

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA

ESCUELA DE TECNOLOGÍA

GENERACIÓN Y CONSUMO INTERNO DE BIOGÁS EN UNA EMPRESA CON SERVICIO DE COCINA Y COMEDOR

AUTOR: Castellaro, Martín Alejandro (Leg. N° 102191)

TUTOR: Dr. Faranda, Francisco Oscar

**TESIS PRESENTADA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN DIRECCIÓN
ESTRATÉGICA Y TECNOLÓGICA (Argentina) Y MASTER EXECUTIVE EN DIRECCIÓN ESTRATÉGICA
Y TECNOLÓGICA (España).**

BUENOS AIRES
PRIMER CUATRIMESTRE, 2022

Miembros del Jurado:

Agradecimientos y dedicatoria

A mi familia, esposa e hijos por ayudarme, alentarme, tenerme paciencia y acompañarme a lo largo de todo el proceso tanto de cursada como de desarrollo de esta Tesis y por seguirme en la creación de rutinas cotidianas familiares que apuntan a contribuir en pequeña medida al cuidado ambiental que desde siempre me ha desvelado. A los amigos hechos en este Master los cuales dieron su ayuda, opinando y expresando su crítica siempre constructiva y valiosa. A mi Tutor el Dr. Francisco Oscar Faranda, quien supo tomarse el tiempo de conocer mis motivaciones en relación al tema medioambiental que impulsó la elaboración de esta Tesis y me ayudó con sus opiniones y observaciones pacientes, a lograr este objetivo tan deseado de plasmarlas en este estudio. Al director de carrera Marcelo Elizondo y al cuerpo docente, entre ellos Jorge Almada y a la Facultad por respaldarme y darme generosamente las herramientas académicas necesarias que me permitieron llegar a esta instancia. A mis padres, por formarme en los valores del cuidado del medioambiente y mostrarme con su ejemplo hasta el día de hoy que pequeñas acciones cotidianas construyen un mundo mejor para nosotros y sobre todo para las siguientes generaciones. A Honda Motor de Argentina, por brindarme los datos e informaciones necesarios para el estudio.

Índice de Capítulos:

Abstract:	x
INTRODUCCIÓN	xii
Motivo de estudio.....	xii
Metodología	xiv
Propósito del estudio	xiv
Revisión bibliográfica	xiv
Objetivos de la investigación	xv
Limitaciones y restricciones.....	xvi
Articulación.....	xvi
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	1
1.1. Qué es sustentabilidad.....	1
1.2 Clasificación de los residuos	2
1.2.1 Según la Composición química:.....	2
1.2.2 Según el potencial de aprovechamiento	2
1.3 Generación de energía renovable a partir de residuos orgánicos	3
1.4 Biogás: Historia y situación actual.....	5
1.5 Análisis de los aspectos tecnológicos de la generación de biogás	7
1.5.1 El proceso de biogasificación.....	7
1.5.2 Factores que afectan la producción de biogás	11
1.6 Tecnologías de plantas de recuperación de biogás.....	21
1.6.1 Almacenamiento y acondicionamiento de sustratos	22
1.6.2 Sistema de alimentación	23
1.6.3 Tipos de reactores.....	23
1.6.5 Mantenimiento de digestores.....	28
1.6.6 Sistema de calefaccionado.....	29
1.6.7 Almacenamiento del biogás	29
1.6.8 Limpieza del biogás	30

1.6.9	Cañerías y accesorios	35
1.6.10	Almacenamiento del digestato	35
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE RESIDUOS HÚMEDOS GENERADOS EN PLANTA.		36
2.1.	Cantidad de residuos orgánicos generados.....	36
2.2.	Variedades de residuos.....	42
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS, DISEÑO DE PLANTA, FLUJOS, Y RENTABILIDAD.....		45
3.1	Planteo de objetivo	45
3.2	Producción de biogás	46
3.2.1	Requerimientos para conocer el volumen del biodigestor	47
3.2.2	Cálculo de volumen (Vd)	48
3.3	Selección del biodigestor	49
3.4	Dimensionamiento del biodigestor.....	51
3.5	Instalaciones complementarias.....	52
3.5.1	Cámara de carga	52
3.5.2	Cámara de compensación.....	53
3.5.3	Sistema de agitación.....	56
3.5.4	Sistema de calefacción	57
3.5.5	Tuberías de salida de gas y accesorios	58
3.5.6	Tubería de entrada del sustrato.....	58
3.6	Diseño de la planta de biogás.....	59
3.7	Ubicación de la planta de biogás.....	60
3.8	Factores de seguridad.....	64
3.9	Mantenimiento y controles diarios.....	65
3.10	Estimación de la generación de biofertilizante.....	66
3.11	Puesta en marcha.....	68
3.12	Cuidados en la operación	70
3.13	Inversión en puesta en marcha de la planta de biogás.....	71
3.14	Costos de Operación.....	72
3.14.1	Costos Variables.....	73

3.14.2	Costos Fijos.....	73
3.15	Evaluación del Proyecto.....	74
3.15.1	Análisis de componentes del flujo de fondos.....	74
3.15.2	Cuadro de Resultados (CR) y Flujo de fondos (FF) en dólares estadounidenses e indicadores de la rentabilidad del proyecto.....	79
3.15.3	Análisis del impacto ambiental.....	80
3.15.4	Análisis FODA.....	81
CAPÍTULO 4. CONCLUSIÓN		83
ANEXOS.....		89
Bibliografía		90
Citas y referencias		90
Otras fuentes bibliográficas.....		93
Apéndice I: Cálculo de sistema de agitación.....		98
Apéndice II: Cálculo del sistema de calefacción.....		102
Apéndice III: Cañería entre tanque de alimentación y biodigestor		108
Apéndice IV: Cañería y accesorios de gas		110
Apéndice V: Estimación de materiales y costos para la construcción de la planta.....		117
Apéndice VI: Base de cálculo de generación de biogás a partir de corte de pasto.		118
Apéndice VII: Memoria de cálculo: Balance de emisiones de dióxido de carbono.....		119
Glosario.....		121

Índice de Cuadros:

Cuadro 1.1: Consumo medio y eficiencia por aplicación [12].....	6
Cuadro 1.2 Composición del biogás [17].....	7
Cuadro 1.3 Enzimas hidrolíticas [17].....	8
Cuadro 1.4: Características bacterianas en cada fase [12]	10
Cuadro 1.5: Relación entre composición del residuo, C/N y metano resultantes [22].....	14
Cuadro 1.6: Concentraciones favorables de oligoelementos [24].....	15
Cuadro 1.7 Inhibidores comunes y concentraciones máximas (orientativas) [11].....	15
Cuadro 1.8: Composición elemental de los residuos de comida [25]	16
Cuadro 1.9: Características de las bacterias según rango de temperaturas [27].....	19
Cuadro 1.10: Criterios de clasificación de biodigestores	23
Cuadro 2.1: Cantidades de oligoelementos mínimos para sostener la producción [26].....	44
Cuadro 3.1: Análisis para selección de tipo de biodigestor	50
Cuadro 3.2: Análisis de decisión para ubicación de la planta de biogás	63
Cuadro 3.3: Apertura de inversión inicial	72
Cuadro 3.4: Kilogramos diarios de residuos de cocina, comedor y planta	75
Cuadro 3.5: Kilogramos de pasto necesarios cortar para alimentar al biodigestor	76
Cuadro 3.6: Proyección del total de biogás generado por día a lo largo del proyecto	76
Cuadro 3.7: Tabla de plazos de amortizaciones	77
Cuadro 3.8: Premisas de consumos y ahorros para el armado del cuadro de resultados y flujo de fondo	78
Cuadro 3.9: Flujo de fondos.....	79
Cuadro 3.10: Balances de emisiones de dióxido de carbono	81
Cuadro 3.11: Análisis FODA	82
Cuadro A3.1: Catálogo de tubos ofrecidos y modelo necesario para la instalación	108
Cuadro A3.2: Catálogo de codos y accesorios de tubos.....	109
Cuadro A4.1: Tabla de diámetros de cañería según caudal y largo de instalación (Catálogo Sigas).....	111
Cuadro A4.2: Bujes reducción Macho-Hembra	115
Cuadro A5.1: Apertura de costos de obra civil	117

Índice de Figuras:

Figura I.1: Ciclo de valor de generación de biogás	x
Figura 1.1: Métodos de conversión de energía [11]	4
Figura 1.2: Emisiones netas de gases de efecto invernadero según el tipo de disposición [14]....	5
Figura 1.3: Etapas microbianas en la producción de metano [18]	8
Figura 1.4: Etapas de generación del metano [16]	10
Figura 1.5: Relación de la Digestión en función de la Temperatura [19]	12
Figura 1.6: Descomposición biológica de los residuos en un digestor [20]	13
Figura 1.7: Composición de materia orgánica.....	17
Figura 1.8: Relación entre la velocidad de carga y el TRH [24]	18
Figura 1.9: Tasa de crecimiento relativo a microorganismos psicrofílicos (A), mesofílicos (B) y termofílicos (C) [27]	20
Figura 1.10: Producción de biogás en función de la temperatura [27]	21
Figura 1.11: Ejemplo de producción de biogás en sistema batch de 3 digestores.....	25
Figura 1.12: Batería de digestores en batch [27].....	25
Figura 1.13: Esquema del proceso combinado de flujo continuo-tanque tapón [24]	26
Figura 1.14: Biodigestores tipo semi-continuo: A la izquierda, modelo Hindú; a la derecha, modelo Chino [28]	26
Figura 2.1: SPC del pesaje de residuos comedor y cocina	36
Figura 2.2: Evolución mensual de kilos generados y kilos por comensal	37
Figura 2.3: Bandejas con platos de comidas tomados por el comensal.....	38
Figura 2.4: Esquema de circulación de comensales	39
Figura 2.5: Cubiertos, vasos y otros residuos segregados en distintos recipientes	39
Figura 2.6: Bandejas con restos de comida dejada por comensales	40
Figura 2.7: Segregación de restos de comida cruda	41
Figura 2.8: Aceite vegetal usado (AVUs) siendo freído	41
Figura 2.9: Ejemplo de menú semanal	42
Figura 2.10: Porcentajes de origen de los residuos [14].....	43
Figura 3.1: Equipo de cocina y freidora	45
Figura 3.2: Consumo de gas y comensales por día	46
Figura 3.3: Temperaturas promedio en la ciudad de Campana, Buenos Aires	47
Figura 3.4: Esquema modelo de biodigestor con calefacción a utilizar	50
Figura 3.5: Secciones para el diseño de un biodigestor [33].....	51
Figura 3.6: Tanque biodigestor cúpula de hormigón, pared cilíndrica de ladrillo de hormigón y piso cónico de hormigón	52
Figura 3.7: Diseño de cámara de carga con dos bocas de alimentación.....	53

Figura 3.8: Esquema de desplazamiento de digestato generando diferencias de altura entre cámaras y biodigestor producidas por la presión del biogás	53
Figura 3.9: Evolución del volumen de biogás dentro del digestor	54
Figura 3.10: Secciones para diseño de la cámara de compensación	55
Figura 3.11: Diseño de cámara de compensación	56
Figura 3.12: Abertura de entrada a tanque de compensación.....	56
Figura 3.13: Esquema del biodigestor con mezclador	57
Figura 3.14: Cañería de alimentación	59
Figura 3.15: Planta de biogás – Cámaras y biodigestor	59
Figura 3.16: Vista desde la superficie de la planta de biogás.....	60
Figura 3.17: Superficie de ocupación de la Planta de Biogás	60
Figura 3.18: Nave industrial.....	61
Figura 3.19: Locaciones alternativas para la planta	62
Figura 3.20: Ubicación y orientación de planta de biogás	63
Figura 3.21: Orientación del panel solar base ubicación de planta de biogás	64
Figura 3.22: Planta de biogás y posición del conjunto de paneles solares	64
Figura 3.23: Bidón de 10 litros para recolectar el biol.....	68
Figura 3.24: Bolsas para almacenar y comercializar el biosol	68
Figura 3.25: Porcentaje de carga del biodigestor por día	69
Figura 3.26: Ejemplo de cartelería sobre residuos permitidos y prohibidos [28].....	70
Figura 4.1: Jerarquía de recuperación de alimentos	84
Figura A1.1: Viscosidad absoluta de los residuos de comida	98
Figura A1.2: Relación entre N_{re} y N_p [44].....	99
Figura A1.3: Tipo de agitadores verticales	100
Figura A1.4: Bomba Motoarg 1300DRT	101
Figura A2.1: Pérdidas de calor por las diferentes caras del biodigestor	103
Figura A2.2: Resistencia eléctrica plana marca Fadri	106
Figura A2.3: Radiación directa sobre el área de Campana, Buenos Aires.....	106
Figura A2.4: Equipo de paneles solares fotovoltaico e inversor	107
Figura A2.5: Mapa de incidencia solar en Argentina.....	107
Figura A4.1: Cañería principal de alimentación de biogás	110
Figura A4.2: Filtro de desulfuración	112
Figura A4.3: Válvula reductora de presión	112
Figura A4.4: Trampa de agua.....	113
Figura A4.5: Conexión de la trampa de agua con manómetro	113
Figura A4.6: Caño de 1" Total: 18 u\$ s + IVA (Tasa de cambio: 101 AR\$/u\$s)	114
Figura A4.7: Codo a 90° 1".....	114

Figura A4.8: Codo a 90° de 3”	114
Figura A4.9: Válvula esférica de 1”	115
Figura A4.10: Te de reducción central	115
Figura A4.11: Manómetro baja presión	116
Figura A4.12: Medidor de gas.....	116
Figura A7.1: Generación de dióxido de carbono a lo largo del suministro de gas natural [37]	119

Abstract:

Los residuos de cocina y comedor generados diariamente por una empresa dónde trabajan 700 personas (siendo el promedio de comensales 465), son enviados actualmente con cargo al CEAMSE, a rellenos sanitarios dónde se pierde por lo tanto la economía circular.

Estos residuos, tanto en su preparación en la cocina como en el comedor, son orgánicos y pueden ser aprovechados para generar biogás a partir de la biodigestión anaeróbica, proceso en el cual se han realizado grandes avances en los últimos 40 años.

En el presente se estudia y desarrolla dicho proceso, su dimensionamiento y rendimiento con el fin de convertir los residuos en biogás, para que éste sea reinyectado a la cocina nuevamente, reduciendo el consumo de gas de red, el costo de disposición y la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera. Procesos detallados en la figura I.1.



Figura I.1: Ciclo de valor de generación de biogás¹

El estudio se realizó recurriendo a distintas y variadas bibliografías, tanto locales como de otros países con mayor desarrollo de la materia. Además de la información provista por expertos y proveedores del rubro. Para el análisis de este proyecto se realizó un estudio cuantificado, a modo indicativo, tomando a la planta de Honda Motor S.A sede Campana como prueba piloto.

Cuantificando el caso seleccionado, es técnicamente posible generar 17,87 m³ de biogás y reinyectarlo para consumo interno a partir de la alimentación diaria de 188 kilogramos de residuos de cocina y comedor a la planta de biogás, cubriendo el 20% de la demanda diaria en la cocina y reduciendo 175 toneladas anuales de CO₂ emitidos a la

¹ Fuente propia.

atmósfera. A su vez, de la venta de los digeridos biol y biosol se obtiene un retorno de la inversión en 57 meses, partiendo de una inversión inicial de 20.918 dólares y costos de 50.000 dólares anuales.

Finalmente se concluye que esta propuesta es viable técnicamente, con beneficios inmediatos y mediatos tanto medioambientales como energéticos, e incluso económicos; que de verse replicados generarían un aporte considerable a la sustentabilidad a nivel macro. Esto último es lo más significativo de la conclusión, ya que el concepto de que puede ser repetible en asociación de PyMEs, parques industriales, en cadenas de restaurantes, supermercados etc. que posean un volumen de residuos de cocina y/o comedor que justifiquen el proyecto, hace que se pueda generar beneficios a escala país.

Queda abierta para profundizar, en otra tesis o trabajo, el balance del impacto ambiental en cuanto a gases de efecto invernadero emitidos y reducidos, y los beneficios y obligaciones por y para tener acceso a los bonos de carbono.

INTRODUCCIÓN

Motivo de estudio

Desde hace tiempo este maestrando ha sentido atracción, preocupación y compromiso con el medio ambiente. Actualmente esa motivación no ha cesado, por el contrario, los años han demostrado que cada día la situación ambiental en el planeta se está volviendo más complicada y requirente de mayor compromiso. En el día a día este maestrando, y su familia, intentan generar la menor cantidad de residuos y separarlos e incluso llevar lo reciclable a cooperativas o puntos verdes que aseguren su correcta reutilización. Estas son las pequeñas y mínimas acciones que muchas personas pueden y deberían hacer; sin embargo, no son suficientes.

Desde el punto de vista profesional ha querido desempeñarse en alguna empresa (incluso fundarla), que se dedique a la eficiencia energética y/o generación sustentable. Aún no ha podido ser logrado, pero en algún momento ese objetivo podrá ser alcanzado profesional y personalmente, permitiéndole alinear convicciones y pasión, generando plena satisfacción; dejando una huella positiva en la familia y – ojalá – en la sociedad; mientras tanto proyectos como éste ayudan y aportan a la sustentabilidad.

Actualmente este maestrando se desempeña en una empresa automotriz que posee cocina y comedor para sus empleados. Allí diariamente almuerzan unos 800 empleados quienes eligen su menú. Sin embargo, dejan platos llenos de comida que se tiran a la basura. Sea por el motivo que fuese, restos de comida quedan en las bandejas que luego la empresa concesionaria descarta. Esto es sólo una parte de los kilos de residuos diarios, hay que sumarle todo lo que se desecha en el almacenaje y al momento de la preparación de los almuerzos. Finalmente, estos residuos catalogados como orgánicos, son tirados en contenedores a la espera de que un camión del CEAMSE los retire para su disposición final en un relleno sanitario a un costo muy elevado.

En la provincia de Buenos Aires el cargo para disponer una tonelada de residuos es de 15,30 u\$s [1] + IVA (Tasa de cambio 102 AR\$/u\$s) por cada una descargada, considerando una industria dentro del Gran Buenos Aires. Por otro lado, si estos residuos pudieran transformarse en energía tal como el gas, podría dejar de utilizarse parte de la demanda de gas de la red. Esto de poder replicarse en otras empresas a nivel masivo, y considerando la situación crítica de la matriz energética del país puede generar ahorros que liberen acceso al gas natural para los procesos productivos.

Actualmente el costo tarifario por metro cúbico de gas, para grandes consumidores de más de 5.000 m³² en la zona norte de Buenos Aires, es de 0,135 u\$/m³ [2]³ ⁴+ IVA (Tasa de cambio 102 AR\$/u\$), y puede tenerse desde este punto de vista un beneficio económico adicional al reducir el consumo.

Enfocándonos estrictamente en lo ambiental: este proceso significa que se toman recursos, nutrientes, de la tierra y se los debería devolver para poder así mantener un ciclo sustentable, una economía circular; sin embargo, se los tira en rellenos sanitarios produciendo gases que producen efecto invernadero y un líquido contaminante llamado “aguas de lixiviación” que escurre entre la tierra y las napas. Es decir, los residuos orgánicos en lugar de ser una nueva materia prima que ayude a la sustentabilidad son considerados basura y desechados como tales. Esto ocurre en Honda Motor Argentina, que posee la visión de reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y transformarse en la terminal automotriz número uno en ese rubro; como también seguramente, en la enorme mayoría de las organizaciones que en sus objetivos, lemas y valores reflejan su interés en el medioambiente y en el impacto en la sociedad. A ello se agrega que junto a los cinturones ecológicos, dónde son vertidos todos los residuos, vive una cantidad importante de la población expuesta al riesgo de contacto con aguas de lixiviado y, por ende, de enfermedades.

Párrafo aparte merecen el costado ético y educacional sobre el desperdicio de comida y alimentos – tanto en su almacenamiento, vencimiento, preparación y sobras de lo preparado –, sabiendo que hay una importante parte del país y de la población mundial que pasa hambre a diario; y peor aún conociendo que si se evitan los desperdicios que se generan de comida sería posible cubrir cuatro veces el hambre de todo el mundo [3].

Poniéndolo en números, a nivel mundial cada año se pierden 1.600 millones de toneladas de alimentos, de los cuales 1.300 millones de toneladas son comestibles y 0,300 millones de toneladas no [4].

² N. del A: La planta es considerada gran usuario debido al consumo de gas en el proceso productivo.

³ N. del A: El costo por metro cúbico de uso de gas se incrementa a medida que el consumo se reduce, pudiendo llegar a ser hasta un 100% más caro que el utilizado en este caso de tener un consumo de inferior a 1.000 m³ mensuales.

⁴ N. del A: Según el sitio Global Petrol Prices, la Argentina se encuentra en quinta posición como el país con el precio del gas natural para negocios más bajo del mundo. Su precio es 0.011 USD por kWh, mientras que el promedio en el mundo es 0.051 USD por kWh. Esta situación no puede ser sostenida en el tiempo por lo que las tarifas en algún momento tenderán a aumentar justificando más aún el ahorro de consumo. https://es.globalpetrolprices.com/Argentina/natural_gas_prices/

- Menos del 2% de los subproductos alimentarios no comestibles se recolectan actualmente para obtener energía y nutrientes de recuperación [5] .
- Si todos los desperdicios y pérdidas de alimentos disponibles fueran recolectados y reciclados a través de la digestión anaeróbica, habría un potencial para generar de 880 a 1100 TWh de energía que se podría utilizar como electricidad y calor. La electricidad generada sería capaz de satisfacer las necesidades de electricidad de 112 a 135 millones de personas [6]. Por otro lado, si fueran convertidos a través de la digestión anaeróbica a biogás, los 85 a 100 millones de metros cúbicos generados podrían reemplazar el gas natural consumido por Alemania [7].
- Si todos los desperdicios y pérdidas de alimentos disponibles fueran reciclados mediante digestión anaeróbica, se podrían mitigar emisiones de gases de efecto invernadero equivalentes a entre 510 a 560 Mt CO₂. Estos volúmenes son semejantes a las emisiones de dióxido de carbono que se emiten en todo el Reino Unido [8] producto de la generación de electricidad a base de combustibles fósiles, de la producción de fertilizantes y también de las emisiones en los vertederos atribuidas exclusivamente al desperdicio de alimentos.

Metodología

Propósito del estudio

El objetivo principal de este proyecto es el de usar los residuos orgánicos generados en la cocina y comedor de la planta industrial de Honda Motor Argentina en la ciudad de Campana para generar energía sustentable, y con ello verificar la posibilidad de replicar este concepto en otras fábricas, restaurantes, parques industriales, negocios etc., generando un impacto masivo a nivel país, tanto a nivel medioambiental como energético. Para ello, se ha investigado sobre las diferentes alternativas de producción y se ha dimensionado una planta de generación de biogás, estimando su ahorros y beneficios.

Revisión bibliográfica

Las distintas fuentes bibliográficas utilizadas se obtuvieron principalmente a través de internet; accediendo a las webs de respetables instituciones, organizaciones y

bibliotecas digitales. También, se hicieron entrevistas y reuniones con profesionales del rubro y asesoramiento en cuanto a la obra civil.

Objetivos de la investigación

Esta tesis tendrá la siguiente hipótesis que intentará demostrar:

Es viable económicamente, rentable y técnicamente posible la instalación de una planta de biogás para el tratamiento de los residuos generados en cocina y comedor de una empresa u organización con una plantilla de personal de aproximadamente 800 empleados, que almuerzan diariamente en ella; retroalimentando su producción de gas para su propio consumo y consecuentemente reduciendo el requerimiento de gas de red y el impacto ambiental.

Para simplificar la evaluación se estudiarán los siguientes puntos:

- 1) Composición de los residuos orgánicos generados.
- 2) Cantidad de kilos generados por comensal.
- 3) Producción de biogás y sus subproductos a partir de residuos orgánicos mixtos en las condiciones medioambientales de la ciudad de Campana, Buenos Aires.
- 4) Reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

A lo largo del presente se buscará cubrir 4 objetivos principales que aseguren la profundidad de la investigación y el desarrollo del proyecto:

- 1) Definir las principales especificaciones técnicas y parámetros de procesos de fabricación del biogás.
- 2) Determinar la viabilidad económica y financiera.
- 3) Mejorar el impacto ambiental.
- 4) Demostrar con un ejemplo piloto la posibilidad de poder reproducir y expandir alternativas energéticas sustentables y que, al menos, no generen pérdida económica para las empresas; contribuyendo también a la educación ambiental de la población mediante el ejemplo.

Limitaciones y restricciones

Para este caso de estudio, el análisis tendrá desarrollo bajo las condiciones climatológicas y costos de suministro de gas de la localidad de Campana en la provincia de Buenos Aires. Además, el estudio se basa en la generación de residuos orgánicos que poseen una cierta estabilidad en su cantidad e incluso en la variedad a nivel de componentes químicos.

Dado que la importancia de esta tesis radica en el concepto de poder ser replicado y expandido, las limitaciones y restricciones deberían ser analizadas para cada caso debido a que los costos, puntos de disposición y venta pueden tener variaciones significativas de acuerdo al lugar dónde se sitúe la recolección de residuos; así como el beneficio ambiental producto de cómo se tratan los residuos en la región de estudio.

Descripción de los estudios realizados: Entrevistas con expertos

Se realizaron entrevistas telefónicas con proveedores expertos en la calefacción y energía solar (Fadri, Megadistributor y SolarLine); mezclado (MYV Mixing y Famiq); generación de compost y abono (Montecor y Taller 1); puesta en marcha y operación de plantas de biogás (Bio4); y construcción civil (Estudio Basso & Asoc.). El cuestionario fue semiestructurado, comenzando con preguntas pautadas y luego escuchando lo que los expertos tenían para decir. El resultante de las conversaciones fue utilizado para elaborar el proyecto en cuanto a las decisiones acordes a la escala del mismo.

