirmación se sustenta en una perspectiva contable, dado que, según el escenario planteado, los indicadores obtenidos del proyecto son favorables.

Durante el período de evaluación de 10 años, el Valor Actual Neto (VAN) se cifra en U\$D 4.243.224,68, y la Tasa Interna de Retorno (TIR) asciende al 47%.





## **CAPÍTULO XII: ANALISIS DE RIESGO Y SENSIBILIDAD**

### **INTRODUCCIÓN**

Este capítulo tiene como objetivo identificar y analizar los riesgos asociados a una planta de biogás. Se procede a clasificar la importancia relativa de cada riesgo mediante una estimación de su probabilidad de ocurrencia, proporcionando una perspectiva sobre las distintas magnitudes de su impacto en el proyecto.

Este análisis desempeña un papel crucial al momento de determinar las variables críticas que deben considerarse en simulaciones potenciales del flujo de caja del proyecto y en la evaluación de la rentabilidad obtenida. Constituye una herramienta esencial para anticipar y gestionar posibles escenarios adversos que podrían afectar la viabilidad y el rendimiento financiero de la planta de biogás.

### **12.1. RIESGOS IDENTIFICADOS**

Se identifican y examinan las variables claves que ejercen influencia y poseen significancia en el contexto de estas industrias. Dado que la delimitación de todos los riesgos requiere un análisis que supera los confines de un estudio de prefactibilidad, se procede a un análisis más exhaustivo de dichas variables.

#### **12.1.1. Aspectos tecnológicos**

##### **12.1.1.1. Baja productividad**

El plan de producción de la planta se diseñó considerando la demanda de biogás y la capacidad actual de los proveedores de materia prima. A pesar de esto, existe la posibilidad de variaciones en sus operaciones que podrían afectar directamente la producción de la planta.

El estiércol, siendo la materia prima fundamental, está vinculado a la producción caprina local, la cual podría experimentar variaciones debido a condiciones climáticas adversas o ataques de depredadores.

Otro factor a tener en cuenta sería una disminución en la demanda del mercado, aunque este escenario es poco probable dada la tendencia creciente en la demanda de gas natural en los últimos años. Este producto es esencial tanto en entornos domésticos como industriales.

En caso de que ocurra cualquiera de estas situaciones, la consecuencia directa sería una reducción en la cantidad de biogás producido en la planta.

##### **12.1.1.2. Falta de servicios**

Los servicios esenciales para la operación de la planta incluyen la disponibilidad de gas, agua y energía eléctrica, los cuales son fundamentales tanto para la producción como para la



puesta en marcha de la planta. En este contexto, beneficia la ubicación ya que estará en un parque industrial, lo que asegura una estabilidad en la disponibilidad de estos servicios básicos.

Dada la importancia de estos servicios y la necesidad de prever posibles riesgos, se ha desarrollado un plan de contingencia que contempla alternativas para asegurar la obtención de estos servicios. Entre estas alternativas se considera la implementación de generadores de energía eléctrica en caso de interrupciones en el suministro eléctrico convencional.

### **12.1.1.3. Falla de maquinaria**

Para lograr eficacia y eficiencia, asegurando una alta calidad del producto, resulta crucial que todos los equipos involucrados en el proceso productivo operen de manera óptima. Es por esta razón que se requiere la implementación de un enfoque de mantenimiento que combine estrategias predictivas y preventivas, con el objetivo de minimizar las intervenciones correctivas.

Dentro del plan de contingencia, se han establecido las siguientes medidas:

- Establecer programas de mantenimiento predictivo y preventivo con el propósito de prevenir roturas o fallos en los equipos, que podrían resultar en una detención prolongada de la producción. Esto garantiza la conformidad con los estándares de calidad propuestos y los tiempos predefinidos.
- Impartir capacitaciones al personal para llevar a cabo un mantenimiento correctivo eficiente, reduciendo así los tiempos de inactividad y mejorando la productividad general del sistema.

### **12.1.2. Aspectos económicos**

#### **12.1.2.1. Aumento del precio de la materia prima**

La variabilidad en los costos de las materias primas puede tener un impacto significativo en la estructura de costos de producción, lo cual, ante un aumento sustancial, podría generar modificaciones que afecten adversamente el flujo de caja del proyecto.

Con el propósito de mitigar estos riesgos, se ha desarrollado un plan de contingencia que implica la negociación con los distintos proveedores de estiércol para acordar precios beneficiosos para ambas partes. Considerando que los productores de fertilizantes son competidores en la adquisición de estiércol, es esencial asegurar acuerdos estratégicos que respalden la estabilidad de los costos de esta materia prima.