Articulación

Para la estructura del conocimiento inicial se tomaron como base dos publicaciones de libros referenciales: “Manual para la producción de biogás” de J. Hilbert y “Understanding biogas generation” de R. Mattocks. Además, se utilizó información obtenida de referentes del rubro y una amplia bibliografía adicional de respaldo.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1. Qué es sustentabilidad

La complejidad del tratamiento de los residuos por su diversidad requiere dejar en claro algunas definiciones conceptuales para precisar su posterior alcance.

Según la Real Academia Española (RAE) Sustentable es: "Que se puede sustentar o defender con razones". Esta definición no se ajusta con lo que en el uso y costumbre se entiende en la Argentina. En otros países, como España, para el mismo entendimiento se utiliza la palabra Sostenible; que según la RAE se define como "Que puede mantenerse por sí mismo"

El término *Sustentable* se hizo conocido en el año 1987, cuando la *World Commission on Environment and Development* de las Naciones Unidas, también conocida como la *Comision Brundtland*, publicó el reporte llamado *Our common future* (Nuestro futuro en común), centrado en el concepto de desarrollo sustentable o sostenible (*The Concept of Sustainable Development*) [9].

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2008) señala que "el propósito del desarrollo [sustentable] consiste en crear una atmósfera en que todos puedan aumentar su capacidad y las oportunidades puedan ampliarse para las generaciones presentes y futuras".

El problema del sistema económico predominante en nuestro planeta es que tiene la necesidad de crecer y expandirse. Las poblaciones crecientes y demandas en aumento para satisfacer (o forzar una necesidad a satisfacer) requieren de más recursos naturales a ser explotados; aumentando la contaminación, el calentamiento global, la erosión y desertización. La gestión de los recursos naturales es hoy en día un tema de estado en el cual muchos países y sociedades están buscando en los últimos años formas de reducir los desperdicios y reciclar los que se generen. Sin embargo, existen todavía naciones que cuestionan el cambio climático⁵ y real impacto de este modelo sobre el medio ambiente.

Entendiendo que las empresas tienen como finalidad el ganar dinero, en general todas son reticentes a tener actividades que les genere gastos sin un retorno o que al menos

⁵ Según las Naciones Unidas El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos.

lo compense⁶. Éste es uno de los principales motivos por el cual la sustentabilidad o sostenibilidad industrial avanza tan lento. Las empresas sólo invierten si ven en ello una obligación legal (de ahí la importancia de las naciones), daño en su imagen (por lo cual es importante el rol de la sociedad) y/o un real lucro. Por lo tanto, debido a esto, es que se analizará el impacto económico del proyecto con el fin de que, de ser positivo, sea un incentivo más para que los dueños de PyMEs y organizaciones de industriales tomen medidas y acciones concretas y tangibles.

1.2 Clasificación de los residuos

Según el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en su informe "Proyecto de compostaje domiciliario. Un repaso de la generación de los RSU, y en particular de los RSOD y sus posibles modos de gestionarlos. El marco del Compostaje Domiciliario", emitido en noviembre del 2012, los residuos se pueden clasificar:

1.2.1 Según la Composición química:

a. Orgánicos: aquellos que tienen su origen en los seres vivos (ya sean animales como vegetales). Además, incluye diversos residuos que son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos, o naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación.

b. Inorgánico: los de origen mineral y sustancias o compuestos sintetizados por el hombre. Dentro de esta categoría se incluyen metales, cerámicas, plásticos, vidrios, etc.

1.2.2 Según el potencial de aprovechamiento

a. Recuperables: residuos que pueden aprovecharse y transformarse para utilizarse como materia prima para la fabricación de nuevos productos.

b. Humificables: son desechos de origen biológico, que, mediante un proceso de fermentación aeróbico por la acción de hongos y bacterias, atraviesan procesos de descomposición, resultando en un producto denominado “humus”.

⁶ N. del A: Por ejemplo, en marzo del 2021 los accionistas del grupo francés Danone han echado a Emmanuel Faber como presidente-director general del grupo principalmente porque colocaba un discurso ecologista y social en el centro de su proyecto. Esta visión generaba que, ante los accionistas, no sea suficientemente rentable (4%) frente a sus competidores que duplicaban ese nivel de beneficio.

c. No recuperables, no reciclables, no humificables: son residuos que no pueden ser ni reciclados ni humificados, teniendo dos vías para su disposición final:

- Ser utilizados como fuente de energía
- Ser depositados en un relleno sanitario.

1.3 Generación de energía renovable a partir de residuos orgánicos

Si bien hay varias definiciones de biomasa, es interesante cómo es definida por la South Carolina Energy Office, tal como detalla en su informe de septiembre del 2010 llamado “South Carolina Biomass Brief”. Allí describe:

“Se puede decir que la biomasa, desde el punto de vista energético, se refiere a cualquier planta cosechable para la conversión de combustible, como también todo desecho animal y humano convertible en combustible sólido o gaseoso. Por lo tanto, incluye un amplio rango de materiales, como productos de agricultura y forestales, desechos de maderas y granjas, basura específica, abono y desechos animales y siendo más específicos, la biomasa abarca los restos de comida”.

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, y un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos últimos son los que concentran gran parte del poder calorífico de la biomasa; que depende mucho del tipo de biomasa en sí y de su humedad.

Desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera es neutro.

Actualmente hay distintas alternativas que nos permiten convertir los residuos orgánicos y eliminarlos. Según Richard Mattocks en su publicación de 1984 llamada “Understanding Biogas generation” hay 9 métodos: compostaje, sólo quemarla, quemarla para generar calor (combustión), gasificación, pirólisis, liquefacción (en etapa de I+D)⁷, destilación (fermentación aeróbica), biogasificación (fermentación anaeróbica) y

⁷ N. del A: Actualmente esta tecnología sigue en desarrollo en distintos proyectos. Por ejemplo, el CENER de España en el 2019 con el fin de desarrollar biocombustibles, profundizaba el desarrollo de la liquefacción hidrotermal <https://www.energias-renovables.com/bioenergia/la-licuefaccion-hidrotermal-otra-via-para-producir-20190304>

compactación.

Dado que el propósito de este trabajo es generar energía de manera sustentable y rentable quedan descartadas las alternativas de quema y compostaje, ya que no producen energía. La primera sólo "elimina" los residuos y la segunda produce fertilizante.

Para el propósito de conversión de energía se debe elegir el proceso de acuerdo al nivel de humedad que posee la biomasa [10]. Según la Secretaria de energía de la República Argentina en su informe “Energía Renovables 2008 - Energía Biomasa” del 2008, la biomasa se puede separar en dos grandes grupos: Húmedas y Secas. En la siguiente Figura 1.1, se pueden observar las diferencias y características de cada una.

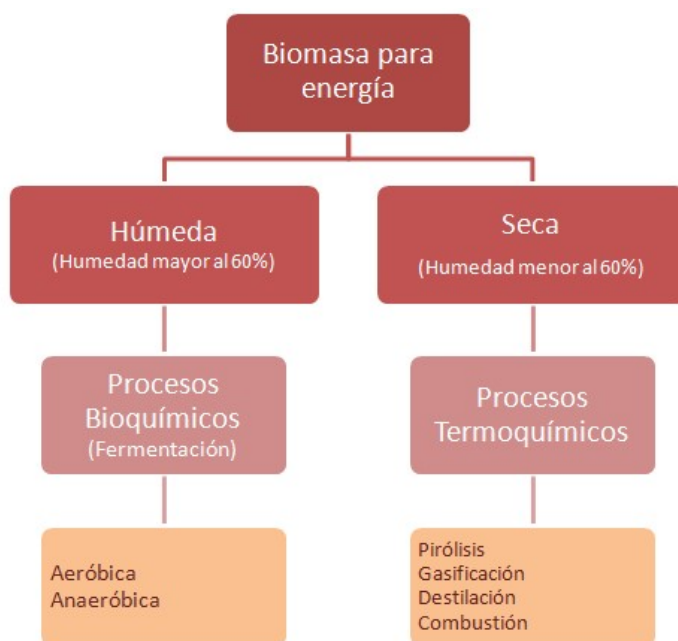


Figura 1.1: Métodos de conversión de energía [11]

Los residuos de cocina y comida entran dentro de la clasificación de residuos húmedos. Si bien tienen un amplio espectro, según el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico del Gobierno de España, en general poseen entre el 75% y 85% de humedad.

Entonces, siguiendo la anterior clasificación, quedan descartados los procesos termoquímicos, quedando sólo el proceso Bioquímico Anaeróbico, es decir la biogasificación, como alternativa para la conversión de los residuos de cocina y comida.

Alineado con esta clasificación, según un informe emitido por Greenpeace en junio 2005, el tratamiento de la materia orgánica se puede dividir en dos métodos: la

digestión anaeróbica (biodigestión) y el compostaje aeróbico. El primer método produce biogás, conformado por metano, dióxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno, más un líquido residual que sirve como abono; y el segundo método genera directamente un abono rico en nutrientes denominado “compost”.

1.4 Biogás: Historia y situación actual

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al año 1600, identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. La década del ‘80 y del ‘90 ha sido fructífera en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico, gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) [12].

En la actualidad, y conforme al Tratado de Kyoto en el empleo de la biomasa como recurso energético, la emisión de dióxido de carbono en un proceso de descomposición térmica se considera cero. Esta consigna se basa en que se supone que dicho CO₂ es el mismo que esa biomasa tomó de la atmósfera durante su formación. Dicho en otros términos, el factor de emisión de CO₂ por la biomasa ha sido definido como cero en toda la normativa de puesta en marcha del Tratado de Kyoto [13].

Es decir, la generación de gas a partir de los residuos orgánicos es sustentable ya que no colabora en el aumento del efecto invernadero, e inclusive permitiría la reducción de las emisiones al no requerir consumo de gas desde la red de suministro.

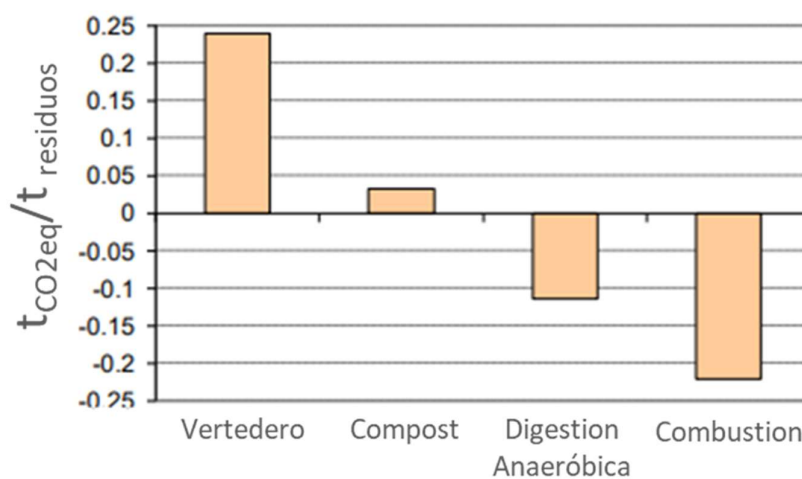


Figura 1.2: Emisiones netas de gases de efecto invernadero según el tipo de disposición [14]

A nivel mundial los métodos para la descomposición de la biomasa se están expandiendo y usando principalmente para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU). En la Argentina, en el año 2004, en la localidad de Villa Dominguez (Provincia de Entre Ríos) se instaló un biodigestor que suministra gas al hospital municipal; y en el 2009 el INTI instaló una planta de biogás que trata los RSU generados en el municipio de San Justo (Provincia de Santa Fe). También, y sólo para nombrar algunas efectivas experiencias de generación de compost dentro de la Argentina, en: Veinticinco de Mayo (La Pampa); Villa la Angostura (Neuquén); Intendente Alvear (La Pampa) y Trenque Lauquen (Buenos Aires). Para el año 2015 existían 105 plantas de Biogás según el diagnóstico realizado por el INTI. Sin embargo, un bajo porcentaje de las instalaciones relevadas (todas del sector privado) tenían fines netamente energéticos [15].

El biogás está compuesto por diversos gases, siendo el metano el principal con un porcentaje que varía entre el 50 y 75% [16]. Este gas generado y acumulado puede tener diversas aplicaciones domiciliarias, industriales u organizacionales. En la Tabla 1.1 se han listado los principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia o rendimiento.

Artefacto	Consumo	Rendimiento (%)
Quemador de cocina	300 – 600 l/h	50-60
Lámpara de 60 W	120 – 170 l/h	30-50
Heladera de 100 L	30-75 l/h	20-30
Motor a gas	0,5 m ³ /kWh	25-30
Quemador de 10 Kw	2 m ³ /h	80-90
Infrarrojo de 200W	30 l/h	95-99
Cogenerador Eléctrico	0,5 m ³ /kWh	Hasta 90

Cuadro 1.1: Consumo medio y eficiencia por aplicación [12]

La bibliografía acerca de la cantidad de biogás que se puede producir a partir de los residuos de comida es diversa. Según el centro tecnológico español “Ainia” en su informe “Modelo de valorización integrada de residuos orgánicos de restaurant y catering”, (Señer, 2011); “*por cada kilogramo de residuo orgánico se puede obtener promedio 120 litros de metano*”. Por otro lado, según L. Zhang en su publicación de “Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: Focusing on the role of

trace elements” (del 2011), el potencial de biogás que se obtiene es de 396 litros del mismo por cada kilogramo de sólido volátil que se agregue al biodigestor. A su vez, según D. Deublin en “Biogas from waste and renewable resources: An introduction” (del 2011), el rendimiento es de 300 litros por kilogramo.

1.5 Análisis de los aspectos tecnológicos de la generación de biogás

1.5.1 El proceso de biogasificación

a. Composición:

La biogasificación, es un proceso microbiológico de fermentación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno que ocurre en forma espontánea. Las bacterias metanogénicas son el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo.

La generación de biogás, constituido principalmente por metano (CH_4) dióxido de carbono (CO_2), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N), constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza.

Componente	Dimensión	Contenido
CH_4	%	50 a 80
CO_2	%	15 a 45
H_2S	mg/m ³	0 a 5000
NH_3	mg/m ³	0 a 450
Humedad	-	Saturado
Valor Calorífico	Mj/m ³	20 a 25
	kWh/m ³	5,5 a 8

Cuadro 1.2 Composición del biogás [17]

La fermentación anaeróbica involucra un complejo número de microorganismos, que descomponen los compuestos orgánicos complejos en etapas bien definidas y siempre en ausencia del oxígeno atmosférico.

b. Etapas de fermentación:

La generación del biogás consta de tres etapas, las cuales se describen en la Figura 1.3. Sin embargo, la real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos [12].

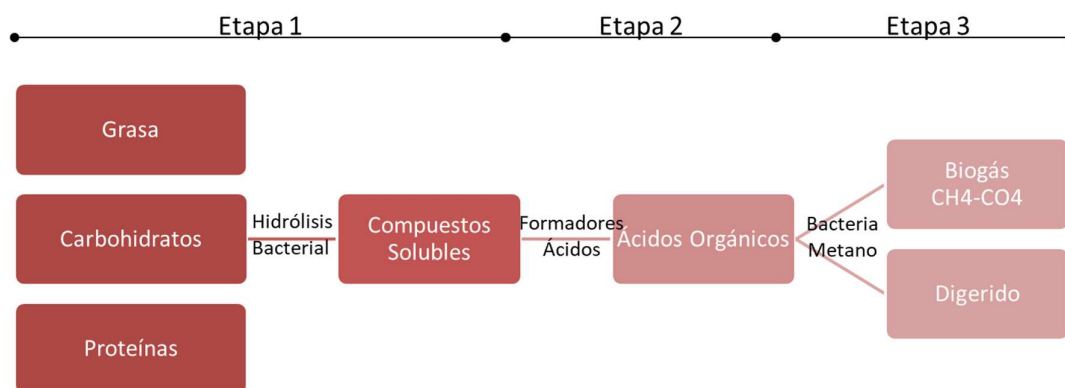


Figura 1.3: Etapas microbianas en la producción de metano [18]

- i. Etapa de hidrólisis: Las bacterias de esta primera fase, llamadas bacterias hidrolíticas acidogénicas, toman la materia orgánica con sus largas cadenas complejas de estructuras carbonadas y las destruyen en cadenas más cortas y simples de entre 1 y 4 carbonos; obteniendo multitud de compuestos orgánicos como ácidos fórmicos, acético, propiónico, butírico etc, liberando hidrógeno y dióxido de carbono. Cada enzima es abierta en un substrato y luego en un producto según puede verse en el siguiente cuadro.

Enzima	Substrato	Apertura de Producto
Proteinasa	Proteína	Aminoácidos
Celulosa	Celulosa	Celobiosa y glucosa
Hemicelulosa	Hemicelulosas	Azúcares (Ej Glucosa, xilosa)
Amilasa	Almidón	Glucosa
Lipasa	Grasas	Ácidos grasos y glicerol
Pectinasas	Pectina	Azúcares (ej. Galactosa)

Cuadro 1.3 Enzimas hidrolíticas [17]

- ii. Etapa de acidificación: Este proceso lo llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos formando acetatos ($\text{CH}_3\text{-COOH}$) y liberando Hidrógeno y Dióxido de carbono.

Esta reacción es endoexergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético [12].

- iii. Etapa de metanogénesis: Se desarrolla en dos reacciones diferentes y con características únicas e interviniendo bacterias pertenecientes al grupo de las archibacterias, también llamadas arqueas, las cuales por sus características genéticas y bioquímicas se diferencian del resto de los dominios; además, son capaces de poder vivir en condiciones extremas, desprender metano y ante condiciones sometidas a oxígeno éste las mata. Las dos rutas de generación de metano son:

- Las metanogénicas acetoclásticas (70% del total) transforman el acetato ($[\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2]^-$) en Metano (CH_4).
- Las metanogénicas hidrogenófilas (30% del total) convierten el hidrógeno molecular (H_2) y el dióxido de carbono de carbono (CO_2) en metano (CH_4).

El conocimiento que se posea, con el fin de lograr el equilibrio óptimo dentro del recipiente en el cual se realice la biogasificación (o biodigestor), de cada etapa depende de entender las funciones y propiedades de los microorganismos que intervienen en cada una de ellas. En la próxima figura, se detallan las distintas etapas de generación.

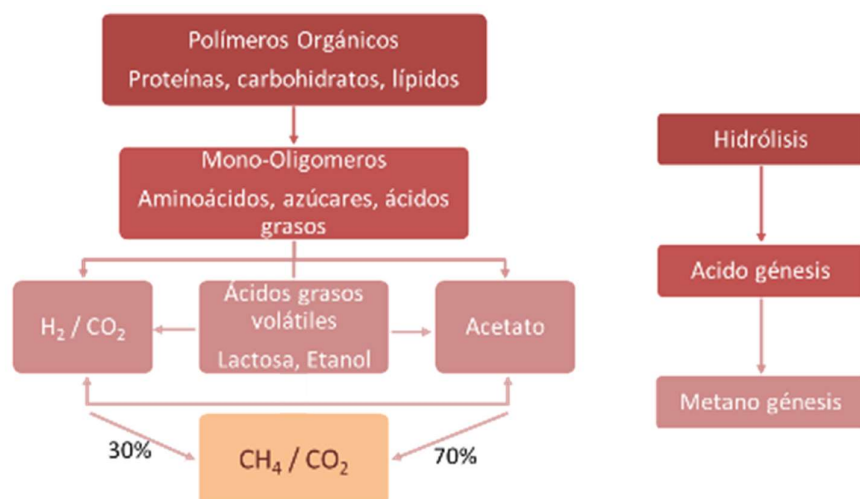


Figura 1.4: Etapas de generación del metano [16]

Por lo tanto, la actividad de cada grupo de bacterias resulta interdependiente de las del resto de los grupos, constituyéndose como un ecosistema microbiano especial, en el que el papel de cada grupo influye en la actividad del resto de la biota microbiana.

Las características de las bacterias se pueden resumir en dos fases, tal como se indica en el siguiente cuadro:

Fase Acidogénica	Fase Metanogénica
Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno)	Bacterias anaeróbicas estrictas (no pueden vivir en presencia de oxígeno)
Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva)	Reproducción lenta (baja tasa reproductiva)
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura
Principales metabolitos: ácidos orgánicos	Principales productos finales: metano y dióxido de carbono

Cuadro 1.4: Características bacterianas en cada fase [12]

El producto final de la fase metanogénica es el biogás cuya composición varía por distintos factores. La calidad del biogás es mejor a mayor porcentaje de metano en su mezcla, ya que una alta cantidad permite un uso similar al del gas natural (92% de CH₄). Algunas de las causas se desprenden del cuadro arriba mencionado, que se puede simplificar en que

cualquier alteración de los parámetros puede influir negativamente en la etapa de metanogénesis, lo que provocará una caída importante en la producción de gas, puesto que las bacterias que generan el metano crecen hasta 10 veces más lentas que el resto de las bacterias, siendo el tiempo de generación variable entre 2 y 12 días. Por lo tanto, el análisis de los parámetros es necesario para su cuidado al momento del diseño y operación de la planta de biogás. También, además del biogás, se genera un subproducto llamado “digerido” rico en nutrientes.

1.5.2 Factores que afectan la producción de biogás

Dado que cada grupo de bacterias necesarias en cada fase del proceso posee una respuesta y sensibilidad distintas a cualquier cambio de parámetro, es muy difícil cuantificar el impacto final de cada variación en la producción y composición del biogás. Se sabe, sin embargo, que los organismos productores del biogás tienden a canalizar la energía, o calorías, al metano en lugar de utilizarla para construir o satisfacer las necesidades celulares internas.

Para asegurar y aumentar la eficiencia de la producción son varios los parámetros a controlar; los cuales se pueden agrupar en los que afectan las condiciones ambientales en el reactor, y en los que hacen a los parámetros operativos.

a. Condiciones ambientales en el reactor:

- i. Oxígeno: Los organismos metanogénicos dependen de un ambiente carente de oxígeno, incluso la mayoría de las especies mueren ante cantidades pequeñas del mismo. Sin embargo, es casi imposible impedir por completo la presencia de oxígeno en el digestor. El motivo por el cual no todas las bacterias mueren es que éstas conviven con otras bacterias que demandan oxígeno en las etapas previas a la degradación.
- ii. Temperatura: En el caso de las bacterias generadoras del metano poseen distintas temperaturas óptimas. Si la temperatura está fuera del rango, tanto a más como a menos, los microorganismos pueden inhibirse y en casos extremos sufrir daños irreversibles.

Los microorganismos se pueden dividir en 3 según el rango de temperaturas óptimas:

- Psicrofílicos: Temperaturas menores a 25°C. Si bien posee como positivo la no necesidad de calentar el sustrato, sólo se obtiene un bajo nivel de degradación por lo que resulta prácticamente inviable económicamente.
- Mesofílicas: Rango de temperatura entre los 25°C y 42°C. La mayoría de las bacterias conocidas que generan el metano operan dentro de este rango de manera óptima.
- Termofílicos: Se sitúan entre los 50°C y 60°C. Hay menor cantidad de bacterias que rinden entre estos márgenes

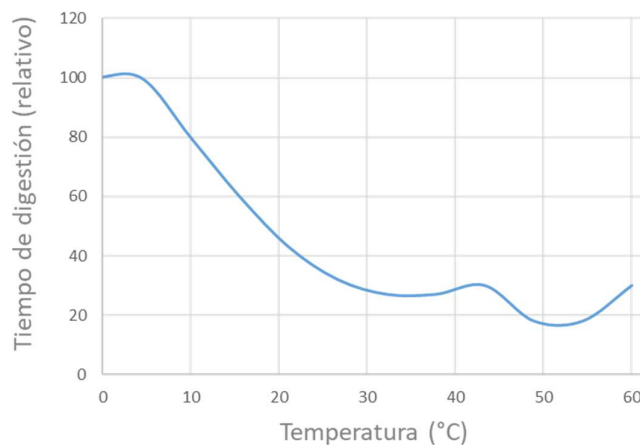


Figura 1.5: Relación de la Digestión en función de la Temperatura [19]

En la figura puede apreciarse que la misma masa de materia prima se digerirá a 30°C, el doble de rápido que a 15°C, además produce aproximadamente 15 veces más gas en el mismo lapso de tiempo.

- iii. Valor de pH (concentración de iones de Hidrógeno): Los distintos microorganismos que participan en la metanogénesis requieren distintos valores de pH. El pH óptimo para las bacterias de hidrólisis y que forman ácidos posee un rango entre 5,2 y 6,3. Por otro lado, para las bacterias que forman el ácido acético es necesario un pH de 6,8 a 8.

Normalmente el pH es estable por sí solo en el valor neutral gracias a un tapón de carbonato y amoníaco. Si se reducen estos compuestos, es decir se acumulan ácidos grasos, caerá el valor de pH inhibiéndose la metanogénesis. Por otro lado, si se libera el amoníaco el valor de pH puede subir generando también una inhibición ya que éste al mezclarse con el agua se transforma en amonio.

Sin embargo, la evolución del pH desde su inicio hasta la estabilización en un biodigestor continuo, a pesar de que se alimente el mismo con materia de bajo pH, al estar estabilizado, puede mantener éste dentro del rango de funcionamiento.

- iv. Suministros de nutrientes: Si bien, como se explicó anteriormente, toda la materia orgánica es biomasa, por ende, factible de transformarse en energía; hay ciertas materias orgánicas que su fermentación no es viable para la generación de biogás. Estos residuos, deberán ser preferentemente separados o, como en el caso de los que poseen altos contenidos de lignina (polímero orgánico complejo que da rigidez a la planta), previamente procesados (cortado, macerado o compostado)

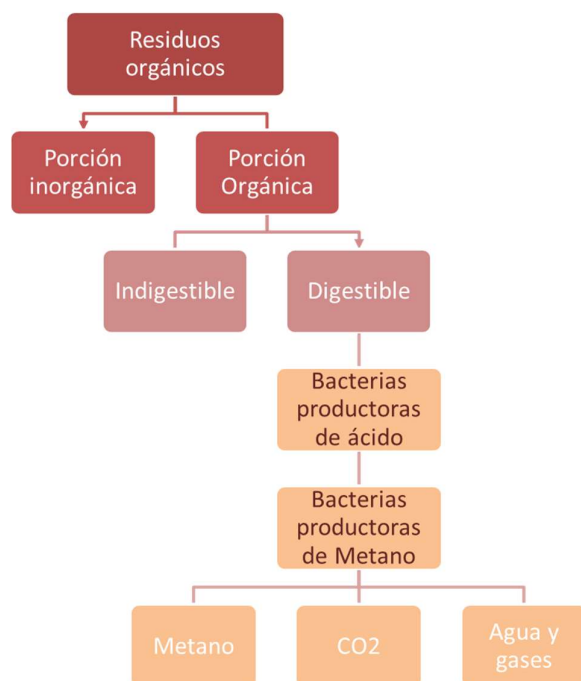


Figura 1.6: Descomposición biológica de los residuos en un digestor [20]

A su vez, la composición química de la mezcla de residuos debe ser controlada para obtener siempre los mayores rendimientos de generación de metano. La bioquímica del proceso requiere de un balance de sales y fuentes de carbono y nitrógeno, pudiéndose definir los siguientes ítems a controlar:

- Balance de composición de C:N: Tanto el carbono en su forma de carbohidratos, como el nitrógeno en cualquiera de sus composiciones (como por ejemplo en proteínas, nitratos o amoníaco), son indispensables

para las bacterias anaeróbicas, ya que el primero es usado como fuente de energía y el nitrógeno para la formación de enzimas responsables del metabolismo.

Sin embargo, el exceso de una sobre la otra no es favorable para la generación de metano. Por ejemplo, exceso de carbono puede generar que todo el carbón no se convierta en metano, por lo que el rendimiento será menor. En el caso opuesto, que la relación C/N sea un número bajo, se producirá un exceso de amoníaco, el cual inhibe el crecimiento de las bacterias, por lo que una cierta proporción es indispensable.

El valor de relación que asegura una mayor optimización de la materia es de 30 – es decir $C/N = 30$ –, lo cual significa que debe haber treinta veces más carbono que nitrógeno. Este valor se logra teniendo una mezcla de material orgánico que incluya residuos de comida, de frutas, de vegetales, y de carne [21]. En el siguiente cuadro se puede ver la comparativa.

Detalle		Lote 1	Lote 2	Lote3
Composición de los residuos	Comida	100%	50%	61,3%
	Frutas	-	40%	10%
	Vegetales	-	10%	6%
	Carne	-	-	22,7%
Resultados	C/N	17	26	31
	Metano (L/gVS)	0,365	0,446	0,679

Cuadro 1.5: Relación entre composición del residuo, C/N y metano resultantes [22]

- Balance de composición de fósforo y azufre: Son también nutrientes fundamentales: el fósforo, para formar el adenosín trifosfato (ATP) y el nicotinamida adenina dinucleótico fosfato (NADP) que transportan energía; y el azufre como parte constituyente de los aminoácidos. Una relación de C:N:P:S en el reactor de 600:15:5:3 es considerada suficiente para la metanización [23].
- Otros micronutrientes: Existen otros nutrientes necesarios para las bacterias metanogénicas como el cobalto, níquel, molibdeno y hasta tungsteno; necesarios para la realización de reacciones del metabolismo. Mientras que para el transporte de electrones y permitir la acción de enzimas se requiere magnesio, hierro y manganeso.

Oligoelementos	Concentración Mínima	Concentración Óptima
Co	0,06	0,12
Ni	0,006	0,015
Se	0,008	0,018
Mo	0,05	0,15
Mn	0,005-50	No especificado
Fe	1-10	No especificado

Cuadro 1.6: Concentraciones favorables de oligoelementos [24]

- **Inhibidores:** Así como existen elementos químicos indispensables, hay otros que se los denomina inhibidores dado que su presencia en ciertas cantidades, reduce la generación de metano o incluso detiene por completo la descomposición. Estos elementos son los metales pesados, antibióticos y detergentes, que pueden ser parte del sustrato como también generarse por reacciones químicas dentro del reactor.

En el cuadro siguiente se detallan algunos de los más comunes inhibidores y los valores que generalmente se consideran como máximos. Son los valores orientativos a partir de los cuales se impide el proceso de generación de metano. Puede ocurrir también que las bacterias intervinientes con tiempo se adapten a las condiciones que en un principio las afectaba marcadamente, por lo que la generación del biogás continúa.

Inhibidor	Concentración Inhibidora
SO ₄	5.000 ppm
NaCl	40.000 ppm
Nitrato (según contenido de N)	0,05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200 – 500 mg/l
CN (después de que se han domesticado las bacterias metanogénicas a 2-10 mg/ml)	25 mg/l
ABS (detergente sintético)	20-40 mg/l
Na	3.500-5.500 mg/l
K	2.500-4.500 mg/l
Ca	2.500-4.500 mg/l
Mg	1.000-1.500 mg/l

Cuadro 1.7 Inhibidores comunes y concentraciones máximas (orientativas) [11]

- v. Composición de elementos de residuos de comida: Los desperdicios de comida son una buena fuente para la generación de biogás, dado que poseen proteínas, grasa, carbohidratos y varios oligoelementos. De todas maneras, hay que tener en cuenta en no excederse en la cantidad de proteínas presentes en los residuos dado que pueden conducir a la inhibición de amoníaco. Según un informe emitido por la "California Energy Commission" en Julio de 2005, bajo el nombre "Anaerobic phased solids digester pilot demonstration project. Characterization of Good and Green Wastes as Feedstock for Anaerobic Digesters", los residuos generados por restos de alimentos tienen un buen balance de micro y macro nutrientes disponibles para los microorganismos anaeróbicos. En el cuadro siguiente se puede observar un resumen bibliográfico de los valores reportados en los residuos alimenticios.

Componente	Unidad	Valor
C (Total)	% (del total seco)	46.78
N (Total)	%	3.16
P (Total)	%	0.52
K	%	0.90
Ca (Total)	%	2.16
Mg (Total)	%	0.14
S (Total)	ppm (materia húmeda)	2507.50
NH ₄ -N	ppm	972.50
NO ₃ -N	ppm	117.50
Al	ppm	1202.00
Fe (Total)	ppm	765.75
B (Total)	ppm	11.25
Zn (Total)	ppm	76.00
Mn (Total)	ppm	59.75
Cu (Total)	ppm	31.13
Cd	ppm	<1
Cr	ppm	2.50
Pb	ppm	3.50
Ni	ppm	2.00

Cuadro 1.8: Composición elemental de los residuos de comida [25]

b. Parámetros operativos:

- i. Velocidad de carga (Br): Se refiere a la tasa de volumen diario de sustrato cargado en el digestor, parámetro crucial que define cuántos kilogramos de sólidos volátiles (SV) pueden alimentar al digestor por unidad de volumen por unidad de tiempo, expresándose de la siguiente manera:

$$Br = \frac{m * c}{Vr * 100}$$

m = kilogramos de sustrato añadido por día
c = concentración de sólidos volátiles (%SV)
Vr = volumen del digestor

Los sólidos volátiles se definen como la cantidad de sólidos convertidos por la bacteria y, por lo tanto, en biogás. Estos se obtienen en laboratorio dejando en un horno la muestra durante 3 horas a 560°C, previa desecación a 105°C. Luego de eso, se calcula como:

$$SV = \frac{1 - (\text{peso seco} - \text{peso ceniza})}{\text{peso seco}}$$

La importancia de este valor, además, es que es inversamente proporcional al tiempo de retención. El valor típico que se puede considerar para el SV es de 24% de la materia fresca, con valores que pueden ir desde 17,1 a 26,35 [26] según la composición de los residuos.

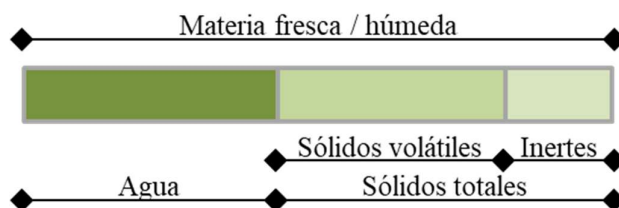


Figura 1.7: Composición de materia orgánica

- ii. Tiempo de retención (TRH)

Este parámetro puede ser definido con precisión en los sistemas de digestores alimentados de a lotes (tipo batch), en los cuales el tiempo de retención coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del biodigestor. En el caso de los digestores continuos o semicontinuos, se determina como el cociente entre el volumen del digestor (Vd) y el volumen de carga diaria (V).

$$TRH = \frac{Vd}{V}$$

Por lo tanto, si el tiempo de retención es de 30 días, diariamente se debe cargar 1/20 del volumen total del digestor, y en promedio los residuos orgánicos y microorganismos permanecerán 20 días dentro del sistema.

El tipo de sustrato y la temperatura son dos factores que influyen directamente en el TRH: a mayor temperatura menor TRH, por ende, menor volumen de digestor necesario. A su vez, los sustratos con mayor proporción de carbono requerirán mayor tiempo para su digestión. El tiempo mínimo estará definido por la tasa de reproducción de las bacterias, dado que junto a la salida del efluente se van bacterias que deberán ser compensadas.

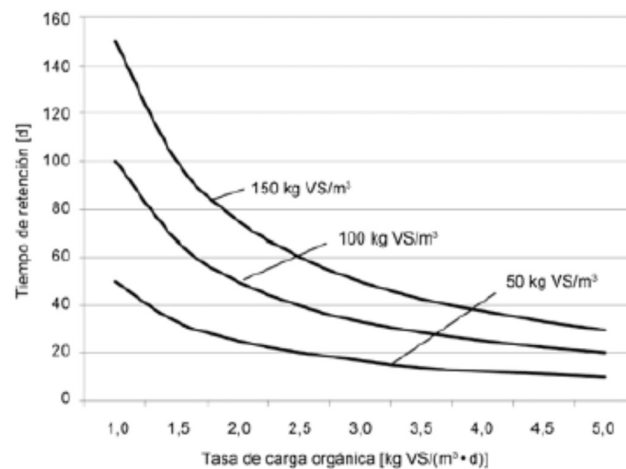


Figura 1.8: Relación entre la velocidad de carga y el TRH [24]

iii. Mezclado

El contacto entre el sustrato y las bacterias es lo que permite que éstas lo digieran y formen el metano. Para lograr esto debe haber una mezcla exhaustiva de ambos dentro del digestor. La falta de ésta se detecta al formarse capas separadas que, por diferencias de densidad, normalmente genera que las bacterias se ubiquen en la parte inferior, dificultando la metanogénesis e incluso la salida del gas.

Por el contrario, un exceso de mezcla impactará negativamente en la metanogénesis, ya que romperá el equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias, en particular las que forman el ácido acético con las arqueas (microorganismos metanógenos).

Por lo tanto, un equilibrio en la mezcla es imperativo y por ello es parte de los parámetros principales a regular y calcular al momento de diseño y generación del biogás. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto balance de sales minerales tales como azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores.

El mezclado puede realizarse de manera mecánica, neumática o hidráulica. En el caso del primero, el sustrato se mezcla en forma axial o vertical por medio de agitadores, los cuales pueden ser de cizallamiento o de mazado. La operación puede ser continua o intermitente. En cuanto al mezclado neumático, consiste en inyectar al sustrato por boquillas en el piso del biodigestor, produciendo un burbujeo que crea un movimiento vertical. Por último, en el mezclado hidráulico, se fuerza por medio de bombas horizontales u horizontales y verticales que el sustrato salga y vuelva a ingresar, recirculándolo siempre y cuando sea principalmente de consistencia líquida.

iv. Temperatura del sustrato

El proceso se inicia con temperaturas mayores a los 4° a 5° C, sin exceder aproximadamente los 70°C. Sin embargo, los microorganismos involucrados en el proceso metabólico tienen distintas temperaturas óptimas de trabajo:

Bacterias	Mínimo	Óptimo	Máximo	Sensibilidad	Rendimiento
Psicrofílicas	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	+/- 2°C/hora	Bajo. Operación no económica.
Mesofílicas	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	+/- 1°C/hora	Alto. Buena estabilidad
Termofílicas	25-45°C	50-60°C	75-80°C	+/- 0,5°C/hora	Muy alto. Sensible a perturbaciones

Cuadro 1.9: Características de las bacterias según rango de temperaturas [27]

Tal como se refleja en el anterior cuadro y en la siguiente figura, la actividad biológica y, en consecuencia, la generación de gas, se incrementan a mayor temperatura. Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso, la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas

variaciones térmicas.

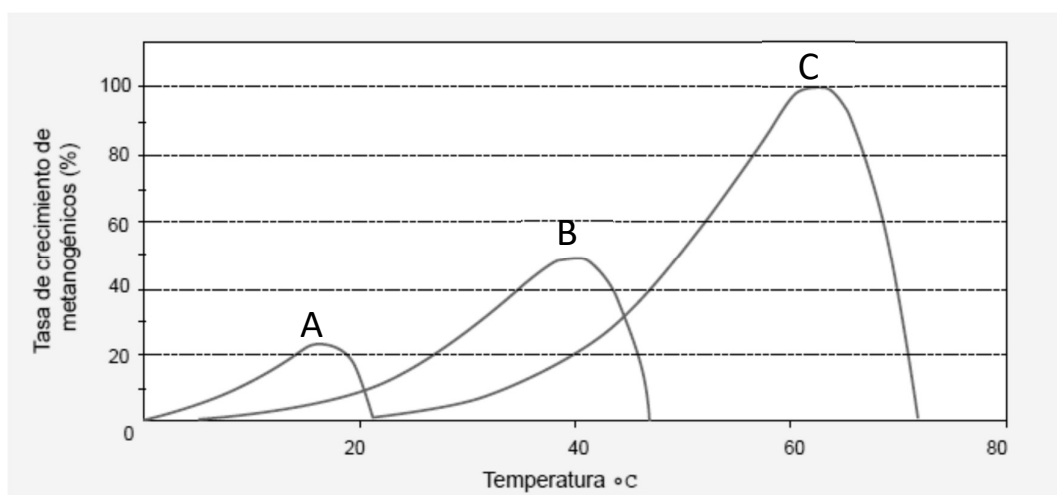


Figura 1.9: Tasa de crecimiento relativo a microorganismos psicrófilos (A), mesófilos (B) y termófilos (C) [27]

Al momento de definir el rango de temperatura de trabajo, hay que tener en cuenta estas particularidades, ya que, a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas al elevarse la temperatura, paralelamente aumentarán los costos de instalación, la complejidad de la misma y principalmente el control para mantener el proceso estable.

Por otro lado, en la práctica se ha comprobado que las fronteras entre rangos de temperaturas son fluidas y, al contrario, son los cambios rápidos de temperatura los que dañan los microorganismos. Si la temperatura cambia lentamente los microorganismos metanogénicos pueden ajustarse a diferentes niveles de temperatura. Por lo tanto, no es tanto la temperatura absoluta la que es crucial para el manejo estable del proceso, sino la permanencia de un cierto nivel de temperatura estable.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica). A medida que aumenta la temperatura, disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa, como se representa en la figura 1.10.

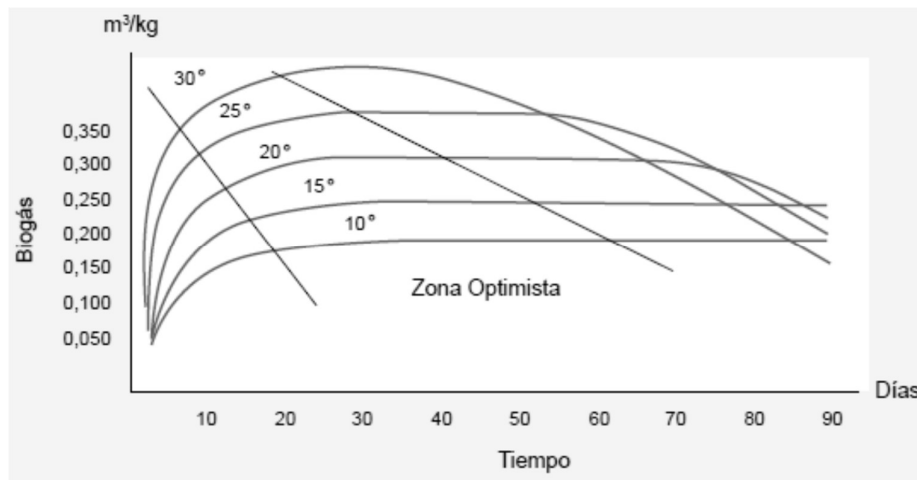


Figura 1.10: Producción de biogás en función de la temperatura [27]

c. Contenido de sólidos

A medida que aumenta la cantidad de sólidos, se ve afectada la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato, por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Sin embargo, no existen reglas fijas ya que por ejemplo en rellenos sanitarios urbanos dónde la cantidad de sólidos es alta, se registran grandes valores de biogás.

d. Inserción de inoculantes

Existen tres etapas de crecimiento de bacterias dentro del digestor: La etapa de arranque, la de estabilización y finalmente la de declinación.

Para reducir el tiempo de la primera etapa, se puede agregar un determinado porcentaje de material (digerido) de otro digestor en funcionamiento que sea rico en bacterias o algún aditivo químico. Este sirve principalmente para aquellos reactores en los cuales no hay una continuidad y deben ser reencendidos con frecuencia, así como también cuando se alcanzan grandes temperaturas en los mismos.

1.6 Tecnologías de plantas de recuperación de biogás

Una planta de recuperación para la generación de biogás, consiste en todos los elementos, máquinas e instalaciones utilizados para que se produzca la biogénesis y se almacene el biogás producido.

El reactor es el principal dispositivo, es dónde ocurre el proceso bioquímico de

degradación de la materia orgánica. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular; en general, la mayor parte de los tanques son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, hacia el centro para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque. Además, tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el biogás producido. Pueden estar contruidos de distintos materiales desde polietileno de alta densidad, de baja densidad (tipo bolsa), concreto, y hasta incluso de acero inoxidable.

1.6.1 Almacenamiento y acondicionamiento de sustratos

a. Almacenamiento

El almacenamiento de materias primas sirve principalmente para compensar fluctuaciones en el abastecimiento. El tipo de instalación dependerá de los materiales a almacenar: en el caso de sólidos se utilizan silos y tanques si son líquidos. El dimensionamiento dependerá de los intervalos de acopio y de alimentación del digestor, y de la variabilidad en la cantidad de suministro.

b. Trituración

El triturado de la materia prima prepara las superficies de las partículas para la descomposición biológica y su posterior producción de metano. Como regla general, el proceso de descomposición es más rápido cuanto más chicos son los materiales. Sin embargo, esto sólo favorece e impacta en el tiempo de digestión, pero no necesariamente incrementa el rendimiento de metano.

c. Macerar, homogeneizar

Este proceso puede ser necesario para poder obtener sustrato con mayor cantidad de agua y facilitar su alimentación y mezcla. Este proceso se realiza en los tanques de almacenamiento o en los predigestores antes de ser alimentados.

Para este proceso se suele utilizar líquidos, ya sea estiércol, digerido líquido (biol), agua procesada o incluso agua fresca. El beneficio de re-usar biol es que reduce el consumo de agua fresca o potable, esta técnica puede ser más provechosa de utilizar en restaurantes o PyMEs, dónde no cuenten con suficiente acceso a agua de descarte de otros procesos.

1.6.2 Sistema de alimentación

Estando lista la materia prima para ser colocada en el digestor, se puede realizar la alimentación de la misma. La técnica de alimentación depende del tipo de materia prima y su capacidad de ser bombeada. La materia prima bombeable se transfiere desde tanques de almacenamiento al digestor por bombas (por ejemplo, desechos orgánicos líquidos como lodos de flotación, lácteos y pescado). Las materias primas que no se pueden bombear, suelen ser materiales fibrosos que pueden ser vertidos por un cargador al sistema de alimentación y luego al digestor (por ejemplo, mediante un sistema de tubería roscada). Sin importar si la materia prima es posible de ser bombeada o no, ambas se pueden alimentar simultáneamente en el digestor.

Hay varios sistemas de alimentación y su selección depende de la calidad de la materia prima, de su bombeabilidad y de los intervalos de alimentación. Se debe prestar especial atención a la temperatura de la materia prima que alimenta al digestor. Las grandes diferencias entre la temperatura de la nueva materia prima y la operación del digestor perturban la microbiología del proceso, provocando pérdidas de rendimiento de gas, por tanto, deben evitarse. Existen en el mercado varias soluciones prácticas a este problema, como el uso de bombas de calor o intercambiadores de calor para precalentar / enfriar la materia prima antes de la inserción en el digestor.

1.6.3 Tipos de reactores

En este aspecto, la bibliografía es amplia y cada autor posee su propia clasificación. Sin embargo, todos coinciden en que hay una enorme variedad: tantas como necesidades y presupuestos existan. A raíz de eso, he realizado una selección y clasificación orientada al tipo de residuo y necesidad que este estudio requiere. Ésta se refleja en el cuadro 1.10 y se analizarán a continuación.

Criterio	Clasificación
Tipo de Alimentación	Intermitente o batch
	Continuo
	Semi-Continuo
Intensidad de mezcla	Mezcla completa
	Mezcla parcial o nula
Fases del proceso	Fase única
	Dos fases
Contenido de materia seca	Digestión húmeda
	Digestión seca

Cuadro 1.10: Criterios de clasificación de biodigestores⁸

⁸ Fuente propia.

a. Tipo de alimentación

El régimen de alimentación o carga de la planta, define en gran medida la disponibilidad de sustrato fresco para los microorganismos, el cual impacta en la generación de biogás.

- i. Intermitente o batch: Consiste en cargar por completo el digestor con sustrato fresco y luego sellarlo herméticamente. El sustrato permanece dentro de la cámara sin añadir ni retirar ningún material, hasta que pase el tiempo de estadía seleccionado. Alcanzado el tiempo definido, se vacía el digestor para comenzar un nuevo ciclo. Es posible que antes de comenzar el nuevo ciclo, se deje una pequeña proporción de material (llamado material semilla) para inocular al sustrato fresco.

La alimentación por lotes se caracteriza por una tasa de producción de gas que cambia a lo largo del tiempo: comienza lentamente luego de que se ha llenado el reactor, alcanza un pico en algunos días (que obedece al tipo de sustrato utilizado) y luego va disminuyendo continuamente. Esto obliga, a fin de mantener una producción de gas estable a lo largo del tiempo, a poseer una batería de digestores (al menos 3 o 4) cada uno de los cuales se hallará operando en las distintas etapas. Por estas razones este proceso es poco práctico y su uso no muy difundido. Sin embargo, posee varios puntos a destacar:

- Tiene la menor ocupación de área por volumen de biogás producido, gracias a que el sustrato posee alta concentración de materia (40 – 60%).
- A raíz del punto anterior, consume entre 60 – 80% menos de agua que los digestores continuos y semi-continuos.
- Requiere de menos mano de obra ya que no necesita agitación ni carga diaria. Sino que una vez terminado el período de estadía, se debe descargar el digerido y cargar nuevamente.
- No sufre cambios de temperatura violentos por lo que no requiere de cuidados especiales que afecten la generación de biogás.
- Se puede construir sobre el suelo o semi-enterrado (apaciguando más aún las variaciones de temperatura).

En la figura que se muestra a continuación, se grafica cómo es posible sostener una producción de biogás estable utilizando en paralelo 3 digestores tipo batch. Las curvas azules, rojas y verdes representan la generación de biogás en el tiempo de cada uno de los digestores, mientras la curva naranja es resultante de los tres.

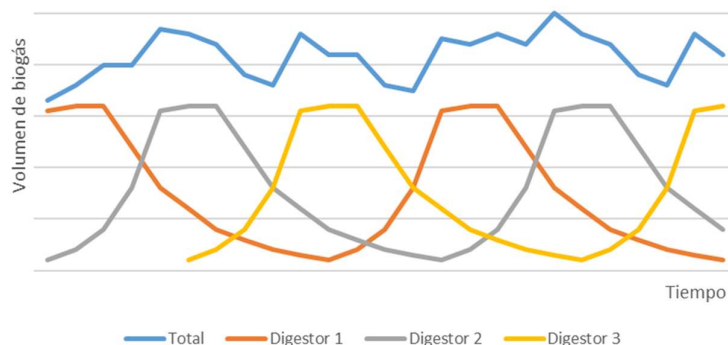


Figura 1.11: Ejemplo de producción de biogás en sistema batch de 3 digestores

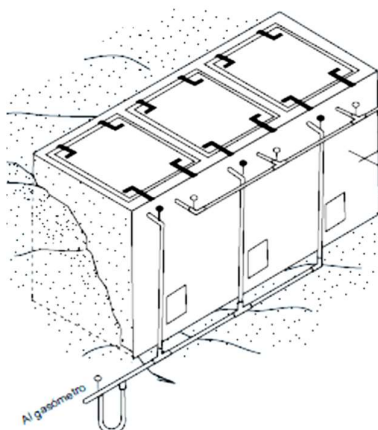


Figura 1.12: Batería de digestores en batch [27]

- ii. Continuo: En un digestor del tipo continuo, el sustrato está constantemente siendo alimentado al tanque. El material se mueve a través del digestor de manera mecánica o por la presión misma que genera el nuevo material que empuja hacia afuera el ya digerido, por lo tanto, el sustrato debe ser fluido y homogéneo. La principal ventaja es que produce biogás de manera ininterrumpida en la medida que se lo alimente continuamente. Estos digestores pueden ser verticales, horizontales o de múltiples tanques. Este tipo de digestor corresponde a plantas de gran capacidad, que además emplean equipos auxiliares para alimentarlos, calefaccionarlos, agitarlos y controlarlos.