Adicionalmente, se está trabajando en la identificación y establecimiento de relaciones con múltiples proveedores de la materia prima. Esta diversificación en las fuentes de suministro no solo reduce la dependencia de un solo proveedor, sino que también brinda flexibilidad ante



posibles fluctuaciones en los costos, fortaleciendo así la resiliencia del proyecto ante variaciones en el mercado.

### **12.1.2.2. Baja en el precio del producto**

Una disminución en el precio de venta tanto del biogás como del biofertilizante representa un factor crítico que puede impactar significativamente en la factibilidad económica del proyecto, siendo, por lo tanto, de vital importancia considerarlo en el análisis de riesgos.

La posibilidad de una disminución en el precio del biogás está intrínsecamente vinculada a las dinámicas propias de la industria petroquímica. La creciente demanda de gas natural, combinada con el tiempo requerido para establecer nuevas plantas de producción o expandir las existentes, genera una persistente insatisfacción en la demanda, manteniendo los precios en alza.

En caso de que se materialice una reducción en el precio de venta, se implementará un plan de contingencia que incluye las siguientes medidas:

- Revisión exhaustiva de los costos de materias primas para identificar posibles deficiencias;
- Reestructuración del precio de venta con base en un análisis detallado de los costos y condiciones del mercado;
- Determinación del punto mínimo en el que el proyecto sigue siendo rentable, garantizando una toma de decisiones informada y estratégica.

### **12.1.3. Siniestros e imprevistos**

#### **12.1.3.1. Incendios y explosiones**

El biogás al tener como componente principal al metano, presenta riesgos potenciales de explosión, dado que los niveles de explosividad del metano varían entre el 5% y el 15% en volumen con el aire. Considerando la composición típica del biogás, que oscila entre el 60% y el 70% de metano, los niveles de explosividad del biogás se sitúan entre el 7% y el 24% en volumen.

La generación de chispas, producto de impactos metálicos, puede elevar la temperatura del gas hasta los 650-750°C, lo cual puede desencadenar una explosión. Asimismo, factores como la densidad y la composición son cruciales para evaluar la seguridad. Dado que la densidad del aire es de 1293 g/L y considerando un contenido del 35% de dióxido de carbono, la densidad del biogás alcanza los 1,09 g/L, haciendo que sea más ligero que el aire y pueda dispersarse fácilmente. Sin embargo, si la proporción de dióxido de carbono supera el 46%, el biogás se vuelve más denso que el aire, elevando su nivel de peligrosidad al punto de volverse asfixiante ya que la acumulación puede reducir el oxígeno en el aire a niveles críticos, siendo sofocante por debajo del 13%.



Debido a los riesgos asociados con el biogás, similares a los de cualquier gas combustible, es imperativo tomar precauciones específicas. Al manipular tanques con biogás, estos deben estar exentos de oxígeno, al igual que las líneas de transporte de gas. Se deben llevar a cabo pruebas de fuga regularmente y precautelar que no existan factores que generen chispas en las áreas de compresión y de carga.

Los espacios destinados al manejo de biogás deben ser amplios y contar con una ventilación adecuada para prevenir acumulaciones peligrosas. Además, es esencial que los extintores utilizados sean de dióxido de carbono y polvo ABC, considerando las características particulares del biogás y los posibles tipos de fuego que podrían surgir. Estas medidas son fundamentales para garantizar un manejo seguro y mitigar los riesgos asociados con la manipulación de biogás.

Considerando estos factores, se puede inferir que la probabilidad de un incendio es alta. La ocurrencia de un incidente de este tipo tendría un impacto sumamente perjudicial en la planta, ocasionando daños materiales y poniendo en riesgo la seguridad del personal, entre otros aspectos.

Ante este riesgo identificado, se ha desarrollado un plan de contingencia integral que incluye las siguientes medidas:

- *Capacitación continua del personal:* se llevarán a cabo sesiones regulares de capacitación para que el personal esté debidamente preparado y sepa cómo actuar en caso de un siniestro;
- *Instalaciones seguras para inflamables:* se garantizará la existencia de almacenes o depósitos con instalaciones seguras y adecuadas para el manejo de sustancias inflamables;
- *Mantenimiento del sistema de alarmas y lucha contra incendios:* se realizarán inspecciones y mantenimientos periódicos para asegurar el óptimo funcionamiento de los sistemas de alarmas y extinción de incendios;
- *Zonas de evacuación designadas:* se establece zonas claramente señalizadas en la planta para la evacuación eficiente del personal en caso de emergencia;
- *Capacitación en Normas de Higiene y Seguridad:* el personal será instruido en conductas operativas que estén en concordancia con los estándares establecidos por las normas de seguridad e higiene;
- *Señalización preventiva:* se colocará cartelería específica en las zonas de peligro para prevenir cualquier confusión y reducir la posibilidad de negligencias por parte del personal.