Además, existen plantas de flujo continuo con “tanque tapón” que emplea una instalación de almacenamiento de digestato de manera cubierta. Esto permite que se capture y utilice el producto pos-digestión del biogás, que se encuentra en el tanque de almacenamiento funcionando como un tapón. Si surge la necesidad de una gran cantidad de sustrato pre-digerido como fertilizante, se puede sacar sustrato del digestor. Además, el proceso permite una producción permanente de gas. La siguiente figura es un diagrama del proceso:

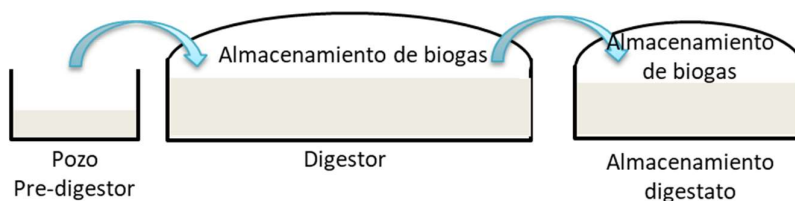


Figura 1.13: Esquema del proceso combinado de flujo continuo-tanque tapón [24]

- iii. Semi-continuo: En este tipo de digestor la alimentación de la materia prima se produce cada día. Es decir, es un sistema de carga diaria o, a lo sumo, en períodos cortos similares. La producción de biogás en este tipo de biodigestores es más o menos constante, dependiendo de la frecuencia de alimentación. El volumen de materiales a cargar tiene intrínseca relación con el TRH y el volumen del biodigestor, mientras que el volumen de descarga es igual al de ingreso.

Existen principalmente dos clases de digestores de este tipo: el modelo hindú (corona móvil) y el modelo chino (corona fija):

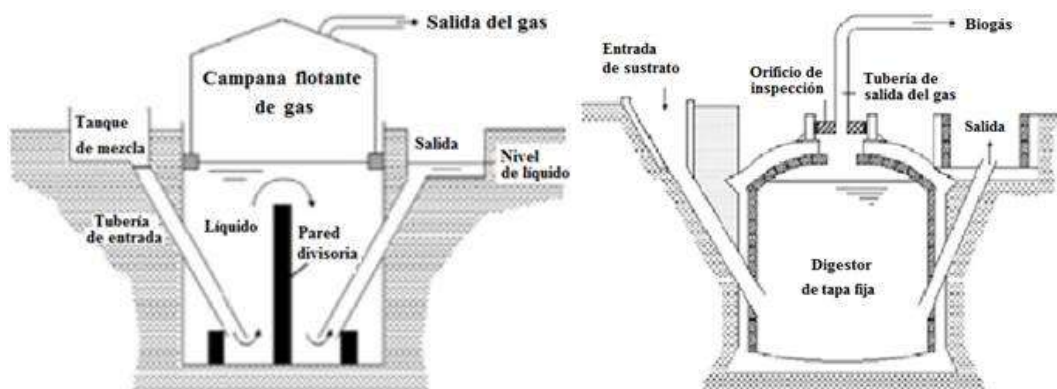


Figura 1.14: Biodigestores tipo semi-continuo: A la izquierda, modelo Hindú; a la derecha, modelo Chino [28]

b. Intensidad de la mezcla

- i. Mezcla Completa: En general los digestores funcionan con todo tipo de materiales (lo que los hace flexibles). Sin embargo, éstos materiales deben tener una proporción de sólidos que van del 3% al 12%. Una vez alimentados, son continua o intermitentemente mezclados para prevenir que se separen. Por otro lado, el exceso de intensidad y frecuencia en la agitación pueden ser contraproducentes ya que afectan al equilibrio bacteriano.

La mezcla o agitación se logra a través de paletas mecánicas, hidráulicamente recirculando de manera lenta el material; o por reinyección de biogás que produce burbujeo. Los digestores completamente mezclados son en general más caros para instalar y mantener debido al equipamiento adicional para la mezcla y además por los equipos de calefacción y aislación que suelen tener.

- ii. Mezcla parcial o nula: Son en general pequeños digestores en los cuales el sistema de agitación es de forma manual, por rotación de la campana o domo, o mediante la circulación del sustrato dentro de la cámara (ubicando las cañerías de entrada y salida a distinto nivel). En el caso de los digestores que son horizontales se agregan además una serie de tabiques. En muchos casos la principal finalidad de la agitación es evitar la formación de costras, que son perjudiciales para la generación del biogás.

c. Fases del proceso

- i. Fase única: Las etapas de la digestión anaeróbica se cumplen en una única cámara, es decir, cuando ocurren la hidrólisis y la metanización en un tanque único, estando todas las bacterias sometidas a las mismas condiciones. Existen plantas en las que se encuentran un pozo pre-digestor, un tanque digestor y un tanque de almacenamiento de digestato; estas plantas son de fase única, aunque en tres etapas.
- ii. Dos o más fases: Un proceso en dos fases es aquel en que la hidrólisis y la metanización ocurren en tanques separados. Esto permite optimizar las condiciones de desarrollo de cada tipo de bacterias y extraer los sólidos indigeribles antes de que pasen a la etapa metanogénica.

d. Contenido de la materia seca

La clasificación en digestión húmeda o seca, más allá de que no hay una definición precisa de la diferenciación entre ellas, depende del contenido de materia seca que se encuentra en el digestor (sin perjuicio de que en ambos casos los microorganismos requieran suficiente agua en su entorno).

- i. Digestión húmeda: Se suele definir como digestión húmeda cuando la cantidad de masa de materia seca es hasta aproximadamente 12% en el digestor, ya que, en esa condición, todavía se puede bombear por la cantidad de agua existente.
- ii. Digestión seca: Si el contenido de materia seca en el digestor se eleva a 15% o más de la masa total, el material ya no se puede bombear y el proceso se conoce como digestión seca.

1.6.5 Mantenimiento de digestores

Luego de varios ciclos de producción de biogás, los sedimentos de materiales pesados como arenas y otros materiales no digeribles pueden acumularse dentro del digestor, principalmente de los continuos. Muchos de estos materiales están junto a la materia orgánica y por lo tanto no puede prevenirse su acumulación, ya que no pueden ser segregados durante las etapas previas.

Gran parte de la arena es liberada durante la metanogénesis en el digestor y su acumulación dentro del tanque reduce su volumen. Si no se retiran periódicamente los sedimentos, las capas que forman los mismos se endurecen, requiriendo otros métodos y equipos más costosos, además de tener que poner fuera de funcionamiento el digestor. La remoción continua de sedimentos puede hacerse utilizando rastrillos o incluso a través de un drenaje en la parte inferior.

La formación de sedimentos y el problema causado por ellos puede ser minimizado si se realizan algunas medidas preventivas:

- Vaciar regularmente tanques de almacenamiento y pre-almacenamiento.
- Establecer suficiente capacidad de pre-almacenamiento.
- Aplicar un método de agitación adecuado.

- Colocar adecuadamente las bridas de la tubería de bombeo o alimentación, para evitar la circulación de arena.
- Evitar materias primas con alto contenido de arena.
- Utilizar métodos especialmente desarrollados para la evacuación de arena de los digestores.

1.6.6 Sistema de calefaccionado

La temperatura constante del proceso dentro del digestor es una de las condiciones más importantes para su funcionamiento estable y alto rendimiento de biogás. Fluctuaciones de temperatura incluidas las determinadas por las estaciones del año y las condiciones climáticas, así como también las fluctuaciones locales en diferentes áreas del digestor, deben evitarse lo más posible. Grandes fluctuaciones de temperatura conducen al desequilibrio del proceso de AD y, en el peor de los casos, provocar la falla del proceso.

Las causas de las fluctuaciones de temperatura se pueden deber a:

- Adición de materia prima nueva con temperatura muy diferente a la del proceso
- Formación de capas o zonas de temperatura por insuficiente aislamiento, mal dimensionamiento, incorrecto sistema de calefacción, o insuficiente mezclado.
- Temperaturas exteriores extremas, tanto durante el verano o el invierno.

Para lograr y mantener una temperatura de proceso constante y compensar eventuales pérdidas de calor, los digestores deben estar aislados y calentados por fuentes de calor externas. La fuente más utilizada es el calor residual de la unidad de cogeneración del biogás.

El calentamiento de la materia prima se puede realizar durante el proceso de alimentación a través de intercambiadores de calor o se puede hacer dentro del digestor, mediante elementos calefactores. Precalentar la materia prima durante la alimentación tiene la ventaja de evitar fluctuaciones de temperatura dentro del digestor. Muchas plantas de biogás utilizan una combinación de ambos tipos de calentamiento de la materia prima.

1.6.7 Almacenamiento del biogás

La producción de gas debe mantenerse lo más estable y constante posible. Dentro del digestor, el biogás es generado en cantidades fluctuantes; a su vez la demanda de

biogás puede variar a lo largo del día. Para compensar estas variaciones, es necesario un almacenamiento temporario del biogás producido.

La instalación dónde se produce biogás debe poder resistir presión y ser a prueba de rayos UV, temperatura e inclemencias climáticas. Además, por medidas de seguridad debe tener válvulas de baja y sobre presión, protección antiexplosiva y cumplir con la normativa local.

En general se define que la mínima capacidad del reservorio sea un cuarto de la capacidad diaria de producción. Sin embargo, normalmente, se recomienda que la capacidad del tanque sea entre uno y dos días de producción. Los tanques se clasifican en dos tipos según la presión de trabajo a la cual deben estar sometidos.

a. Tanques de baja presión:

Estos tanques poseen un rango de presión de trabajo que van desde los 0,05 mbar a los 0,5 mbar y están hechos de membranas que cumplen con varios requerimientos de seguridad. Los tanques membrana son instalados como tanques externos o como cobertores del domo sobre el digestor. La membrana se expande de acuerdo al volumen del biogás que contiene, por lo que se suele instalar una estructura de sostén en los casos en que se encuentre vacío, y una malla o red para evitar que se expanda por encima de lo definido.

b. Tanques de media y alta presión

Estos tanques se utilizan en los casos en que la presión se encuentra entre los 5 y 250 bar. Debido a estas presiones es que estos tanques requieren gran inversión y costos de mantenimiento energético. Según un estudio realizado por la universidad de Southern Denmark Esbjerg, para poder mantener un sistema de 5 bares se requiere un consumo 0,22 kWh/m³ y en caso de 200 bar el consumo se incrementa a 0,31 kWh/m³.

1.6.8 Limpieza del biogás

El biogás tal como es generado no es recomendable que sea utilizado, ya que no se encuentra puro. Cuenta con varios otros subproductos derivados de la biodigestión que deben ser retirados para asegurar la seguridad y lugar de trabajo, y el cuidado de las instalaciones, por lo que hay que hacer un acondicionamiento previo a su consumo.

a. Desulfuración

Cuando el biogás sale del biodigestor, está saturado con vapor de agua y, además de metano y dióxido de carbono, posee sulfuro de hidrógeno (H_2S), que es un gas tóxico y de desagradable olor. Además, este gas al combinarse con el vapor de agua se convierte en ácido sulfúrico, el cual daña bombas, tuberías y quemadores. Para prevenir estas condiciones, se debe secar el gas y remover el sulfuro de hidrógeno (H_2S).

La remoción del H_2S del biogás puede hacerse por distintos métodos, tanto químicos como biológicos, y dentro o fuera del digestor. Se aconseja tener equipos de desulfuración sobredimensionados al menos un 50% debido a los picos de generación/demanda de biogás.

- i. Desulfuración biológica dentro del digestor: La oxidación biológica es uno de los métodos más utilizados. Consiste en la inyección de pequeñas cantidades de aire que van del 2% al 8% en el biogás. De esta manera, el sulfuro de hidrógeno es oxidado y transformado en azufre sólido (el cual puede mezclarse con el digestato para mejorar sus propiedades fertilizantes) o en ácido sulfuroso en estado líquido.

Este método es efectivo y de bajo costo. La inyección de oxígeno se realiza a través de unas bombas que inyectan aire al digestor por unas tuberías que se encuentran en la parte superior del mismo y, preferentemente, en el lado opuesto a la salida del biogás para evitar bloquearla. De esta manera, la reacción ocurre en la cámara del reactor donde se acumula el biogás. Sin embargo, dadas sus cualidades ácidas, se corre el riesgo de que se produzca corrosión de los componentes y paredes del digestor.

- ii. Desulfuración química dentro del digestor: La desulfuración puede lograrse agregando una sustancia química a la mezcla de materiales dentro del digestor. De esta manera, el sulfuro es químicamente delimitado durante la digestión anaeróbica, previniendo la liberación de sulfuro de hidrógeno al biogás, por lo tanto, el azufre no se pierde ya que permanece en el digestato.
- iii. Desulfuración biológica fuera del digestor: La desulfuración también puede ser realizada fuera del digestor en tanques o columnas de desulfuración. Este

método facilita el control del proceso y el preciso ajuste de oxígeno a inyectar.

El H_2S se oxida a través de un proceso biológico de productos ácidos o azufre libre, mediante la inyección de una pequeña cantidad de aire atmosférico a contraflujo del biogás.

En los casos que, cuando el biogás se almacena o pasa por un almacenamiento de digestato, el reactor de H_2S se omite y sólo se inyecta aire. La desulfuración se basa, en tal caso, en la formación de una capa flotante en el tanque de almacenamiento, sobre la cual los microorganismos pueden crecer y realizar la oxidación. Esta solución es más rentable, pero también menos efectiva, ya que las capas flotantes son bastante inestables, por lo que habrá períodos en el cual la eliminación del sulfuro de hidrógeno no se realice completamente.

iv. Desulfuración química fuera del digestor: La desulfuración química puede ocurrir fuera del digestor usando, por ejemplo, hidróxido de sodio como base. Esta metodología requiere de equipamiento especial para que sea efectiva. Otro método es agregar una solución ferrosa al sustrato, la cual se une al azufre formando un compuesto líquido e insoluble que previene la producción del sulfuro de hidrógeno gaseoso.

Como contrapartida, este método es bastante caro debido al consumo de material ferroso. Una alternativa más barata es suministrar desechos orgánicos que contienen materiales ferrosos y utilizar la adición ferrosa solo como respaldo.

b. Secado

La humedad relativa del digestor llega a ser del 100%, lo que genera que el biogás esté saturado en vapor. Para asegurar la conversión de la energía y proteger a los equipos, esta humedad debe ser removida del biogás. La cantidad de agua que contiene el biogás depende de su temperatura.

Las tecnologías físicas y químicas como la adsorción, la absorción o la condensación son métodos para eliminar el agua.

i. Desnebulizador: en este paso se utiliza una malla cableada (microporos 0,5–2 nm) para separar las partículas líquidas.

- ii. Ciclón: en esta tecnología se utiliza la fuerza centrífuga para desprender las gotas de agua.
- iii. Trampas de humedad: en este paso la temperatura disminuye por expansión lo que provoca condensación del vapor de agua.

Las trampas de humedad son el método más utilizado actualmente. Una parte del agua se puede condensar enfriando el gas. Esto se hace con frecuencia durante el transporte de biogás desde el digestor hasta el lugar de consumo. El agua se condensa en las paredes de las tuberías inclinadas, las cuales deben ser suficientemente largas, y se puede recoger en un separador de condensación. En caso de que las tuberías sean subterráneas, el efecto de enfriamiento es uniforme y más alto. El separador de condensación debe mantenerse libre de heladas y de fácil acceso, con el fin de ser vaciado regularmente. Además de los vapores de agua eliminados, la condensación también elimina algunas de las sustancias indeseables como los gases solubles en agua y los aerosoles.

Otra posibilidad de secado del biogás es enfriar el gas en refrigeradores eléctricos, a temperaturas inferiores a 10 ° C, lo que permite eliminar mucha humedad. Para minimizar la humedad relativa, pero no la humedad absoluta, el gas se puede calentar nuevamente después del enfriamiento, para evitar la condensación a lo largo de las tuberías.

c. Remoción de otros contaminantes

Existen otros contaminantes que requieren ser removidos del biogás, tales como el oxígeno, nitrógeno, los halógenos y siloxanos. La cantidad de los mismos dependerá del origen del compuesto pudiendo incluso en algunos casos no ser necesaria su remoción.

- i. El oxígeno puede estar presente en el biogás si se filtra aire exterior o hay exceso de inyección de aire durante la desulfuración. A pequeñas cantidades de oxígeno, no se lo considera riesgoso; sin embargo, a cantidades que van del 4% al 16% puede haber riesgo de explosión [29]. El exceso de oxígeno puede ser removido por carbón activado, membranas o tamices moleculares. De todas maneras, lo mejor es evitar la presencia de oxígeno en el biogás ya que éstos métodos son costosos, complejos, y genera un riesgo a la seguridad.

- ii. Los halógenos son productos inflamables y tóxicos y, entre ellos, se pueden citar a los alcoholes, aldehídos, amidas, cetonas, ésteres, glicoles, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos y nitrilos. Especialmente los clorocarburos y fluorocarburos pueden causar corrosión. Para removerlos del biogás, éste debe pasar por tubos paralelos intercambiadores y presurizados que en su interior poseen carbón activado. Estos componentes no se encuentran naturalmente en los residuos de comida, sin embargo, sí en productos de limpieza como la lavandina y detergente de vajillas, por lo que debe evitarse la contaminación.

- iii. Nitrógeno: El nitrógeno dentro del biodigestor tuvo su origen como nitrógeno orgánico y una significativa parte es hidrolizado durante la metanogénesis. Sin embargo, en condiciones de pH superiores a 8.0, se genera amoníaco como resultado en el digestato, pero se encuentra también en el biogás. El amoníaco en el ambiente es riesgoso para la salud y, en contacto con agua, puede corroer metales.

Para evitar que eso ocurra, se debe evitar la volatilización del nitrógeno en forma de amoníaco. Esto se puede lograr formando una costra superficial (que puede ocasionar problemas operacionales), utilizando el biodigestor frío (menor a 20°C) post fermentación mesofílica o termofílica, o protegiendo el reservorio del sol.

- iv. Siloxanos: Si el sustrato que ingresa al digestor contiene siloxanos, se producirán pequeñas cantidades del mismo en el biogás resultante, ya que algunos de estos compuestos se evaporan. La mayor parte de los productos de cuidado personal como lociones, productos de higiene y productos para el cabello contienen siloxanos y estos se liberan en las aguas residuales que luego son adsorbidas por los lodos. Por lo tanto, es de esperar que no se encuentren en los restos de comida. Cuando se queman a la llama, los siloxanos forman óxido de silicio, un polvo blanco. Éste provoca abrasión en las superficies de los quemadores. Existen varias técnicas para eliminar los siloxanos del biogás, que también pueden remover otros compuestos nocivos. Incluyen adsorción sobre carbón activado, enfriamiento del gas, y absorción en mezclas de hidrocarburos líquidos, aluminio activado y gel de sílice.

1.6.9 Cañerías y accesorios

Las tuberías y accesorios utilizados en las instalaciones de biogás deben ser a prueba de corrosión y adecuadas para manipular tipos específicos de materiales (biogás y biomasa). Los materiales utilizados para las tuberías dependen de la carga transportada y el nivel de presión e incluyen PVC, HDPE, acero y acero inoxidable. Accesorios como acoplamientos, válvulas deslizantes, válvulas de mariposa, aberturas de limpieza y los manómetros deben ser accesibles, fáciles de mantener y estar colocados libres de heladas. En algunos casos es necesario el aislamiento de las tuberías.

1.6.10 Almacenamiento del digestato

En plantas de gran tamaño, el sustrato digerido se bombea fuera del digestor mediante secuencias de bombeo y transportado a través de tuberías a las instalaciones de almacenamiento, donde el digestato se puede almacenar temporalmente por varios días.

Es posible que se produzcan pérdidas de metano y nutrientes por el almacenamiento y manipulación del digestato, ya que la producción de biogás puede tener lugar fuera del digestor, en tanques de almacenamiento para digestato. Para prevenir las emisiones de metano y recolectar la producción extra de gas, los tanques de almacenamiento siempre deben estar cubiertos con una membrana hermética para la recuperación del gas. Además, deben estar cubiertos con una capa flotante natural o artificial, con el fin de reducir el riesgo de volatilización del amoníaco.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE RESIDUOS HÚMEDOS GENERADOS EN PLANTA.

2.1. Cantidad de residuos orgánicos generados

El indicador más apropiado para medir la generación de los residuos orgánicos es: “La cantidad de residuos orgánicos expresados en kilogramos por comensal”.

Con este indicador podremos hacer un control de la evolución de los residuos, el cálculo del dimensionamiento de la planta y benchmark en establecimientos gastronómicos. Por ejemplo, el promedio de residuos orgánicos por comensal en los restaurantes de Reino Unido es de 0,48 kg, mientras que en Alemania dos grandes restaurantes tienen 0,26 kg/comensal y 0,36 kg/comensal respectivamente. El benchmark objetivo a considerar es una generación por comensal $<0,25$ kg [30].

A su vez, el indicador para medir la gestión de los residuos orgánicos es: “El porcentaje de residuos orgánicos, en kilogramos, que son enviados al biodigestor”. El valor benchmark es $>95\%$ [30], es decir que más del 95% de todos los residuos generados deben ser alimentados al biodigestor. Esto incluye no sólo los residuos que quedan sobre las bandejas y mesas de preparación, sino también aquellos residuos en filtros de piletas, cubiertos, utensilios de cocina, envases etc.

Considerando lo anterior y en función de poder determinar la viabilidad de la producción de biogás y su volumen, es necesario conocer las características de los residuos generados y su cantidad. Para ello se utiliza el registro del pesaje de residuos clasificados como residuos de cocina, que se pueden ver en el siguiente gráfico:

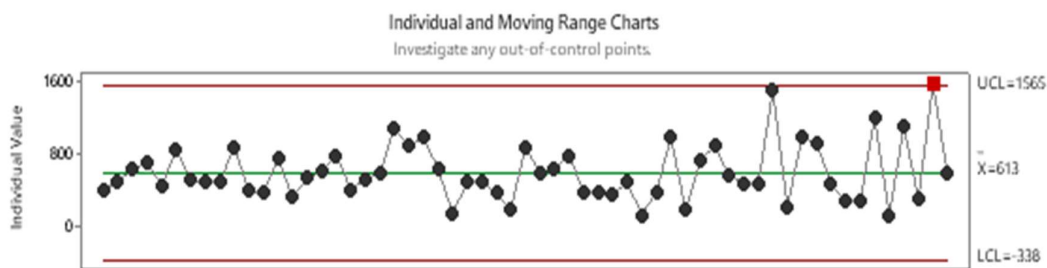


Figura 2.1: SPC del pesaje de residuos comedor y cocina⁹

El registro toma los datos a lo largo de 6,5 meses que incluyen 60 pesajes, del cual un dato fue removido por estar excesivamente por arriba de los límites de control. En la figura anterior se observa que los pesos registrados están estadísticamente fuera de control

⁹ Fuente propia base datos históricos de Honda Motor de Argentina S.A. planta Campana, primer semestre 2013.

por causa de una medición (ver punto rojo en figura 2.1). Sin embargo, siendo que las mismas no son constantes en su frecuencia y un punto representa sólo el 1,66%, se considera al proceso como estadísticamente estable (es decir se pueden predecir los valores del pesaje a lo largo del tiempo). Además, de las mediciones se obtiene un promedio de 613 kg por cada pesaje realizado en promedio cada 3,2 días, siendo el promedio de 191 kg/día, razonablemente coincidente con el promedio total que es de 188 kg/día. En cuanto al indicador de kg/comensal, el promedio del semestre fue 0,404 kg, 61% por arriba del benchmark (creándose aquí una oportunidad de mejora).

Es importante que las empresas que hagan extensible este tipo de proyecto posean una segregación pareja de residuos o, en su defecto, realicen una administración para poder sostener un ingreso diario prácticamente constante al biodigestor acorde al dimensionamiento realizado.

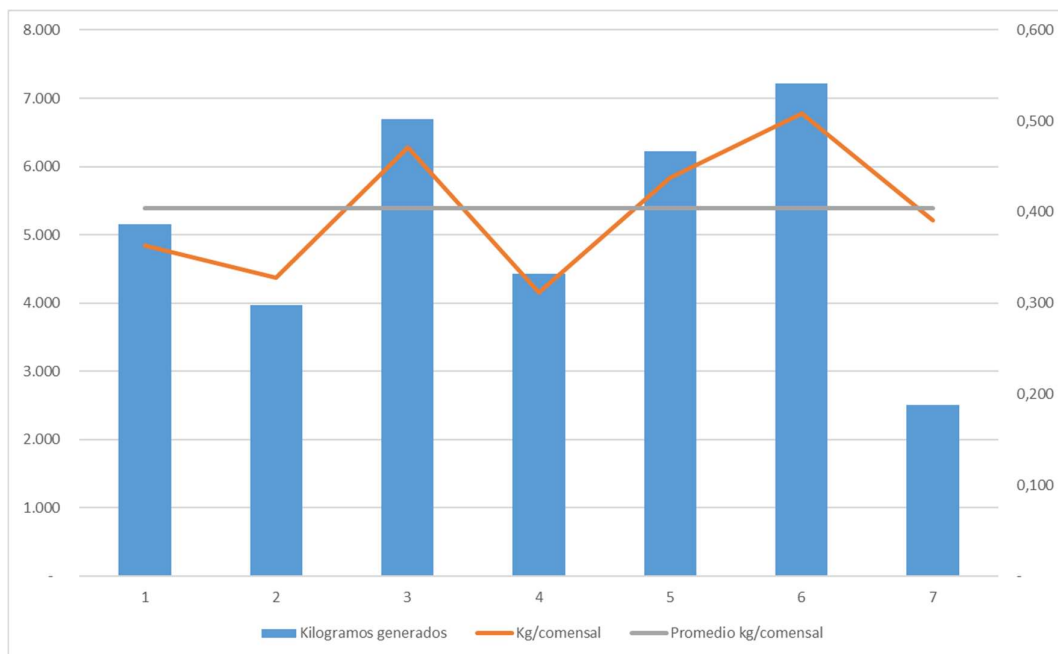


Figura 2.2: Evolución mensual de kilos generados y kilos por comensal¹⁰

El servicio de comedor funciona diariamente de lunes a viernes. En el mismo se atiende a una gran parte de los empleados, preparándose comida para un promedio diario de 550 comensales; y los días sábados se reduce a un promedio de 40 comensales. Los días domingos no funciona la cocina ni el comedor, por lo que los residuos de las personas

¹⁰ Fuente propia base datos históricos de Honda Motor de Argentina S.A. planta Campana, primer semestre 2013.

que se encuentran en planta son segregados en tachos de residuos comunes.

Debido al proceso de segregación existente en el salón comedor, se puede asegurar la correcta separación de residuos de comida, evitando la mezcla con otros inhibidores y contaminantes como servilletas de papel; así como también se garantiza la recolección de la gran mayoría de los residuos generados y desperdiciados. Esta cultura, ya lograda en Honda, es clave para el éxito del proceso en cualquier otra organización. Por lo que se debería realizar un trabajo con todos los colaboradores y miembros de cocina y comedor para que tengan el hábito de la correcta segregación. Esto es a su vez otro efecto positivo de este proyecto: enseñar y educar en la importancia de la separación de los residuos para que puedan ser reciclados, de forma tal que luego repliquen esto en sus hogares y con sus familias, creando un efecto de beneficio ambiental exponencial.

Para los comensales, el flujo comienza al ingresar al salón comedor, en dónde la modalidad de servicio es del tipo “help yourself”. Allí toman una bandeja plástica, luego seleccionan el menú y toman el plato correspondiente; eligen un postre, toman un vaso plástico descartable y luego pueden ir al salad bar para seleccionar y condimentar su ensalada (Ver Figura 2.3).



Figura 2.3: Bandejas con platos de comidas tomados por el comensal

Tanto los cubiertos como los platos y vasos son reutilizables. El único elemento descartable son las servilletas de papel; sin embargo, en algunas ocasiones se ofrecen platos de plástico descartables de postre. Luego de terminar de comer, el comensal camina hacia la salida y segrega colocando en cada recipiente: el líquido del vaso, el vaso plástico, los cubiertos, las servilletas; y lo restante, la bandeja con el plato y restos de comida, se

colocan en un carro tipo estantería. Este flujo se ve representado en la Figura 2.4.

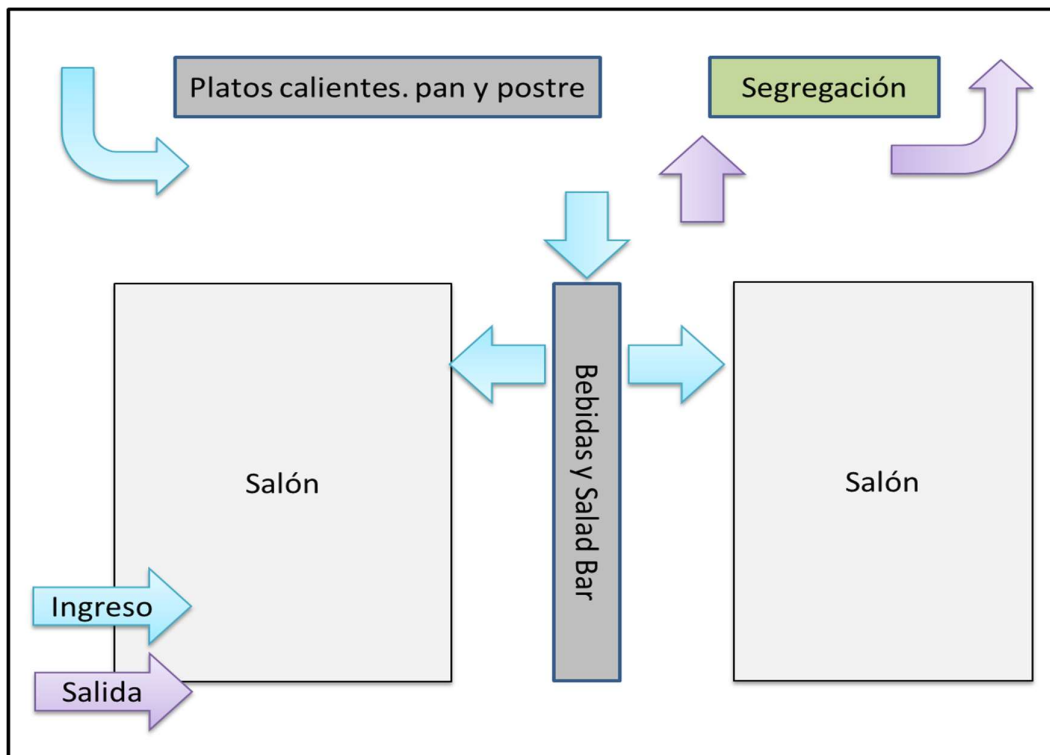


Figura 2.4: Esquema de circulación de comensales

En las siguientes imágenes (Figura 2.5 y Figura 2.6) se observa cómo actualmente se procede a la separación de los residuos orgánicos del resto de los demás elementos como los vasos, cubiertos y servilletas y otros residuos.



Figura 2.5: Cubiertos, vasos y otros residuos segregados en distintos recipientes



Figura 2.6: Bandejas con restos de comida dejada por comensales

Los restos de comida crudos, sin cocinar ni preparar, son aptos también para la generación de biogás¹¹ por lo que deben ser recolectados. Actualmente en la cocina, el proceso de recolección no garantiza la total segregación y la no contaminación de los residuos orgánicos, ya que restos de material orgánico no preparado es perdido al irse por cañerías o barrido al final de la jornada, cuando se higienizan mesadas y pisos. A su vez, estos restos quedan contaminados con detergentes y lavandina, que poseen halógenos y afectan la generación de biogás como se explicó anteriormente, por lo que no es recomendada su recolección y alimentación al digestor.

¹¹ N. del A: Las bibliografías que hacen referencia a esta clasificación coinciden que se puede utilizar en los digestores. Sin embargo, difieren entre sí en el rendimiento de biogás respecto a los residuos cocinados.



Figura 2.7: Segregación de restos de comida cruda

En consecuencia, se puede asegurar que la gran mayoría de los residuos orgánicos, producto de preparar la comida y sus sobras, son segregados sin contaminantes. Sin embargo, quedan otros restos que actualmente no se conoce su cantidad y son dispuestos como residuos comunes o junto a las aguas de limpieza como efluente hacia la planta de tratamiento.

Por otro lado, quedan fuera de este análisis, y abierto para otro estudio, la disposición de aceite vegetal de cocina usado (AVUs), el cual no será agregado al biodigestor. Sin embargo, es posible darle un tratamiento para poder obtener otros productos energéticos como biodiesel y hasta biogás¹².



Figura 2.8: Aceite vegetal usado (AVUs) siendo freído

¹² <https://www.dicyt.com/noticias/cartif-coordina-un-proyecto-europeo-para-valorizar-los-residuos-del-aceite-de-cocina-usado>

2.2. Variedades de residuos

Diariamente se ofrecen 3 diferentes menues: light, plato del día y pechuga de pollo; esto se puede acompañar con distintos tipos de verduras que se toman del “salad bar”; por último, existe una opción, al finalizar el almuerzo, de postre como fruta, gelatina o preparados de vainilla. Cada comensal puede elegir uno de los platos principales, acompañarlo con verduras y elegir un único postre.

El plato del día y el menú light varían día a día y entre semanas, sin embargo, existen ciertas similitudes entre los platos ya que están pensados para un plan de dieta semanal que contiene los nutrientes y calorías necesarios para una correcta alimentación.

En cuanto a los postres (sean frutas o no) suelen ser los mismos y las ensaladas son prácticamente fijas en cuanto a su variedad y aderezos.

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES				
PPAL	MILANESA	POLENTA	RISSOTTO CON POLLO	FILET DE PESCADO	TERNERITA				
GUARNICION	PURE MIXTO	SALSA BOLOGNESE			GUISADA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES
POSTRES	GELATINA	FLAN DE CHOCOLATE	GELATINA	PLATO PRINCIPAL	CAZUELA DE LENTEJAS	FIDEOS	CARNE AL HORNO	POLLO AL OREGANATO	PAN DE CARNE
				GUARNICION		ESTOFADO	PANACHE	PAPAS DORE	ARROZ AMARILLO
				POSTRES	GELATINA	FLAN DE VAINILLA	GELATINA	FLAN DE CHOCOLATE	GELATINA

Figura 2.9: Ejemplo de menú semanal

Como se mencionó anteriormente, tanto los residuos de comida crudos como los preparados son capaces de producir biogás. Según un estudio realizado por la *Sustainable Restaurant Association* (SRA, 2010), el 65% de los residuos generados provienen de preparación en la cocina, 30% restos de comida dispuestos por los comensales y 5% pérdidas por almacenaje/vencimiento y otros motivos. Estas proporciones se encuentran representados en la figura 2.10. Sin embargo, estos valores podrían cambiar ligeramente al aumentar los restos generados por los comensales, dado que éstos pueden servirse ensalada en exceso y postre que finalmente no comerán. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, ambos tipos de residuos son aptos para la generación de biogás, siendo incluso más eficientes los residuos ya preparados (por lo que para este caso de estudio, la situación del comedor en planta mejora aún más el rendimiento del biogás producido).

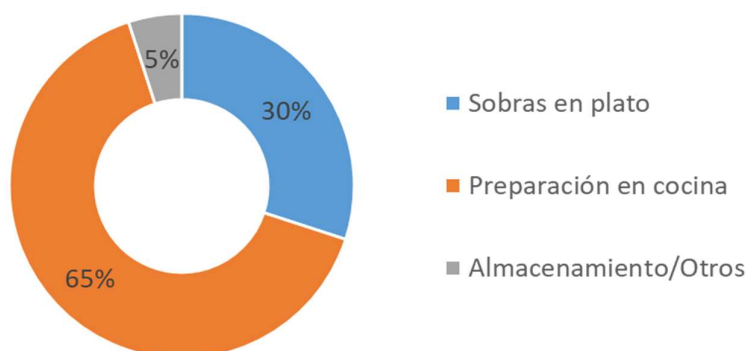


Figura 2.10: Porcentajes de origen de los residuos [14]

La composición de nutrientes del sustrato afecta directamente al crecimiento de microorganismos y por ende a la producción de biogás. El pH del sustrato facilita la climatización de la población microbiana a los cambios de ambientes y la solubilización de ciertos nutrientes. La máxima producción de biogás se observó cuando el pH de los residuos de comida era igual a 7.0, con una significativa reducción de generación por debajo de 5.0 y por encima de 9.0 [31].

Los carbohidratos, lípidos, y proteínas contribuyen a mantener una relación de C/N saludable. Éstos se obtienen diariamente de las porciones de carne vacuna o pollo y/o legumbres, como también se encuentran en el pan y aceite agregado a las ensaladas. Las proteínas actúan como fuente de nitrógeno al degradarse en amoníaco. Sin embargo, un alto nivel de proteínas en el sustrato, por ejemplo, de la carne, corresponde a menores niveles de C/N que conduce a inestabilidades del proceso al producir exceso de amoníaco.

Los niveles de alcalinidad inferiores al óptimo indican acumulación de AGV (ácidos grasos volátiles) y se pueden mantener utilizando un cosustrato apropiado que tenga la capacidad de penetración natural o mediante el uso de agentes externos como carbonato de calcio o bicarbonato de sodio. Por ejemplo, si entre los residuos se genera suficiente cantidad de cáscaras de huevo, éste puede mejorar el pH, manteniendo la alcalinidad del digestor. Si bien la literatura existente es ambigua sobre los niveles aceptables de AGV, se puede tomar como límite una concentración total de AGV (CH_3COOH) por debajo de 800 mg/l en todo momento para mantener el funcionamiento óptimo del digestor. Entre los alimentos que aportan ácido acético se encuentra, principalmente, el vinagre el cual se suele utilizar como aderezo en el salad bar.

Luego de prolongados períodos de operación del digestor, se observan signos de inhibición con reducción en el rendimiento del metano producido, incremento en la

concentración de AGV, y en casos extremos caída del pH con su consecuente detenimiento de metanogénesis. Esto es una consecuencia de la composición de los residuos alimentarios y, en particular, de su contenido de nitrógeno relativamente alto. Los desechos de alimentos contienen una fracción de proteína rica en nitrógeno que, al ser digerida, se degrada a amoníaco. Para evitar este fenómeno, es necesario que existan cantidades mínimas de oligoelementos que, en algunos casos se encuentran en cantidades suficientes en los residuos de comida (níquel, el molibdeno, el tungsteno y el hierro), y en otros se deberán complementar manualmente.

Mineral	Cantidad [g/m ³]
Selenio (Se)	0,2
Cobalto (Co)	0,35
Níquel (Ni)	1,0
Molibdeno	0,2
Hierro (Fe)	10,0
Tungsteno (W)	0,2

Cuadro 2.1: Cantidades de oligoelementos mínimos para sostener la producción [26]

Estas cantidades suelen estar presentes en la comida que se sirve diariamente, tanto en la comida de la planta Honda como en la mayoría de los comedores y restaurantes más allá de su especialidad. Por ejemplo, el selenio se encuentra en la carne, huevos, pan, pescado y cereales; el cobalto en carnes, hígado, pescado, cereales integrales y arroz; el níquel se halla en el tomate, legumbres, pescados y algunas frutas (principalmente en kiwi, peras y uvas las cuales no suelen ser ofrecidas); el molibdeno se obtiene del arroz, papas, bananas, vegetales de hoja, queso y carne de vaca, pollo y huevos; el hierro se obtiene de la carne, legumbres, verduras de hoja verde, brócoli y espinaca; por último el metal tungsteno es difícil de encontrar aunque se lo puede hallar en pequeñas cantidades en todos los alimentos e incluso en el agua, tanto la envasada para la mesa como la que se obtiene de las canillas en la fábrica.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS, DISEÑO DE PLANTA, FLUJOS, Y RENTABILIDAD

Según lo estudiado, recolectado y analizado, hay múltiples factores que afectan en la decisión de cómo realizar un proyecto de producción de biogás. Más allá de que el proceso biológico en todos los escenarios planteados sea similar, las distintas tecnologías atienden demandas diferentes. Por lo tanto, se analizarán los puntos críticos para tener en cuenta a la hora de diseñar y construir una planta de biogás acorde a la magnitud del proyecto y de la posibilidad de replicarlo en otros lugares para expandir el modelo.

3.1 Planteo de objetivo

Tal como se explicó en el inicio de esta Tesis, el *fundamental* de la misma es demostrar a través de éste ejemplo piloto, que producir biogás para ser utilizado en la cocina de una planta industrial a partir de los desechos de comida y cocina se puede realizar de forma rentable y sustentable; y que es reproducible a nivel macro replicando el modelo en otros espacios tales como parques industriales, restaurantes, cadenas de supermercados, entre otros. Por lo tanto, el objetivo de máxima es conseguir una cantidad de biogás equivalente a 140 m^3 . Estos valores se obtienen de la capacidad instalada en artefactos a gas (cocinas y freidoras) y del uso real que las mismas reciben (cuadro 3.2), que son un promedio diario de 101 m^3 (sin considerar las muestras número 5 y 11 correspondientes a un día sábado); a su vez la relación de poder calorífico entre el gas natural y el biogás es de 1,7 (Gas Natural 8.500 Kcal/m^3 versus Biogás 5.010 Kcal/m^3)



Figura 3.1: Equipo de cocina y freidora

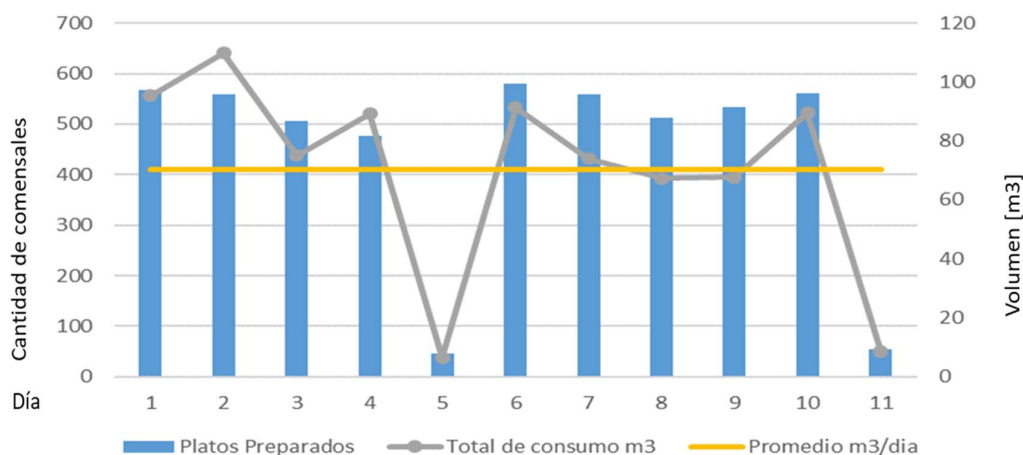


Figura 3.2: Consumo de gas y comensales por día¹³

Por lo tanto, el primer objetivo es poder producir el biogás de forma económica y técnicamente sustentable, el segundo objetivo es lograr una producción de 182 m³/día.

3.2 Producción de biogás

Para poder realizar el cálculo del mismo, se considera la cantidad de kilogramos diarios detallados en el punto 2.1. *Cantidad de residuos orgánicos generados*, donde se determinó que el promedio diario de residuos generados es de 188 kg/día.

Al calcular el volumen de biogás estimado a ser producido en un biodigestor, se debe considerar la materia orgánica total disponible. La composición biomecánica y la composición de los residuos pueden utilizarse para predecir el potencial de generación de metano. Existen gran cantidad de tablas de referencia que varían en su metodología y criterios. La selección hecha se basa en que las tablas que consideran sólo la materia fresca y/o húmeda pueden cometer errores de cálculo. Debiendo utilizarse la que se calcula a partir de la utilización de los sólidos volátiles (SV); que es más precisa incluso en la opción pesimista.

De la tabla generada por L. Zhang en 2011, obtenemos que los restos de comida generan 396 l/kg SV de metano, estando bien digeridos. De los valores de referencia anteriormente citados surge que el porcentaje de SV es del 24%. Por lo tanto, el potencial de producción de biogás es de 17.867 litros de biogás o 17,87 m³, lo que equivale al 20% de la necesidad diaria de lunes a viernes. Es decir, el potencial de producción de biogás

¹³ Fuente propia base datos históricos Honda Motor de Argentina S.A. planta Campana, primer semestre 2013.

generado a raíz de los residuos de comedor y de cocina de planta, cubren sólo el 20% de la necesidad para alimentar la cocina.

3.2.1 Requerimientos para conocer el volumen del biodigestor

Para dimensionar el biodigestor hay 3 factores que se deben tener en cuenta:

- a. Carga del biodigestor
 - b. Temperatura de trabajo
 - c. Tiempo de retención hidráulica.
- a. Carga del biodigestor: La carga se realizará diariamente de lunes a viernes en una única ocasión. El peso promedio por carga de sustrato será de 188 kilogramos que equivalen – según las aproximaciones en cuanto al volumen de las bateas requeridas para su descarte – a 0,62 m³ (densidad promedio de 303 kg/m³).
- b. Temperatura de trabajo: Al momento de definir la temperatura de trabajo, se debe tomar la misma en función de la peor condición térmica ambiental del año con el fin de no subdimensionar el tamaño y poder sostener el tiempo de retención. Las temperaturas mínimas durante el invierno llegan a ser en promedio de 6°C, y son muy pocos los días que la misma está en 0° o por debajo.

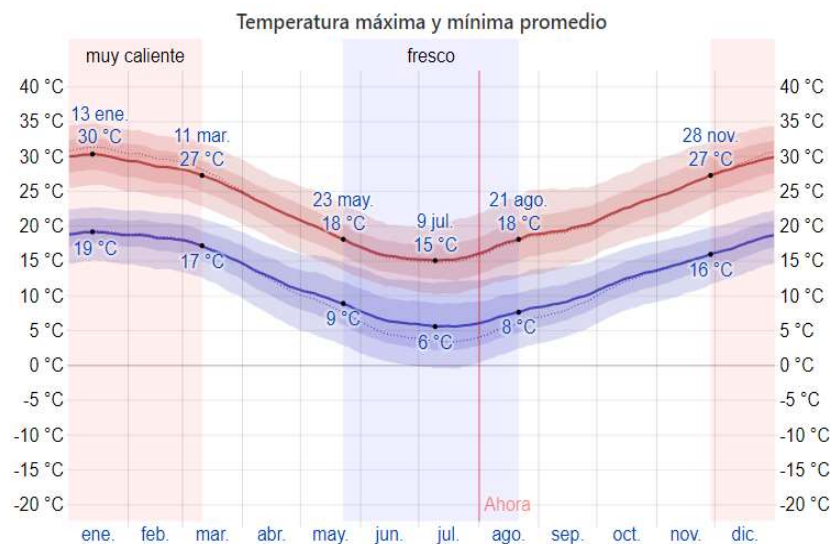


Figura 3.3: Temperaturas promedio en la ciudad de Campana, Buenos Aires¹⁴

¹⁴ <https://es.weatherspark.com/y/28980/Clima-promedio-en-Campana-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Si bien está comprobado empíricamente que a las temperaturas mínimas que se alcanzan durante el invierno se puede producir biogás de todas maneras, a temperaturas de trabajo psicrófila, es necesario un mayor tiempo de retención, para que se produzca la misma generación de biogás en temperaturas mesófilas. Por lo tanto, el estudio de sensibilidad a realizar es el costo de dimensionar un sistema con y sin control de temperatura. Para el estudio de sin control de temperatura, se tomará 6°C como la temperatura de diseño; y para la opción de con control de temperatura se tomará 30°C como temperatura de trabajo, la cual además permitirá reducir las variaciones de temperaturas en los días de calor de verano además de obtener un mayor rendimiento de biogás a igual tiempo de retención.

- c. Tiempo de retención hidráulica: Como se ha explicado anteriormente el tiempo de retención está directamente ligado con la temperatura de trabajo y el rendimiento de biogás buscado.

Considerando que se desea poder obtener el mayor rendimiento de biogás, alcanzando 17,87 m³, el tiempo de retención para cada una de las dos opciones de temperatura de trabajo son: para los 30°C de 30 días, según la zona óptima representada en la figura 1.10, y para los 6°C, según un estudio realizado en digestores expuestos a bajas temperaturas prolongadas [32], es de 441 días (lo cual convierte en inviable para el alcance del proyecto esta opción).

3.2.2 Cálculo de volumen (Vd)

En Base a los cálculos realizados en los puntos anteriores, se puede dimensionar el volumen de biodigestor que se requiere. Adicionalmente, se debe considerar una proporción de 1 kilo de agua por cada kilo de residuo de comida, por lo que se deben agregar 188 kilos de agua, que equivalen a 0,188 m³ a ser alimentados junto a los residuos. Por lo tanto, el volumen del digestor será el volumen de digestato más el volumen de agua por el tiempo de estadía allí dentro.

$$V_{da} = V_{digestato\ activo} = (V_{carga\ diaria} + V_{diario\ agua}) \times TRH$$

- Para 30 días de TRH a 30°C

$$V_{da} = (0,62 + 0,19) \frac{m^3}{dia} \times 30\ dia = 24,69\ m^3$$

→ El Vd se redondea a 27 m³ con el fin de darle un 10% de más de tolerancia.

- Para 441 días de TRH a 6°C

$$V_{da} = (0,62 + 0,19) \frac{m^3}{dia} \times 441\ dia = 357,4\ m^3$$

→ Se descarta esta opción dado que, por el volumen necesario, se requiere de un tamaño de planta de gran envergadura, control, automatización y requerimiento de personal; lo cual queda fuera del alcance de este estudio y de la posibilidad económica y de espacio de cualquier otra PyMEs y asociaciones de empresas y restaurants.

Cabe destacar que al contemplarse un TRH a 30 días utilizando consecuentemente calefacción, hace que este proyecto pueda ser considerado y ampliado a zonas más frías y de gran industrialización como Córdoba capital (promedio de mínima 5°C en Julio) o incluso en la Base Naval Puerto Belgrano, próxima a la ciudad de Punta Alta (promedio de mínima de 4°C), con gran cantidad de personal.

3.3 Selección del biodigestor

Para poder seleccionar el tipo de biodigestor más adecuado para las necesidades, know-how, y condiciones se elabora una matriz de decisión con factores de relevancia para la ubicación que están ponderados de manera tal que permitirán de forma numérica optar por la mejor alternativa de una manera holística. Ésta está diagramada para las condiciones propias del caso piloto, deberá ser revisada previamente para ser adecuada a cada proyecto en particular.