Estas medidas están diseñadas para minimizar los riesgos asociados con posibles incendios y garantizar la seguridad integral en la planta.

### 12.1.3.2. Accidentes de trabajo

Es importante adoptar precauciones especiales y seguir procedimientos rigurosos para prevenir cualquier eventualidad relacionada con accidentes laborales. Esta medida es esencial para mitigar los riesgos inherentes, considerando los múltiples aspectos constructivos y asegurando la elección apropiada de tecnologías, entre otros criterios fundamentales.

A pesar de la implementación de estas medidas, la posibilidad de accidentes laborales no puede ser descartada por completo, y su impacto sería significativo dado que afectaría al personal, un componente crucial para el funcionamiento óptimo del proceso.

El plan de contingencia diseñado para abordar esta problemática contempla las siguientes acciones:

- *Adopción de normas de Higiene y Seguridad:* se implementarán todas las normativas pertinentes de higiene y seguridad adaptadas a las características específicas de este tipo de industrias;
- *Capacitación periódica:* el personal será capacitado regularmente acerca de estas normas, asegurando la comprensión y adherencia a los protocolos de seguridad;
- *Cobertura de seguros específicos:* se adquirieron seguros que proporcionen una cobertura integral para accidentes laborales, garantizando la asistencia necesaria en caso de que ocurran eventualidades;
- *Provisión de elementos de seguridad personal:* se proveerán y promoverán el uso adecuado de elementos de seguridad personal, además de señalar claramente las áreas donde su uso es indispensable.

Estas medidas son esenciales para salvaguardar la integridad del personal y, por ende, mantener la operatividad eficiente del proceso industrial.

## 12.2. RESUMEN

En resumen, se proporciona una tabla detallada que expone la importancia, probabilidad y magnitud de cada riesgo analizado en este capítulo.

Aspectos	Riesgo	Importancia	Probabilidad	Magnitud	Mitigación
Tecnológicos	Falta de MMPP	Alta	Baja	Alta	Acuerdo con los puesteros
	Falla de maquinaria	Alta	Baja	Media	Plan de mantenimiento

	Falta de servicios	Alta	Baja	Alta	Fuentes alternativas
Económicos	Aumento de precios de MMPP	Media	Media	Media	Acuerdos a largo plazo
	Baja de ventas	Alta	Baja	Alta	Modificación del precio de venta
	Disminución de precio de venta	Alta	Baja	Media	Reestructuración de costos
Siniestros e imprevistos	Incendios y explosiones	Alta	Media	Alta	Capacitación - Sistemas extintores
	Accidentes de trabajo	Alta	Baja	Media	Capacitación - EPP

*Tabla 56. Resumen de riesgos. Fuente: Elaboración propia*

En este análisis, se evaluaron de manera cualitativa los diversos riesgos que podrían surgir en la operación de una planta de producción de biogás. Para cada uno de estos riesgos identificados, se ha desarrollado un plan de contingencia correspondiente.

Dentro de este contexto, los aspectos económicos desempeñan un papel fundamental, especialmente considerando que se está llevando a cabo un análisis de prefactibilidad. En algunos casos, las variaciones en estos factores pueden determinar la viabilidad del proyecto. Por lo tanto, en la siguiente sección, “Análisis de Sensibilidad”, se explorarán más a fondo los aspectos económicos mediante un análisis cuantitativo de algunos de estos factores.

### **12.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

Este apartado tiene como objetivo analizar diversos escenarios potenciales y evaluar la respuesta del proyecto ante ellos.

En el Capítulo XI, denominado “Evaluación Económica”, se establece una situación estática y consistente. Al sensibilizar ciertas variables, podemos observar cómo responde el proyecto a las variaciones y determinar en qué condiciones seguirá siendo rentable.

Para este análisis, empleamos el modelo Unidimensional de Sensibilización del Valor Actual Neto (VAN), el cual modifica un único parámetro a la vez. El principio fundamental de

este modelo considera que cada elemento del flujo de caja representa la ocurrencia más probable. Posteriormente, la sensibilización de una variable se realiza siempre en relación con la evaluación preliminar.

En este caso específico, planteamos un cambio de escenario de naturaleza económica. Sin embargo, es posible sensibilizar variables como la ubicación, el tamaño, entre otras. No obstante, este tipo de análisis no se lleva a cabo en este estudio de prefactibilidad debido a su complejidad de implementación y porque los resultados que podrían obtenerse exceden los objetivos de este proyecto.

### **12.3.1. Parámetro a sensibilizar**

La selección del parámetro a sensibilizar es crucial para el éxito de este análisis. Se buscan aquellos que tengan un impacto significativo en la viabilidad del proyecto y que puedan variar dentro del rango esperado.

Tras examinar la estructura de costos del proyecto, se determina que el factor crítico es el precio de venta tanto del biofertilizante como del biogás.

### **12.3.2. Sensibilización frente al precio de venta del biogás y el biofertilizante**

En relación con la evaluación de la sensibilidad del proyecto frente a las fluctuaciones en los precios de venta de los productos finales, se han diseñado varios escenarios considerando precios inferiores a los estimados en la evaluación económica inicial. El objetivo es determinar hasta qué punto podrían disminuir los precios de venta para que el proyecto siga siendo rentable. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 12-2 para el biogás y en la Tabla 12-3 para el biofertilizante.

<b>Precio de venta Biogás</b>			
Precio de venta (USD/BTU)	Variación (%)	VAN (U\$S)	TIR (%)
1.747	0	USD 4,243,224.68	47%
1.31	25	USD 4,203,920.80	47%
0.874	50	USD 4,164,616.91	47%

0.437	75	USD 4,125,313.03	46%
0.1747	90	USD 4,101,730.70	46%

Tabla 57. Sensibilidad del proyecto al precio de venta del Biogás. Fuente: Elaboración propia

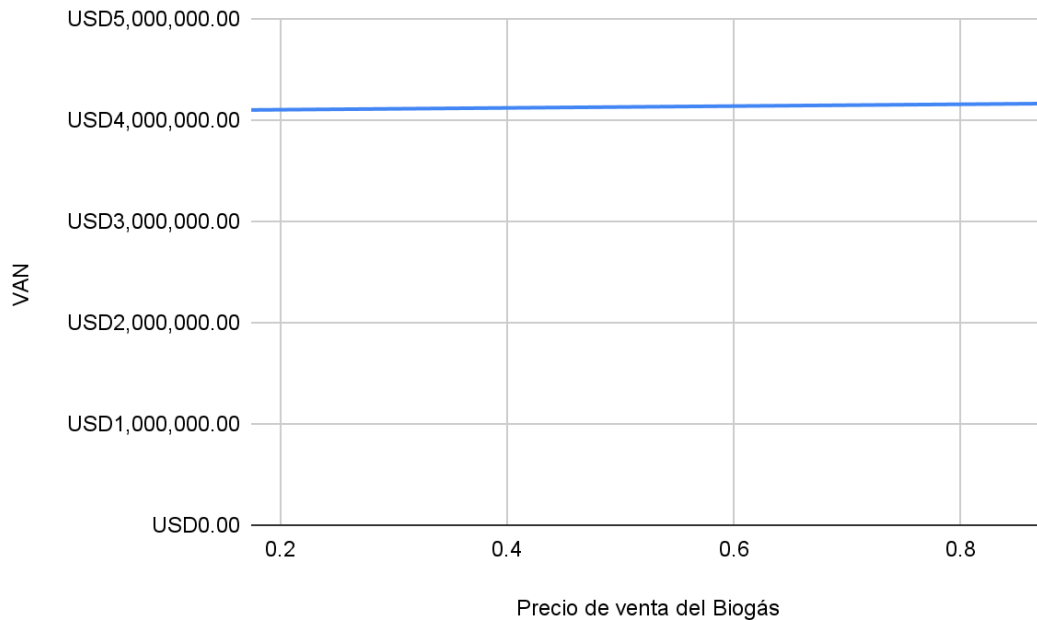


Figura 41. Variación del VAN con el precio de venta del biogás. Fuente: Elaboración propia