Características	Peso	ALTERNATIVAS									
		Batch		Continuo Bolsa		Continuo Hormigón		Semicontinuo Chino		Semicontinuo Hindú	
		Puntaje	PP	Puntaje	PP	Puntaje	PP	Puntaje	PP	Puntaje	PP
Diseño cumple con requerimientos de tamaño y producción		Si		Si		Si		Si		Si	
Necesidad de control / gestión de operación	9	1	9	5	45	5	45	8	72	8	72
Facilidad de expansión	6	8	48	4	24	6	36	5	30	5	30
Funcionamiento ante caída de demanda	7	10	70	6	42	5	35	6	42	6	42
Demanda de agregado de agua	8	8	64	6	48	6	48	6	48	6	48
Seguridad del digestor e instalaciones	10	9	90	3	30	9	90	9	90	9	90
Fiabilidad de funcionamiento	8	5	40	6	48	6	48	8	64	8	64
Control de temperatura	8	10	80	8	64	8	64	8	64	8	64
Demanda de espacio (superficie)	5	4	20	6	30	6	30	7	35	7	35
Facilidad de construcción del digestor	6	8	48	10	60	8	48	6	36	4	24
Facilidad de construcción de gasómetro	4	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Facilidad de mantenimiento del digestor	7	8	56	4	28	8	56	7	49	4	28
Facilidad de mantenimiento del gasómetro	7	8	56	8	56	8	56	8	56	8	56
Durabilidad (vida útil)	7	8	56	4	28	8	56	8	56	6	42
Costos de construcción de biodigestor	7	6	42	9	63	7	49	8	56	7	49
Rendimiento de biogénesis	9	7	63	6	54	7	63	8	72	8	72
Presión de gas	7	7	49	4	28	6	42	7	49	9	63
Total		819		676		794		847		807	
Orden de Selección		2		5		4		1		3	

Cuadro 3.1: Análisis para selección de tipo de biodigestor

Base el análisis realizado, se decide continuar con el dimensionamiento de un biodigestor semi-continuo del tipo Chino y que, además, tendrá control de temperatura.

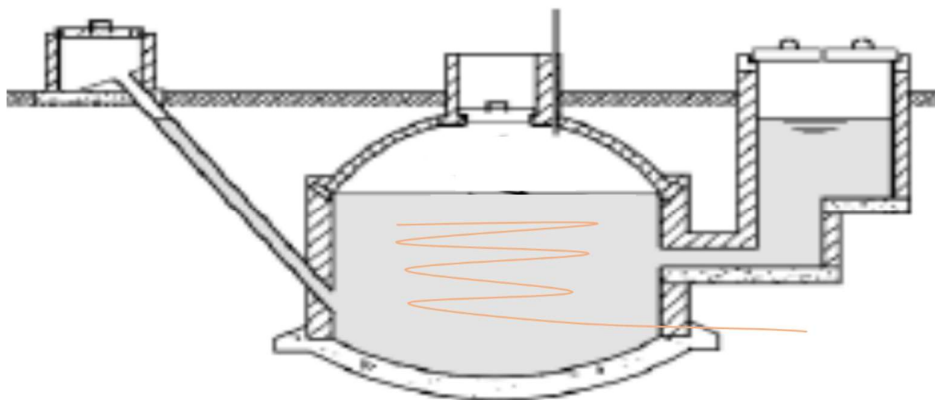


Figura 3.4: Esquema modelo de biodigestor con calefacción a utilizar

3.4 Dimensionamiento del biodigestor

A partir del cálculo de volumen del digestato activo (V_{da}) y del ya calculado volumen del biodigestor (V_d), es posible definir sus dimensiones. Para ello, se dividirá al mismo en 3 secciones según la figura de abajo figura 3.5 tal como se detalla y calcula en el libro “*Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*” de Jose A. Guardado Chacón del 2007.

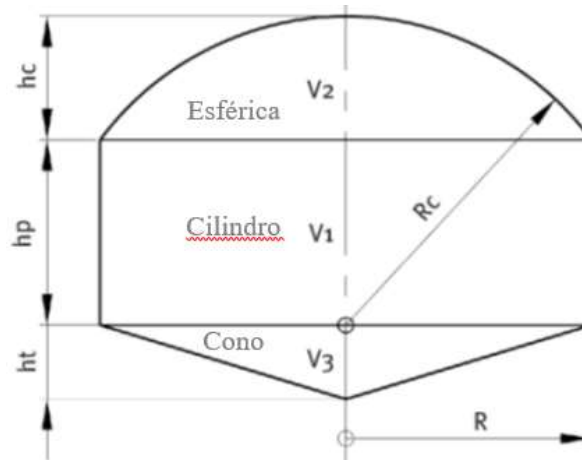


Figura 3.5: Secciones para el diseño de un biodigestor [33]

$$\text{Radio básico} = R = \sqrt[3]{\frac{V_{da}}{k}} \quad k = \text{Constante de diseño equivalente a } \pi/1,121$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{da}}{k}} = (27 \text{ m}^3 / 2,802)^{1/3} = 2,128 \text{ m}$$

→ Este valor, como los siguientes cálculos se redondean por temas de construcción, tomando en este caso a $R = 2,150 \text{ m}$.

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{5}{4} R = 2,69 \text{ m} & D &= \frac{8}{4} R = 4,3 \text{ m} & h_c &= \frac{2}{4} R = 1,00 \text{ m} \\ h_p &= \frac{3}{4} R = 1,65 \text{ m} & h_t &= \frac{0,15}{4} R = 0,08 \text{ m} \end{aligned}$$

$$V_1 = R^2 h_p \pi = 23,96 \text{ m}^3 \quad V_3 = R^2 \pi \frac{h_t}{3} = 0,38 \text{ m}^3 \quad V_2 = h_c^3 \pi \frac{R_c}{3} = 2,81 \text{ m}^3$$

De acuerdo a las medidas calculadas se obtiene un volumen final del biodigestor (V_{DF}) de:

$$V_{DF} = V_1 + V_2 + V_3 = 27,17 \text{ m}^3 \text{ (10\% de buffer)}$$

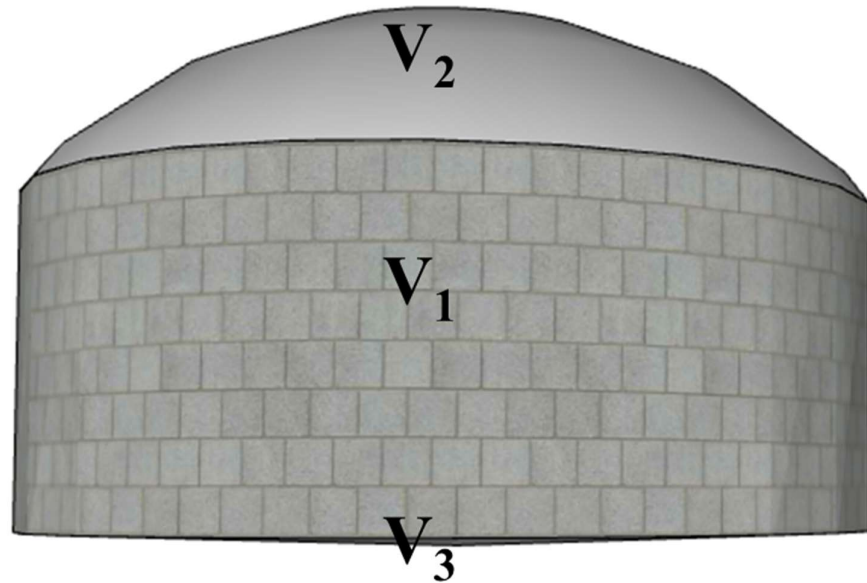


Figura 3.6: Tanque biodigestor cúpula de hormigón, pared cilíndrica de ladrillo de hormigón y piso cónico de hormigón

3.5 Instalaciones complementarias

3.5.1 Cámara de carga

La cámara de carga permite almacenar el sustrato antes de que ingrese al biodigestor. Su dimensionamiento se hace considerando que tenga suficiente volumen para conservar los residuos por un día en caso de que haya algún inconveniente en el funcionamiento de la planta.

$$V_{\text{carga}} = V_{\text{carga diaria}} + V_{\text{diario agua}} = 0,62 \text{ m}^3 + 0,19 \text{ m}^3 = 0,81 \text{ m}^3$$

Este volumen sin embargo es algo deseable. De replicarse en lugares de escasa superficie puede ser sólo una entrada de $0,2 \text{ m}^3$, la cual permitirá realizar la alimentación en 4 etapas agregando el líquido y los residuos en partes proporcionales.

La cámara a considerar, cuenta con dos compartimentos y accesos independientes: uno para el ingreso de los residuos de comida y otro para el agua, por lo que se debe considerar ésta división en el dimensionamiento. En la parte inferior se coloca una válvula tipo guillotina entre bridas que facilita la mezcla previa entre los sustratos antes del ingreso al biodigestor, a través de la cañería de alimentación.

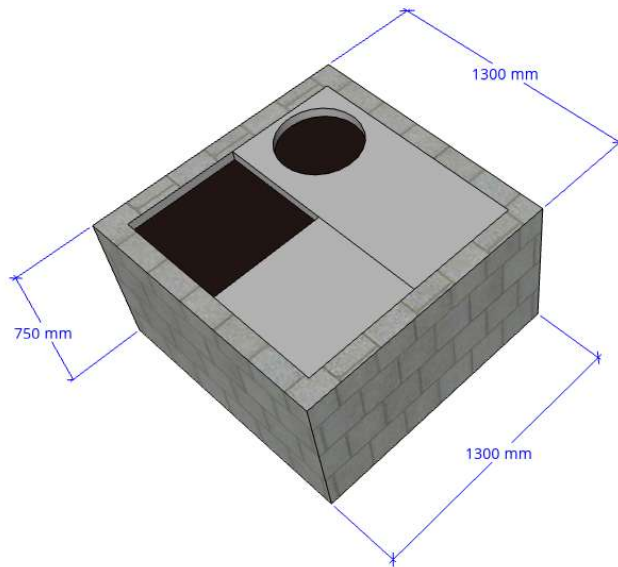


Figura 3.7: Diseño de cámara de carga con dos bocas de alimentación

3.5.2 Cámara de compensación

Esta cámara también se la llama cámara de gas, ya que se la dimensiona como para poder almacenar el biogás. Sin embargo, por la presión del biogás generado, éste se ubica en la cúpula del biodigestor y desplaza a la masa fermentada hacia la cámara de compensación, permitiendo que la misma sea retirada.

Siendo que la presión del biogás estará definida por la diferencia de altura entre el digestato en el biodigestor y el tanque de compensación, se debe generar mínimamente una diferencia de 180 milímetros (sin considerar las pérdidas de presión en cañería) para poder proveer el biogás a los equipos de cocina – dado que su presión de funcionamiento es de 180 mm/Col H_2O –. Por otro lado, la diferencia de nivel máximo que se suele utilizar es de hasta 1.000 mm, dado que es el límite de seguridad de resistencia de los ladrillos y de la cúpula de hormigón con el que se construye el biodigestor.

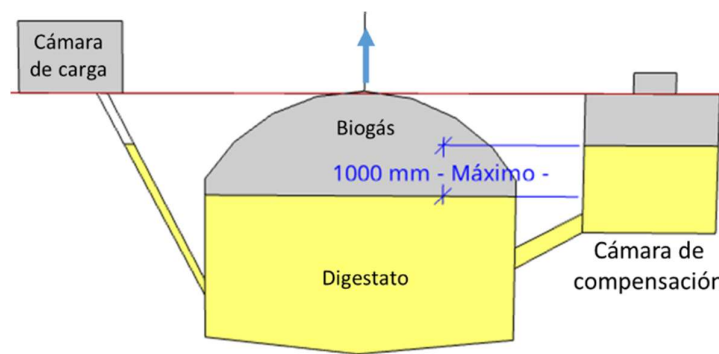


Figura 3.8: Esquema de desplazamiento de digestato generando diferencias de altura entre cámaras y biodigestor producidas por la presión del biogás

El dimensionamiento del tanque de compensación depende de la generación y el consumo de biogás diario. Si el tanque es insuficientemente grande, parte del biogás se perderá. Si el biodigestor es demasiado grande, los costos de construcción serán innecesariamente más altos, pero la operación de la planta será más conveniente. Por lo tanto, deberá ser dimensionado lo suficientemente grande para todo el gas producido entre consumos; además deberá poder compensar fluctuaciones diarias en la producción.

El consumo de biogás se realiza principalmente de lunes a viernes, la preparación suele comenzar a las 11:00 hs de la mañana hasta aproximadamente las 13:30 hs. A las 14:30 hs se inicia la limpieza y la segregación de los residuos, pudiendo entonces ser alimentados al biodigestor a las 15:00 hs. Dado que los fines de semana el consumo es bajo, el tiempo que se estará generando biogás entre los consumos será casi de 3 días. Además, durante ese período no hay personal que pueda hacer el retiro del digerido, por lo que se deberá inevitablemente considerar ésta acumulación. Por lo tanto, se tomará el volumen generado diario más el adicional durante esos 2 días sin alimentación.

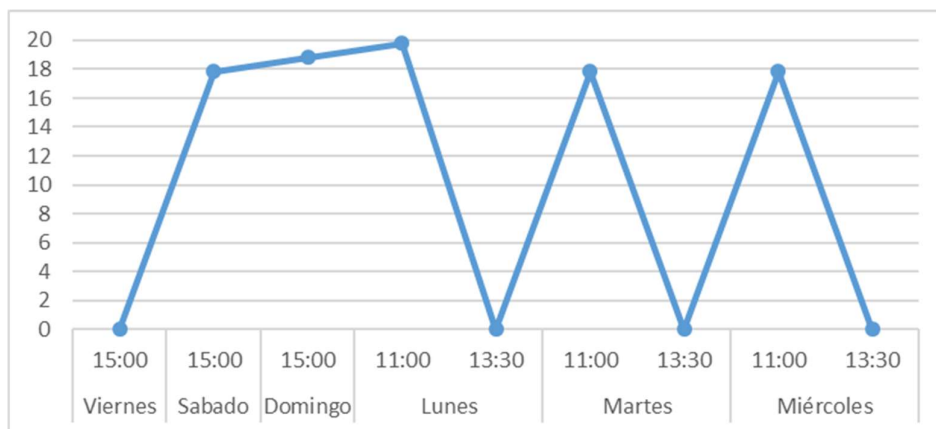


Figura 3.9: Evolución del volumen de biogás dentro del digestor¹⁵

Esta situación es particular de este proyecto, el cual en casos de por ejemplo parques industriales puede evitarse realizando retiro de digerido y liberando volumen, almacenando el gas en tanques o consumirlo dado que es más probable que alguna empresa del parque consuma gas incluso durante el fin de semana.

El volumen de compensación necesario es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{compensación}} &= V_{\text{dd}} = V_{\text{biogas}} \times \text{tiempo entre consumos} = \\
 &= 17,86 \text{ m}^3 + 0,94 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 2 \text{ día} \sim 20 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

¹⁵ Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el diseño necesario del tanque de reserva se calcula a continuación:

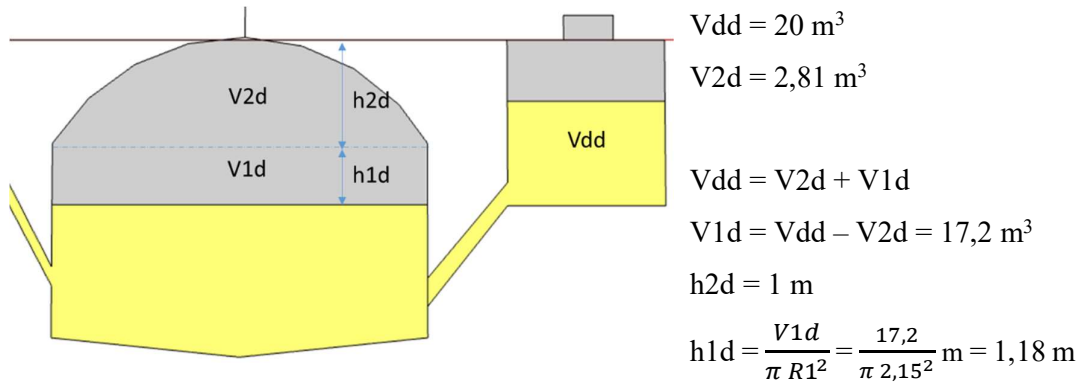


Figura 3.10: Secciones para diseño de la cámara de compensación

Referencias:

V_{dd} = Volumen total de digestato desplazado

V_{2d} = Volumen de digestato de cúpula desplazado

V_{1d} = Volumen de digestato de cilindro desplazado

R_1 = Radio de cilindro

h_{2d} = Altura de columna desplazada en V_2

h_{1d} = Altura de columna desplazada en V_1

Como resultado de que h_{1d} más h_{2d} (total 2,18 m) es mayor a la altura máxima (hm) de 1 metro, el diseño de la cámara de compensación deberá contener el digestato desplazado (20 m^3) entre las cotas de 2,18 m y 1,18 metros de profundidad. Para poder retirar el digerido y, además, acceder para inspección y mantenimiento, deberá haber una cámara de acceso que llegue a la superficie.

Por temas arquitectónicos, la cámara será cuadrada y medirá 1 metro de altura, a su vez la cámara de acceso completará la distancia de 1,18 m hasta la superficie. Para el cálculo de diseño se calculan los lados de la cámara de compensación:

$$L_{cc} = \sqrt[2]{\frac{V_{compensacion}}{hm}} = \sqrt[2]{\frac{20 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}} = 4,5 \text{ m}$$

La cámara de compensación tendrá por encima una pequeña cámara de acceso rectangular en la cual estará el tubo de rebalse por dónde saldrá el digerido para ser colectado.

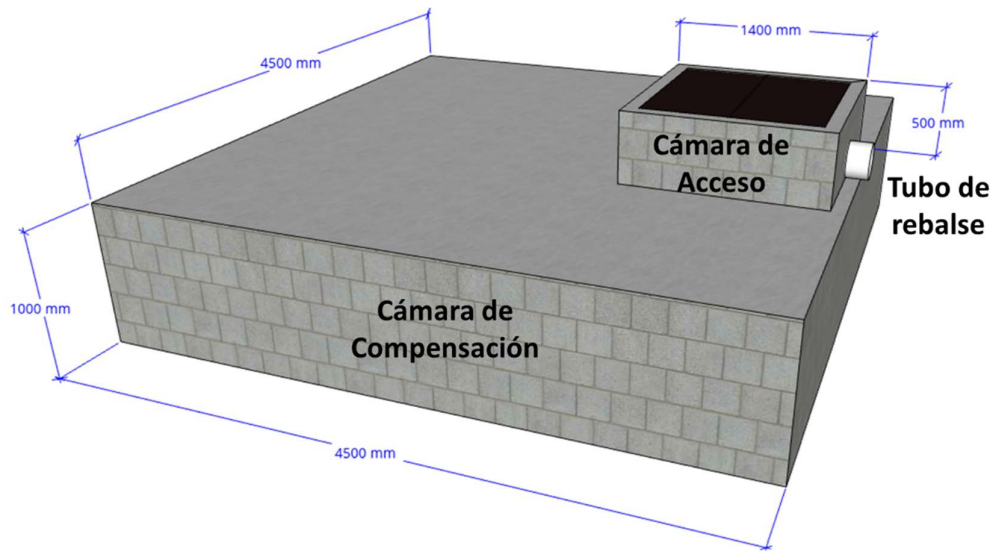


Figura 3.11: Diseño de cámara de compensación

El digestato pasará a la cámara de compensación, desde el biodigestor, a través de un ducto de perfil rectangular hecho de hormigón con un área de 3.000 cm^2 ($100 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$) y de un largo de 50 cm

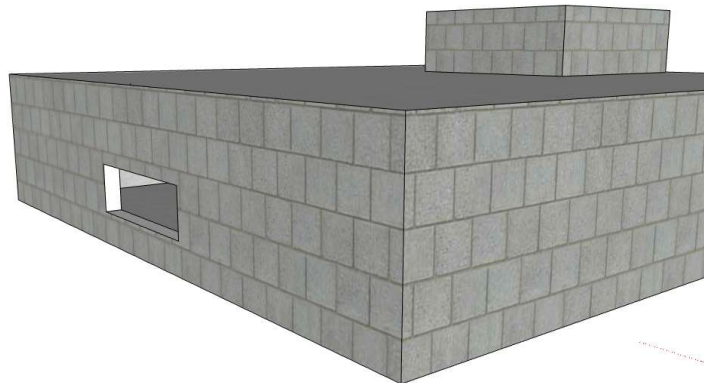


Figura 3.12: Abertura de entrada a tanque de compensación

3.5.3 Sistema de agitación

Debido al volumen final que posee el tanque es aconsejable que se agregue un sistema de agitación para asegurar la correcta mezcla y maximizar así el rendimiento del biogás a 437 l/kg SV (10 % más que sin mezcla), lo cual permitiría llegar a una producción de $19,71 \text{ m}^3/\text{día}$. Por otro lado, evita la formación de espumas y los sólidos de sedimentación.

Para determinar la potencia necesaria se debe considerar la velocidad de agitación, la cual en base a distintas bibliografías se determina en 120 rpm , por estar dentro del rango

más recomendado. Siendo así se requiere mínimamente un motor vertical de 6,8 kW con hélice de 6 palas de 1 metro de diámetro (Remitirse al Apéndice I dónde se realiza el cálculo y conclusiones).

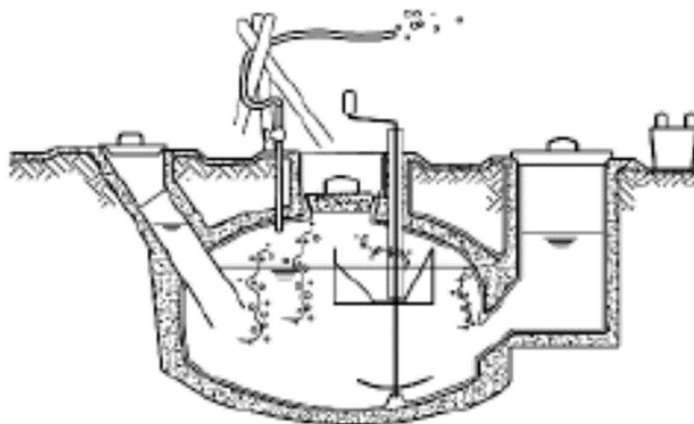


Figura 3.13: Esquema del biodigestor con mezclador

3.5.4 Sistema de calefacción

A pesar de que el biodigestor seleccionado por diseño está enterrado, y la tierra tenga la capacidad de absorber radiación solar transformándola en energía calórica, la pérdida de calor del digestato en épocas de invierno afecta la metanogénesis al ubicarse por debajo de la temperatura de diseño, incluso por debajo de la temperatura mesofílica.

Bajo la influencia alternada de los balances de radiación diurna (positiva) y nocturna (negativa), el suelo presenta una variación diaria de temperatura, cuya amplitud suele ser mayor que la temperatura del aire. Existe también una variación de la marcha anual de la temperatura del suelo, que se debe a los procesos de calentamiento y enfriamiento que se produce a lo largo de las estaciones del año [34].

El sistema de calefacción será, alineado a los objetivos de esta tesis de maximizar la generación de energía sustentable, a través de la creación de energía del tipo solar con acumulación en un banco de baterías para poder sostener la calefacción en los momentos que no hay incidencia solar. Para el calentamiento del biodigestor se utilizarán resistencias eléctricas, cuya función será mantener la temperatura en un rango cercano a las mesofílicas, puntualmente a la temperatura objetivo de trabajo de 30°C.

En cuanto al dimensionamiento de las resistencias se considera una masa total de 7.520 kg. entre los residuos más el agua agregada y el ingreso diario de 376 kg. El sistema de calefacción requerido es de 2,7 Kw, utilizando resistencias eléctricas planas; que son

alimentadas por un sistema de 3 paneles solares, un inversor y banco de baterías. Éste último es como acumulador para proveer energía a las resistencias, principalmente durante la noche. Los análisis y cálculos se encuentran en el Apéndice II.

3.5.5 Tuberías de salida de gas y accesorios

La salida del biogás se realiza a través de cañerías hacia la cocina dónde se une al sistema de alimentación de la red. Para el diseño de la cañería se debe considerar la resistencia de los materiales del biodigestor y las presiones de trabajo de la cocina. Uno de los puntos desfavorables de un biodigestor de domo fijo es que su presión es variable pudiendo llegar incluso a ser casi nula; mientras que los elementos de cocina requieren un rango de trabajo estable y acotado que va de 180 – 210 mm c.d.a.

A fin de sostener la presión del biogás en la cocina dentro del rango requerido por los artefactos, se coloca una válvula de reducción de presión. También a la salida del biodigestor, se realiza la instalación del dispositivo de desulfuración y el de deshumidificación para retener la humedad del biogás. El conjunto de sistemas se encuentra inmediatamente a la salida, pero al exterior y no enterrado para evitar condensación y facilitar su mantenimiento y operación. A su vez, se dispone de un manómetro para poder tener control de la presión dentro del biodigestor.

3.5.6 Tubería de entrada del sustrato

Para el diseño de las tuberías se busca utilizar productos estándares los cuales faciliten su construcción y mantenimiento posterior. Se opta por cañerías de 160 mm de diámetro para permitir el paso de los residuos de comida hacia el digestor, los acoples serán curvas con un ángulo de 45° para que sean estándares y a su vez permitan la caída e ingreso del sustrato por gravedad (Ver Apéndice III). El largo de las cañerías depende de la ubicación relativa entre el tanque de alimentación, que utilizando codos de 45° da un total de 2,82 metros.