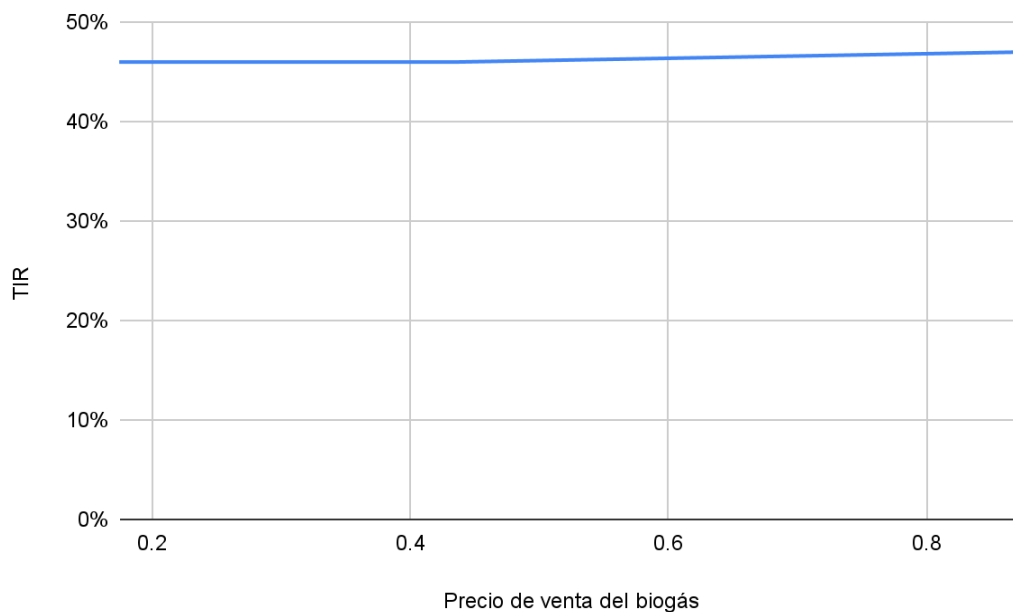


Figura 42. Variación de la TIR con el precio de venta del biogás. Fuente: Elaboración propia



Precio de venta Biofertilizante			
Precio de venta (USD/kg)	Variación (%)	VAN (U\$S)	TIR (%)
2.29	0%	USD 4,243,224.68	47%
1.72	25%	-USD 22,631.80	18%
1.145	50%	-USD 4,325,908.07	-16%
0.572	75%	-USD 8,614,216.42	-61%
0.229	90%	-USD 11,181,214.26	-90%

Tabla 58. Sensibilidad del proyecto al precio de venta del Biofertilizante. Fuente: Elaboración propia

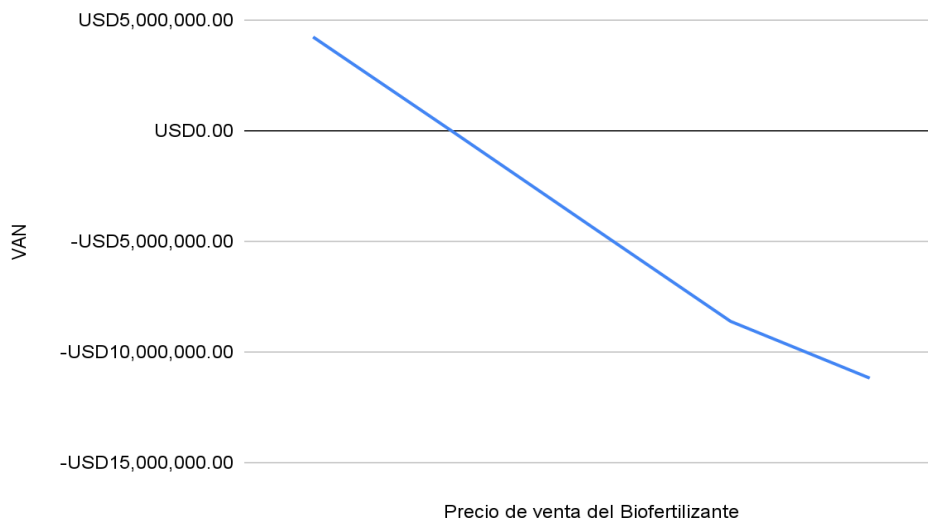
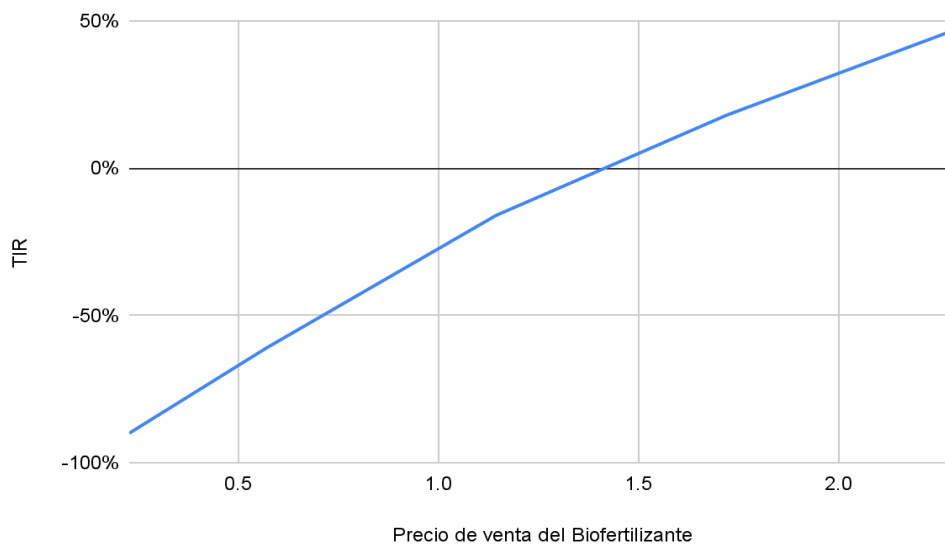


Figura 43. Variación del VAN con el precio de venta del biofertilizante. Fuente: Elaboración propia



*Figura 44. Variación de la TIR con el precio de venta del biofertilizante. Fuente: Elaboración propia*

Basándonos en los datos presentados, podemos concluir que el proyecto exhibe una mayor sensibilidad ante cambios en el precio de venta del biofertilizante. Esto se debe a que la cantidad producida de este es considerablemente mayor en comparación con la del biogás, y además, el precio de venta del biofertilizante es más elevado.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1]<https://www.indec.gob.ar/indec/web/Institucional-GacetillaCompleta-284>
- [2][https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf)
- [3]<https://www.argentina.gob.ar/noticias/biogas-la-argentina-avanza-para-lograr-la-neutralidad-de-carbono>
- [4][https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/archivos/000001\\_Relevamiento%20de%20Produccion%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biogas%20en%20Argentina/211200\\_Relevamiento%20de%20Produccion%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biogas%20en%20Argentina.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/archivos/000001_Relevamiento%20de%20Produccion%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biogas%20en%20Argentina/211200_Relevamiento%20de%20Produccion%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biogas%20en%20Argentina.pdf)
- [5]<https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/>
- [6]<https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-677036046-bidones-25-litros-envases- JM>
- [7]<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27640-352587/texto>
- [8]<https://www.aqualimpia.com/equipos-biodigestores/remoci%C3%B3n-part%C3%ADculas/>
- [9]<https://www.weather-atlas.com/en/argentina/san-rafael-climate>
- [10]<https://www.argentina.gob.ar/produccion/registrars-una-pyme/que-es-una-pyme>
- [11][https://www.ecogas.com.ar/appweb/leo/pub/notas/3200/ECOGAS\\_-\\_TARIFAS\\_CUYANA\\_2023\\_LIVIANO.pdf](https://www.ecogas.com.ar/appweb/leo/pub/notas/3200/ECOGAS_-_TARIFAS_CUYANA_2023_LIVIANO.pdf)
- [12][https://www.ecogas.com.ar/appweb/leo/inicio.php?c=s&sitio=cuyo\\_cuadros\\_tarifarios](https://www.ecogas.com.ar/appweb/leo/inicio.php?c=s&sitio=cuyo_cuadros_tarifarios)
- [13]<https://www.enargas.gob.ar/secciones/audiencias-publicas/104/archivos/presentaciones/presentacion-ecogas-ap-104.pdf>
- [14]<https://www.ipa.org.ar/3d-flip-book/anuario-2023/>
- [15]<https://www.tallereslosandes.com.ar/productos-calderas-de-agua-a-gas-CGRH.php>
- [16] Anuario IPA del año 2022
- [17] Manual de Biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus subproductos
- [18] Informe técnico. Relevamiento de producción de Digeridos de Plantas de Biogás en Argentina
- [19] Uso de biodigestores en sistemas caprinos de la Provincia de Córdoba – Universidad Nacional de Río Cuarto
- [20] Normas ISO
- [21] Normas IRAM
- [22] Ley 19.857 decreto 351: Ley de Higiene y Seguridad Laboral
- [23] Constitución Nacional Argentina
- [24] Preparación y Evaluación de Proyectos – Nassig Sapag Chain, Reinaldo Sapag Chain