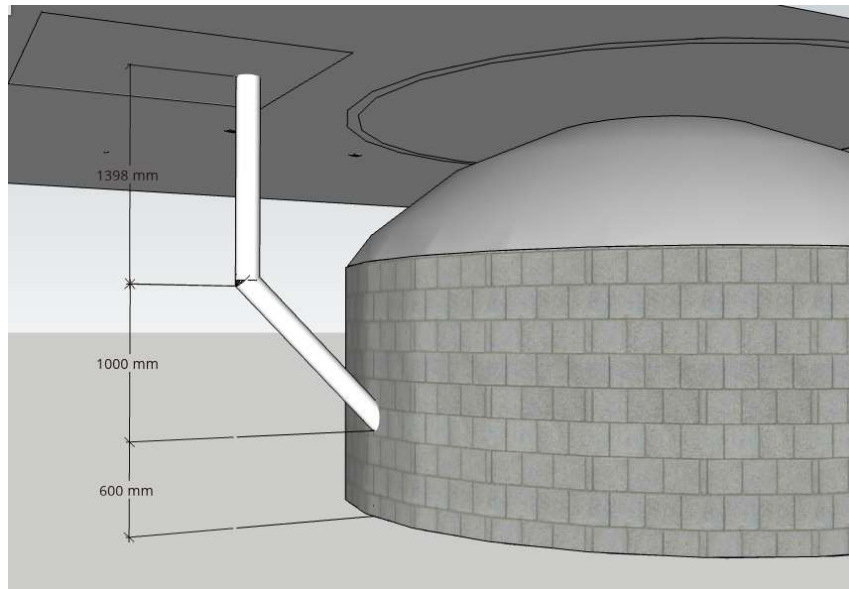


Figura 3.14: Cañería de alimentación

3.6 Diseño de la planta de biogás

La planta de biogás será la del modelo Chino, por lo que cuenta con una cámara de carga en la cual se dispondrán diariamente los 188 kg que en promedio se generan; un biodigestor de cúpula fija en el cual se generarán 17 m³ por día de biogás; y una cámara de compensación en la cual se concentrará el digerido desplazado por el biodigestor.

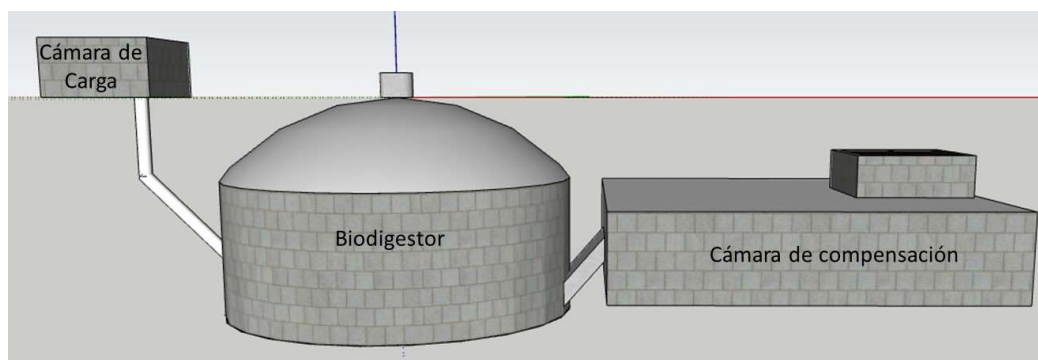


Figura 3.15: Planta de biogás – Cámaras y biodigestor

Debido a la diferencia de alturas del techo entre el biodigestor y la cámara de compensación, se opta por realizar un desnivel en el terreno. Es decir, en lugar de incrementar el tamaño de la cámara o rellenar y complejizar la extracción del digerido, luego del movimiento de suelo y construida la cámara, se coloca solamente una capa de tierra base con pasto. En la figura 3.16 se puede observar la solución definida.

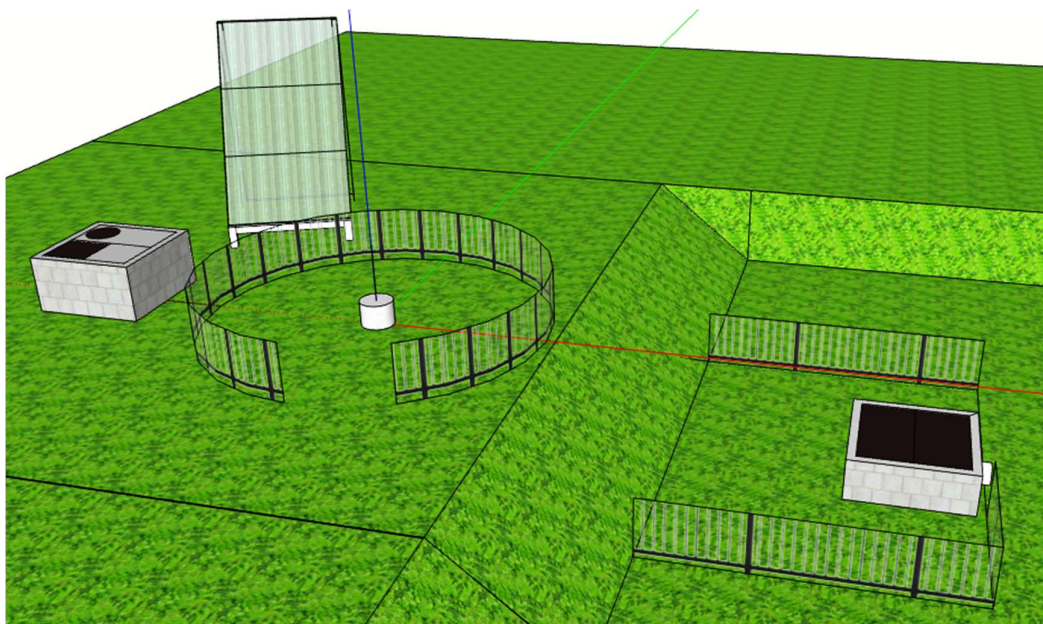


Figura 3.16: Vista desde la superficie de la planta de biogás

3.7 Ubicación de la planta de biogás

La superficie total que ocupa la planta, tanto por arriba como por debajo de la superficie, es de $71,5 \text{ m}^2$ ($6,38 \text{ m} \times 11,2 \text{ m}$) tal como se puede apreciar en la figura 3.17.

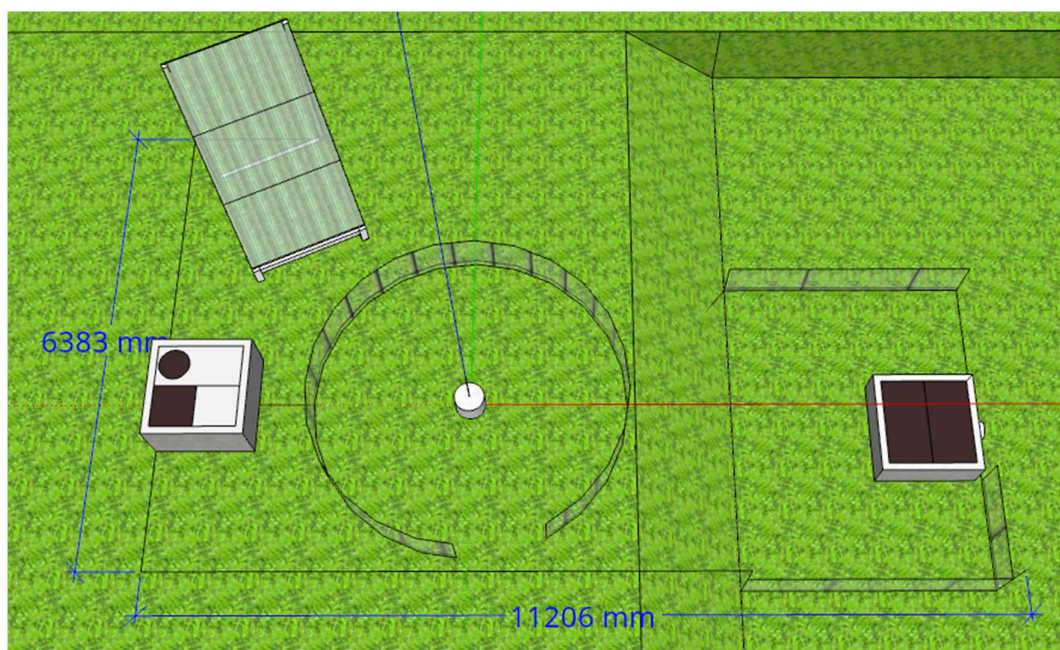


Figura 3.17: Superficie de ocupación de la Planta de Biogás

Dada la naturaleza de la instalación, debe considerarse una locación en la cual se pueda asegurar poder sostener el flujo de alimentación y generación de biogás con la mínima interferencia con los procesos vigentes y, sobre todo, sin perjudicar a posibles futuras ampliaciones de las operaciones. Por lo tanto, la ubicación se realiza ponderando los siguientes requerimientos:

- a. Cercanía con el punto de consumo (cocina)
- b. Cercanía con el punto de generación de residuos sólidos (comedor y cocina)
- c. Cercanía con el punto de generación de agua
- d. Área libre ante futuras ampliaciones de planta de biogás
- e. Área libre ante posible ampliación de capacidad de fábrica
- f. Área con fácil acceso ante emergencias por fugas o incendios



Figura 3.18: Nave industrial

En este caso el cumplimiento de las condiciones anteriores deja sólo una zona posible (dentro del círculo verde en la figura 3.18) con tres opciones de ubicación de la planta de biogás:

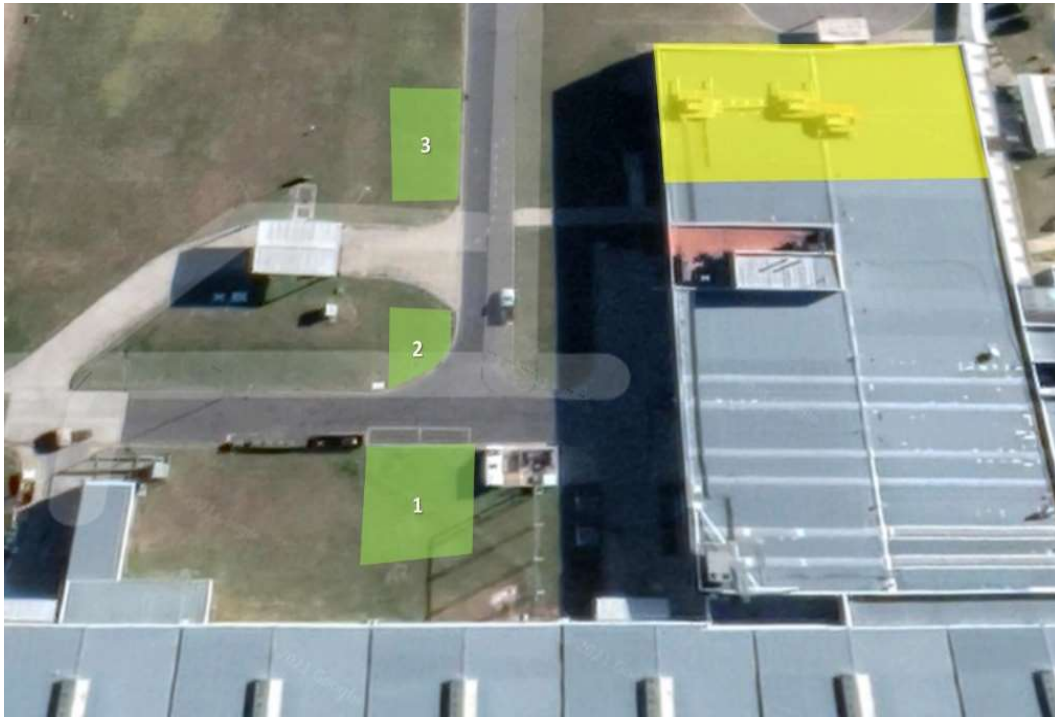


Figura 3.19: Locaciones alternativas para la planta

Realizando un análisis de decisión de las 3 opciones, se concluye que la mejor es la número 3. La opción número 1 no es posible, ya que por la zona no circulan las cañerías de abastecimiento de combustible a planta, impidiendo por seguridad el trabajo e instalación de la planta. En cuanto a la opción 2 y 3, no hay mayores diferencias; sin embargo, una de ellas consiste en que la opción 2 queda con menor incidencia solar durante la tarde al recibir sombra de una construcción contigua; cosa que no ocurre en el caso de la opción 3, mientras que ambas poseen la misma sombra por la mañana. La otra diferencia es que la opción 2 requiere mayor movimiento de suelo para nivelarlo respecto a la opción 3, que no posee prácticamente desnivel (facilitando la construcción y reduciendo sus costos).

Características		Peso	ALTERNATIVAS					
			1		2		3	
			Puntaje	PP	Puntaje	PP	Puntaje	PP
Dispone de area (71,5m2)			Si		Si		Si	
Terrono apto para instalar biodigestor bajo tierra			No Cañerías de combustible		Si		Si	
Cercanía a punto de generación - cocina	8		0	9	72	9	72	
Cercanía a punto de generación - Agua	8		0	6	48	5	40	
Cercanía a punto de consumo	10		0	9	90	9	90	
Incidencia solar	10		0	6	60	8	80	
Movimiento de suelo - nivelación de terreno	6		0	5	30	7	42	
Acceso a mantenimiento	6		0	8	48	8	48	
Impacto visual de la instalación	7		0	7	49	6	42	
Disponibilidad actual de sistema de incendio	8		0	9	72	9	72	
		0		469		486		
Orden de Selección		N/A		2		1		

Cuadro 3.2: Análisis de decisión para ubicación de la planta de biogás



Figura 3.20: Ubicación y orientación de planta de biogás

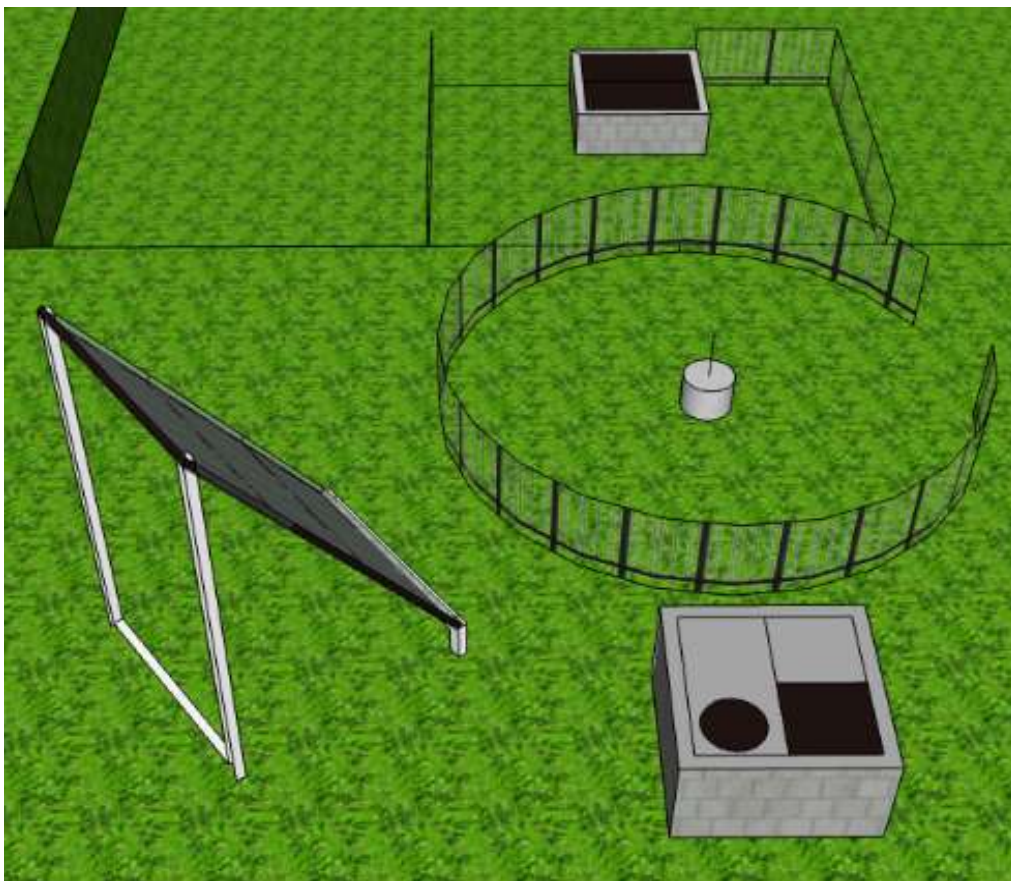


Figura 3.21: Orientación del panel solar base ubicación de planta de biogás

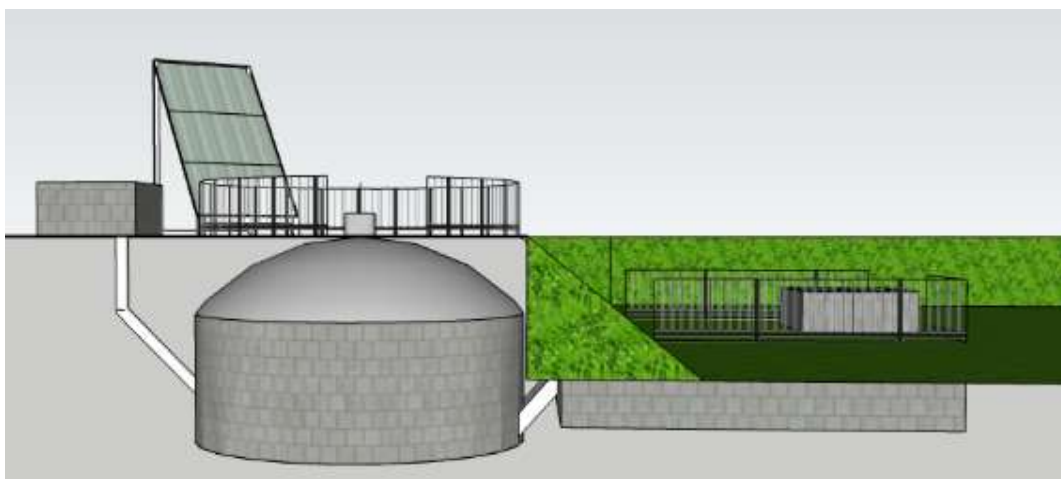


Figura 3.22: Planta de biogás y posición del conjunto de paneles solares

3.8 Factores de seguridad

Como en toda planta hay ciertos aspectos relacionados con la seguridad e inherentes al volumen a producir, que no pueden dejarse de lado. A mayor escala, mayores riesgos potenciales y mayores deben ser las exigencias de seguridad.

Al trabajar con biogás que es inflamable, tóxico y puede contener sustancias altamente corrosivas, su manejo incorrecto puede ocasionar riesgo de incendios y quemaduras y su aspiración directa puede provocar la muerte. A su vez, también existen superficies calientes, riesgo de shock eléctrico, posibilidad de accidentes, atrapamiento y caídas, superficies resbaladizas y sustancias peligrosas. Por otro lado, es importante realizar un manejo adecuado del digerido, ya que puede liberar tóxicos sobre el suelo pudiendo contaminar suelos y napas freáticas. También se deben considerar los aspectos ergonómicos al manipular los residuos y el digerido.

Actualmente, en la Argentina no existe normativa de seguridad ni regulaciones que se apliquen a la instalación de plantas de biogás o biodigestores¹⁶, en consecuencia la seguridad de dichos proyectos es enteramente responsabilidad de los usuarios y constructores. Sin embargo, se pueden aplicar las normativas de homologación de artefactos y equipos de las Normas argentinas de gas (NAG) del Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS), así como legislaciones de otros países que sí las tienen, como por ejemplo Alemania o España.

3.9 Mantenimiento y controles diarios

El mantenimiento de una planta de biogás y los controles que requiera están estrechamente relacionados con su tipo, con el equipamiento, con la calidad de los materiales de construcción, así como también con el tipo y cantidad de material orgánico que recibe diariamente.

Como medida base, dentro de los controles periódicos hay que verificar que no existan roturas ni fisuras en el biodigestor que conduzcan a pérdidas de líquidos o gases. Al biodigestor se lo proyecta con hormigón y cañerías de PVC y hierro, todos materiales admisibles para el manejo de los residuos de comida y gases, por lo que su vida útil podría alcanzar los 20 años.

A su vez, en cada parada anual de la fábrica, (en la cual el suministro de residuos de comida y restos de cocina se reduce drásticamente), se realizará el mantenimiento de la planta de biogás, realizando su vaciamiento para limpieza, inspección de fugas, cañerías y sistema de calefacción.

Respecto a los controles básicos que deben realizar diariamente y permiten tener

¹⁶ N. del A: El Decreto reglamentario 109/2007 y la Resolución SE 1296/2008 definió condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las plantas de elaboración, almacenamiento y mezcla de biocombustibles se concentra en la habilitación de plantas tanto de biodiesel como de bioetanol.

un seguimiento del biodigestor, se encuentran: temperatura, pH, cantidad de carga y su frecuencia, cantidad de biogás producido. Con esta información mínima se puede realizar una gestión de la planta de biogás y medir la eficiencia que tiene, así como también prevenir problemas que pudieran estar relacionados con fallas en los equipos o cambios en la alimentación.

La revisión de los sistemas de seguridad, filtros y venteo también se realizarán mensualmente para evitar riesgos por sobrepresión, condensación de agua, emisión de sulfuro al ambiente, o incluso pérdida de biogás. Para ello, se debe revisar que las válvulas de seguridad tengan al menos el nivel mínimo de agua, ya que de no ser así se producirá pérdida de biogás al medioambiente.

3.10 Estimación de la generación de biofertilizante

El subproducto final, que es el digerido, se puede utilizar como biofertilizante ya que mejora el rendimiento de los cultivos y por lo tanto podría ser vendido obteniendo un rédito económico de él; además del beneficio de favorecer la economía circular y que se reduzcan los aditivos sintéticos. Una aproximación al valor del digestato como producto comercializable surge de su análisis

Los principales macronutrientes que contienen son: Nitrógeno, Fósforo y Potasio, y el resto de los presentes en su composición (micronutrientes y traza); además de la materia orgánica que contiene el efluente y de la cual carecen por completo los fertilizantes sintéticos.

Calcular la cantidad de biofertilizante que se produce en un biodigestor y su composición físico-química está directamente ligada al sustrato que se utilice como carga y a la eficiencia del biodigestor. Desde el punto de vista del volumen, sale entre un 90% y 95% de lo que ingresó al biodigestor. Siendo que se espera que el proceso de biodigestión se desarrolle de modo eficiente, es posible encontrar una gran reducción en el porcentaje de sólidos, que puede llegar a ser un 50% inferior a la de entrada; es decir que el producto resultante sería prácticamente un líquido denso, similar a un lodo o fango.

El volumen diario de efluentes generados que pueden ser vendidos como biofertilizante se calcula como:

$$\begin{aligned} V_{bio} &= V_{biofertilizante} = (V_{carga\ diaria} + V_{diario\ agua}) \times \eta = \\ &= \left(0,62 \frac{m^3}{d} + 0,19 \frac{m^3}{d} \right) * 0,9 = 0,72 \frac{m^3}{d} \end{aligned}$$

Este sub-producto de la biodigestión anaeróbica puede separarse en dos partes. La parte líquida, conocida como Biol, que representa el mayor volumen y la parte sólida, conocida como Biosol. El Biol o Fertilizante Líquido es aproximadamente el 90% del material que ingresa al biodigestor y puede usarse como fertilizante foliar: o directamente sobre la tierra; o como pretratamiento sobre las semillas. El Biosol o Fertilizante Sólido es el resultado de separar la parte sólida del fango producto de la fermentación anaeróbica. Puede contener entre un 15% y un 20% de humedad, que es en sí misma BIOL residual. El biosol es un fertilizante sólido similar al compost y puede emplearse sólo o en conjunto con compost, humus o con fertilizantes químicos.

Tanto el Biosol como el Biol para poder ser comercializados, deben cumplir con normativas regulatorias definidas por la Resolución 1/2019, emitida en forma conjunta entre el Ministerio de Medio Ambiente y el SENASA. Por lo tanto, para poder inscribir en el SENASA al Biosol y Biol como enmienda orgánica¹⁷, se deberán hacer los estudios de laboratorio correspondientes y enviar los mismos para su aprobación ante el organismo.

La separación entre el biosol y el biol se realiza a la salida de la cámara de compensación utilizando un tamiz, que permite depositar el Biol en recipientes aptos para su destino, y mantener el biosol en el tamiz para poder ser traspasado a otras bolsas de hasta 10kg.

En cuanto al Biol, se lo puede reutilizar haciéndolo ingresar nuevamente al biodigestor y reduciendo la cantidad de agua destilada proveniente del descarte de la producción de la fábrica; la cual se debe agregar al biodigestor. Por otro lado, la otra opción es envasarlo en un bidón apilable de 10 litros, cuyo costo es de 4,94 u\$s + IVA, a una tasa de cambio de 103 AR\$/u\$s, y venderlo a organizaciones de cultivo a un precio comercial de 19,4 u\$s la botella (Tasa de cambio de 103 AR\$/u\$s) más IVA. El precio considera una menor calidad de nutrientes que el mercado por lo que se ofrece a un valor 50% menor, estimando que se generarán 150 litros día, lo que equivalen a 15 bidones/día.

¹⁷ Según la Ley N° 20.466 de Registro de fertilizantes y enmiendas, una enmienda orgánica es una "sustancia o mezcla de sustancias de carácter mineral u orgánico, que incorporada al suelo modifique favorablemente sus características físico químicas, sin tener en cuenta su valor como fertilizante."



Figura 3.23: Bidón de 10 litros para recolectar el biol

Por otro lado, el Biosol, que se estima serán unos 80 kg/día que equivalen a unos 200 l/día (8 bolsas de 10 kg cada una por día), podrá comercializarse a viveros o establecimientos de cultivo intensivo a un valor estimado de 0,69 u\$s + IVA por bolsa (Tasa de cambio 103 AR\$/u\$s), absorbiendo de esta forma el costo de su retiro desde la planta. Las bolsas en la cual será vendido, son las que se utilizan para tierra con 100 micrones de espesor, que poseen un costo de 0,20 u\$s + IVA por bolsa (Tasa de cambio 102 AR\$/u\$s).



Figura 3.24: Bolsas para almacenar y comercializar el biosol

3.11 Puesta en marcha

Finalizada la construcción civil de la planta de biogás, se debe realizar una cura de la misma. Para ello se debe llenar el volumen del biodigestor y de la cámara de compensación con agua y dejarla reposar durante 10 días. Para el llenado se utilizará el agua de red de incendio de la planta facilitando el rápido llenado y asegurando que esté libre de material orgánico. Finalizado el curado, el agua será bombeada al desagüe pluvial permitiendo así que vuelva a ser absorbida por la tierra minimizando su contaminación.

La puesta en marcha consiste principalmente en 2 pasos, que son: la inoculación y la aclimatación. En la primera, se agrega al biodigestor un material que contenga comunidades de microorganismos anaeróbicos (inóculo). Éstos se adaptan a las condiciones de operación en un tiempo aproximado de 25 – 30 días reduciendo a la mitad el comienzo de la generación de biogás, hasta su estabilización. En cuanto a la aclimatación, éste es el proceso en el cual los microorganismos se adaptan a degradar el

sustrato alimentado diariamente, por lo tanto se debe hacer de manera progresiva. Este proceso se realiza durante las primeras 3 semanas en las cuales, además, se deben tomar mediciones diarias de los parámetros dentro del biodigestor para ajustarlas a las características de la materia prima.

El proceso de llenado del biodigestor se realiza de manera escalonada, aumentando el porcentaje de carga diaria hasta alcanzar el volumen de diseño - esta suba gradual a lo largo de los días, se toma de un encuentro realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Castelar en el año 2017 a cargo de Mariano Butti -. Durante este proceso no se retira digestato y se realiza venteo de los gases generados. El inóculo representa el 8% de la carga y, además, en base a las mediciones de pH de la mezcla a alimentar se deberán agregar los aditivos necesarios (ej. Soda caustica si $\text{pH} < 7$ o vinagre si $\text{pH} > 9$). La cantidad total de inóculo necesario se calcula a partir del volumen diario de alimentación, a lo largo de los 40 días que se estima la duración del proceso, de la siguiente manera:

$$Q \text{ inculo} = (0,62 + 0,19) \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 8\% \times 40 \text{ dia} = 2,6 \text{ m}^3$$

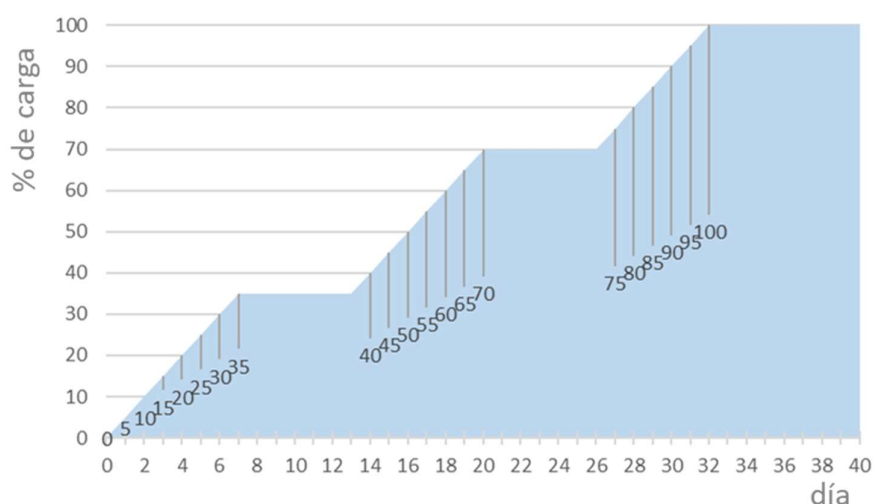


Figura 3.25: Porcentaje de carga del biodigestor por día

Una opción para obtener el inóculo de la primera carga es elaborar digerido a partir de los residuos de comida que se están generando. Éstos pueden acumularse en tambores de 200 litros ($0,2 \text{ m}^3$), requiriendo un total de 13 tachos, utilizándolos como biodigestores en batch. El costo final de 15 tambores de 200 litros (para tener 2 de reserva adicional), es de 349 u\$s (Tasa de cambio 103 AR\$/u\$s). A futuro, cada vez que se realice un reinicio del biodigestor, se pueden utilizar el biosol y biol producidos anteriormente (lo que representa una reducción en la cantidad venta de los mismos).

3.12 Cuidados en la operación

La operación requiere de cuidados en cuanto a cumplir con requisitos que garanticen el éxito en la transformación de los residuos en biogás. Para ello es necesario no sólo definir ciertas normas y procedimientos, sino que sobre todo es importante su comunicación a todo el personal de la empresa, así como a contratistas que se desempeñen en la planta. Esta comunicación, a su vez, es clave para dar visibilidad y generar concientización sobre los cuidados del medioambiente tanto internamente como hacia la comunidad.

Uno de los principales cuidados en la operación consiste en asegurar que los residuos generados estén dentro de los permitidos y no impacten en la generación de biogás. Carteles y refuerzos periódicos (ejemplo quincenalmente) del mensaje en las reuniones de inicio de jornada, son una vía para poder conservar la eficiencia del biodigestor y la correcta canalización de los residuos.



Figura 3.26: Ejemplo de cartelera sobre residuos permitidos y prohibidos [28]

En cuanto a la operación en sí misma, diariamente se deben registrar los valores de producción de biogás y consumo, los kilogramos de residuos agregados y digerido retirado, y registro de temperatura interior por la mañana (antes de recibir la incidencia del sol) y por la tarde. Semanalmente se deben tomar mediciones del nivel de acidez utilizando cintas de medición de pH a partir del digerido, por la boca de descarga. Si bien esta información es clave, a su vez es un indicador reactivo y si los valores son muy extremos puede ser tarde para actuar.

También se deben realizar semanalmente controles de acumulación de agua en cañería, de trampas de agua, estado de filtros y demás partes de la instalación de gas. El estado de las baterías (voltaje y carga) y limpieza de paneles solares y control de tablero y equipos eléctricos.

Los controles y registros serán llevados a cabo por una persona de mantenimiento que realizará distintas funciones entre ellas éstas mencionadas. También archivará las planillas de registros y volcará la información para mayor análisis.

3.13 Inversión en puesta en marcha de la planta de biogás

El método de estimación para los materiales requeridos, como cemento, arena y ladrillos, fue hecho para los trabajos de hormigonado, mampostería y terminaciones; también se consideraron los materiales y el trabajo en las paredes de impermeabilización del biodigestor y de la cámara de compensación. Los costos de materiales fueron tomados de corralones y grandes distribuidores de la zona de AMBA, mientras que los costos laborales corresponden a la base salarial de la UOCRA. De la información del cuadro 3.3, surge que la inversión para construir la planta de biogás es de 20.154 u\$s + IVA a una tasa de cambio de 101 AR\$/u\$s.

Item / Sub item	Costo Unitario [usd]	Unidad medida	Cantidad	Costo sin IVA [usd]
1. Biodigestor (a+b+c+d)				\$ 14.085
a. Tanque Biodigestor	-	-	-	\$ 9.613
Desmonte y compactación	\$ 136	m3	40	\$ 5.392
Materiales	Apéndice V	-	-	\$ 1.942
Mano de Obra (x4)	\$ 21,0	HH	96	\$ 2.012
Cerca perimetral	\$ 20,5	m	13,1	\$ 268
b. Sistema de Calefacción	Apéndice II	-	-	\$ 454
c. Sistema energía	Apéndice II	-	-	\$ 2.380
d. Instalación de gas	-	-	-	\$ 1.638
Materiales	Apéndice IV	-	-	\$ 846
Instalación y verificación	\$ 792	inst	1	\$ 792
2. Cámara de compensación				\$ 5.811
Desmonte y compactación	\$ 136	m3	20,3	\$ 2.754
Materiales	Apéndice V	-	-	\$ 1.075
Mano de Obra (x4)	\$ 21,0	HH	80	\$ 1.676
Cañería de salida	Apéndice III	-	-	\$ 101
Cerca perimetral	\$ 20,5	m	10	\$ 205
3. Cámara de carga				\$ 673
Materiales	Apéndice V	-	-	\$ 76
Mano de Obra (x4)	\$ 21	HH	16	\$ 335
Balanza	\$ 262	u	1	\$ 262
TOTAL (1+2+3)				\$ 20.569

Cuadro 3.3: Apertura de inversión inicial

En los apéndices correspondientes se encuentra mayor detalle los cálculos, detallando la selección de los materiales, cantidades y costo. También, se brinda más información acerca de los requerimientos de la instalación y planos.

3.14 Costos de Operación

Los costos pueden dividirse principalmente en dos grupos, según el siguiente criterio:

- Costos Variables: Mantenimiento y reparaciones, análisis de laboratorio, consumibles y minerales.
- Costos Fijos: Depreciación y costos laborales.

3.14.1 Costos Variables

- a. Consumibles: Comprenden principalmente los aditivos que se agregan al biodigestor para regular el nivel de pH y/o el déficit de minerales, principalmente durante la carga inicial. La necesidad de los inóculos será variable dependiendo de las alimentaciones tanto en cantidad como en calidad del sustrato. Se estima que se requerirá 500 litros de solución entre micronutrientes, enzimas y biocatalizadores, de los cuales 200 se utilizarán en la carga anual post mantenimiento durante la época de vacaciones de fábrica. Los productos se venden en el mercado argentino en euros, y el costo anual que se calcula tener es de 7.818 u\$s más IVA (1,1 euro/dólar).
- b. Mantenimiento y reparación: Estos costos se estiman anualmente en el 3% de la inversión inicial. Los gastos estarán principalmente en la reparación de grietas, recambio de cables eléctricos y reemplazo de partes del sistema de calefacción. Por lo tanto, se dispone de un presupuesto anual de 600 u\$s + IVA.
- c. Análisis de laboratorio: Tanto el control del proceso como el biofertilizante resultante requiere de controles de laboratorio externo para su aprovechamiento. Se estiman 4 análisis anuales, a un costo de 160 u\$s cada uno (a una tasa de cambio de 103 AR\$/u\$s), lo que representa 640 u\$s anuales + IVA.

3.14.2 Costos Fijos

- a. Amortización: La provisión de depreciación es lineal, siendo de 50 años para la obra civil y transporte de gas y de 10 años para el equipamiento de energía, calefacción y carga (balanza).
- b. Seguro: Para este caso, estaría incorporado dentro del seguro general actual que abona la empresa, estando entonces ya cubierto. En caso de replicar se deberá analizar el costo del seguro específico por tratarse de instalaciones de riesgo.
- c. Terreno: Existe terreno disponible el cual no se interfiere con los procesos actuales ni ampliaciones, por lo que no compite con otro y se lo considera costo hundido. Sin embargo, en caso de extrapolarlo a otras empresas o agrupaciones habría que considerar esta condición.
- d. Costo laboral: Siendo que el trabajo sobre la planta de biogás, en lo que respecta a la alimentación, control y retiro, es diario se asignará un tiempo fijo estimado a lo que esas tareas llevarán. Además, se sumarán las horas de mantenimiento programado que

se realizarán durante la parada de planta fabril. Por lo tanto, para las tareas diarias de traslado de los residuos de comida y de cocina, su alimentación y agregado de agua en iguales proporciones (pesado previo) y registro, se consideran 70 minutos; control de parámetros, ajustes e instalación, 50 minutos; separación de biol y biosol, 35 minutos; y por último el armado de bolsas, 130 minutos y el envasado, 170 minutos. Por lo tanto, se deben asignar 460 minutos o 7,66 horas diarias (se puede considerar como un recurso full-time) para las actividades rutinarias de un operador con categoría Aprendiz A, con un salario costo mensual empresa de 2.019 u\$s (Tasa de cambio 101 AR\$/u\$s). En cuanto al mantenimiento, se consideran 30 minutos diarios de controles preventivos y, además, se realiza una vez al año un mantenimiento general con dos operadores durante dos días completos, que incluyen el vaciado y las reparaciones, el salario mensual costo empresa mensual es de 3.080 u\$s, ya que su categoría es de polifuncional por su formación. A su vez, también se deben considerar los costos de comercialización de las bolsas y bidones, y la compra de éstos últimos. Estas actividades se estima que requieren 30 minutos por día del analista cuyo costo empresa es 2.920 u\$s por mes.

3.15 Evaluación del Proyecto

3.15.1 Análisis de componentes del flujo de fondos

El siguiente análisis de flujo de fondos, tiene como fin determinar la viabilidad del proyecto de inversión sobre el análisis desarrollado a lo largo de todo el relevamiento de los ahorros y costos en los distintos procesos, agregando además los costos e ingresos por las ventas del biol y biosol, haciendo una proyección para los próximos 10 años.

- a. Monto de la inversión: Se determina según los estudios de análisis detallados en el cuadro 3.3, representando la cantidad de recursos económicos con que se debe contar para construir la planta de biogás.
- b. Proyección de kilogramos residuos orgánicos recolectados:

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio de Comensales		466	500	530	530	570	570	570	570	570	570
Kilogramos de residuos por comensal		0,404	0,382	0,360	0,338	0,316	0,294	0,272	0,250	0,250	0,250
Promedio residuos diarios		188	191	191	179	180	168	155	143	143	143
Kilogramos residuos orgánicos en planta		-	-	-	3	3	3	3	3	3	3
Kilogramos Promedio TOTAL de residuos		188	191	191	182	183	171	158	146	146	146

Cuadro 3.4: Kilogramos diarios de residuos de cocina, comedor y planta

Como se puede observar, si bien la cantidad de comensales aumenta a lo largo de los años, al incrementarse la dotación en planta, la cantidad de residuos por comensal se va reduciendo hasta alcanzar el objetivo *benchmark* de 0,25 kg/comensal anteriormente informado; por lo tanto, la disponibilidad en kilogramos de residuos de cocina y comedor va en descenso. Sin embargo, se puede compensar parcialmente el volumen de digerido perdido al recolectar residuos orgánicos en las oficinas y planta como yerba mate, galletitas y facturas, entre otros alimentos. Se estima que se pueden obtener hasta dos kilogramos diarios de estos tipos de residuos.

No obstante, la pérdida de hasta 23% en masa de residuos genera un impacto en la generación de biogás. Para compensar esta pérdida de volumen de residuos y de biogás, se puede utilizar el corte de pasto del predio. El mismo tiene una superficie de 145 hectáreas, de las cuales más del 50% son accesibles al corte de pasto, es decir aproximadamente 77,50 hectáreas. El máximo de pasto necesario es de 49 kg diarios (considerando 300 días hábiles por año se requiere 15.300 kg/año), los cuales se pueden llegar a obtener de una única hectárea, ya que se estima que de una hectárea es posible obtener 40.000 kg por corte (cada 60 días) [35].

En cuanto a las características del pasto fresco, podemos mencionar que cuenta con rendimiento similar a los residuos de cocina. Posee un eficiencia de generación de biogás de 0,082 m³/kg [36]¹⁸, por otro lado, su densidad es de al menos 350 kg/m³, lo que permite tener mayor cantidad de materia en volumen que los residuos de comida (303 kg/m³); siendo más específicos, un 15,5% más de materia orgánica. Por lo tanto, 1 m³ de pasto equivale a 1,005 m³ de residuos de comida, y puede complementarse en el digestor para absorber cualquier caída en la alimentación.

¹⁸ En el Apéndice VI se describe la forma de obtención de ese valor.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio de Comensales		466	500	530	530	570	570	570	570	570	570
Kilogramos de residuos por comensal		0,404	0,382	0,360	0,338	0,316	0,294	0,272	0,250	0,250	0,250
Promedio residuos diarios		188	191	191	179	180	168	155	143	143	143
Kilogramos residuos orgánicos en planta		-	-	-	3	3	3	3	3	3	3
Biogas generado m3 por residuos		17,89	18,15	18,13	17,31	17,40	16,21	15,02	13,83	13,83	13,83
Kilogramos de pasto necesarios		-	-	-	7	6	20	35	49	49	49

Cuadro 3.5: Kilogramos de pasto necesarios cortar para alimentar al biodigestor

c. Estimación de la generación de biogás:

Asegurando la alimentación de residuos orgánicos de cocina y comedor, además de las pequeñas cantidades de planta y los cortes de pasto, se puede mantener una generación de biogás estable de alrededor de 17,90 m³ diarios.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio de Comensales		466	500	530	530	570	570	570	570	570	570
Kilogramos de residuos por comensal		0,404	0,382	0,360	0,338	0,316	0,294	0,272	0,250	0,250	0,250
Promedio residuos diarios		188	191	191	179	180	168	155	143	143	143
Kilogramos residuos orgánicos en planta		-	-	-	3	3	3	3	3	3	3
Biogas generado m3 por residuos		17,89	18,15	18,13	17,31	17,40	16,21	15,02	13,83	13,83	13,83
Kilogramos de pasto necesarios		-	-	-	7	6	20	35	49	49	49
Total Biogas generado m3 por residuos		17,89	18,15	18,13	17,90	17,90	17,90	17,91	17,92	17,92	17,92

Cuadro 3.6: Proyección del total de biogás generado por día a lo largo del proyecto

d. Estimación del precio de venta del Biol y Biosol:

Los precios de venta se mantendrán constantes en la moneda dólares. Los volúmenes dependerán del ingreso de desperdicios. Sin embargo, en el primer año se considera un nivel de pérdidas del 20% producto de errores operativos por falta de know-how que generan pérdida y/o contaminación del biol y biosol.

e. Estimación de los costos fijos y variables:

Los costos fijos y variables, tanto asociados a la producción como a la comercialización se mantendrán constantes en moneda dólares.

f. Sistema de depreciación:

Se calculan por el método lineal sobre la diferencia entre el valor original y el

valor residual. Los períodos son para las construcciones edilicias de 50 años (inversión de la obra civil del biodigestor), las máquinas e instalaciones 10 años (sistema de calefacción, de energía de gas e instalación de transporte de gas) y dispositivos 5 años (bidones de 200 litros para puesta en marcha). En cuanto al valor residual, sólo el sistema de energía solar conserva un valor residual potencial del 40%.

Item	Plazo Amortización
Inversión biodigestor	50 años
Inversión sistema calefacción	10 años
Inversión sistema energía solar	10 años
Inversión transporte de gas	10 años
Inversión puesta en marcha	5 años

Cuadro 3.7: Tabla de plazos de amortizaciones

g. Período de cotización y valorización:

Todos los datos de precios y costos fueron tomados en un período de tiempo similar, último trimestre del 2021, y llevados a dólares a la tasa de cambio del momento.

h. Proyección de consumos, ahorros y generación de digerido (moneda dólares estadounidenses)

Moneda: [USD]

Item	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Días Laborales	208	218	218	218	218	218	218	218	218	218	218
Ahorro en consumo de gas	3.722 m3	3.957 m3	3.953 m3	3.901 m3	3.901 m3	3.903 m3	3.905 m3	3.906 m3	3.906 m3	3.906 m3	3.906 m3
Costo de m3 gas	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3	0,135 \$/m3
Ahorro CEAMSE	39 ton	42 ton	42 ton	40 ton	40 ton	37 ton	34 ton	32 ton	32 ton	32 ton	32 ton
Costo CEAMSE	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton	15,3 \$/ton
Volumen de Biol (Bidones)	2.496 u	3.270 u	3.270 u	3.270 u	3.270 u	3.270 u	3.270 u	3.270 u	3.270 u	3.270 u	3.270 u
Precio venta por bidón [u\$/u]	19,4 \$/u	19,4 \$/u	19,4 \$/u	19,4 \$/u	19,4 \$/u	19,4 \$/u	19,4 \$/u	19,4 \$/u	19,4 \$/u	19,4 \$/u	19,4 \$/u
Volumen de Biosol (Bolsas)	1.331 u	1.744 u	1.744 u	1.744 u	1.744 u	1.744 u	1.744 u	1.744 u	1.744 u	1.744 u	1.744 u
Precio venta por bolsa [u\$/u]	0,69 \$/u	0,69 \$/u	0,69 \$/u	0,69 \$/u	0,69 \$/u	0,69 \$/u	0,69 \$/u	0,69 \$/u	0,69 \$/u	0,69 \$/u	0,69 \$/u

Cuadro 3.8: Premisas de consumos y ahorros para el armado del cuadro de resultados y flujo de fondo

3.15.2 Cuadro de Resultados (CR) y Flujo de fondos (FF) en dólares estadounidenses e indicadores de la rentabilidad del proyecto

CUADRO DE RESULTADOS [Moneda: USD]

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ahorro en consumo de gas		\$ 502,42	\$ 534,23	\$ 533,67	\$ 526,69	\$ 526,67	\$ 526,89	\$ 527,12	\$ 527,34	\$ 527,34	\$ 527,34
Ahorro servicios CEAMSE		\$ 599,13	\$ 637,06	\$ 636,39	\$ 607,51	\$ 610,78	\$ 568,95	\$ 527,13	\$ 485,30	\$ 485,30	\$ 485,30
Venta de Biol		\$ 48.422,40	\$ 63.438,00	\$ 63.438,00	\$ 63.438,00	\$ 63.438,00	\$ 63.438,00	\$ 63.438,00	\$ 63.438,00	\$ 63.438,00	\$ 63.438,00
Venta Biosol		\$ 918,53	\$ 1.203,36	\$ 1.203,36	\$ 1.203,36	\$ 1.203,36	\$ 1.203,36	\$ 1.203,36	\$ 1.203,36	\$ 1.203,36	\$ 1.203,36
Ingresos / Ahorros	-	\$ 50.442	\$ 65.813	\$ 65.811	\$ 65.776	\$ 65.779	\$ 65.737	\$ 65.696	\$ 65.654	\$ 65.654	\$ 65.654
Costo Comercializ. Biol	-	\$ 12.330	\$ 16.154	\$ 16.154	\$ 16.154	\$ 16.154	\$ 16.154	\$ 16.154	\$ 16.154	\$ 16.154	\$ 16.154
Costo Comercializ. Biosol	-	\$ 266	\$ 349	\$ 349	\$ 349	\$ 349	\$ 349	\$ 349	\$ 349	\$ 349	\$ 349
Costo empresa MOD y MOI	-	\$ 25.002	\$ 25.002	\$ 25.002	\$ 25.002	\$ 25.002	\$ 25.002	\$ 25.002	\$ 25.002	\$ 25.002	\$ 25.002
Costos operacionales	-	\$ 8.458	\$ 8.458	\$ 8.458	\$ 8.458	\$ 8.458	\$ 8.458	\$ 8.458	\$ 8.458	\$ 8.458	\$ 8.458
Costos de Mantenimiento	-	\$ 600	\$ 599	\$ 598	\$ 597	\$ 596	\$ 596	\$ 596	\$ 596	\$ 596	\$ 596
Amortización biodigestor		\$ 322	\$ 322	\$ 322	\$ 322	\$ 322	\$ 322	\$ 322	\$ 322	\$ 322	\$ 322
Amort. Sistema calefacción		\$ 45	\$ 45	\$ 45	\$ 45	\$ 45	\$ 45	\$ 45	\$ 45	\$ 45	\$ 45
Amort. sistema energía solar		\$ 143	\$ 143	\$ 143	\$ 143	\$ 143	\$ 143	\$ 143	\$ 143	\$ 143	\$ 143
Amort. transporte de gas		\$ 164	\$ 164	\$ 164	\$ 164	\$ 164	\$ 164	\$ 164	\$ 164	\$ 164	\$ 164
Amort. puesta en marcha		\$ 70	\$ 70	\$ 70	\$ 70	\$ 70	\$ 70	\$ 70	\$ 70	\$ 70	\$ 70
Resultado Operativo	-	\$ 3.042	\$ 14.507	\$ 14.507	\$ 14.472	\$ 14.476	\$ 14.435	\$ 14.393	\$ 14.351	\$ 14.351	\$ 14.351
Impuesto a las ganancias	-	\$ 1.065	\$ 5.078	\$ 5.077	\$ 5.065	\$ 5.067	\$ 5.052	\$ 5.038	\$ 5.023	\$ 5.023	\$ 5.023
Resultado Neto	-	\$ 1.977	\$ 9.430	\$ 9.429	\$ 9.407	\$ 9.410	\$ 9.383	\$ 9.356	\$ 9.328	\$ 9.328	\$ 9.328

FLUJO DE FONDOS [Moneda USD]

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Amortizaciones	-	\$ 744	\$ 744	\$ 744	\$ 744	\$ 744	\$ 744	\$ 744	\$ 744	\$ 744	\$ 744
Inversión biodigestor	\$ 16.097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversión sistema calefacción	\$ 454	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversión sistema energía solar	\$ 2.380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversión transporte de gas	\$ 1.638	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversión puesta en marcha	\$ 349	-	-	-	-	-	\$ 349	-	-	-	-
Valor residual Sist. Energía	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	\$ 952
Flujo de fondos Neto	\$ 20.918	\$ 2.721	\$ 10.173	\$ 10.173	\$ 10.151	\$ 10.153	\$ 9.777	\$ 10.099	\$ 10.072	\$ 10.072	\$ 11.024
TIR	36,83%										
Valor Actual al 25%		\$ 2.177	\$ 6.511	\$ 5.209	\$ 4.158	\$ 3.327	\$ 2.563	\$ 2.118	\$ 1.690	\$ 1.352	\$ 1.184
Período de Repago	\$ 20.918	\$ 18.741	\$ 12.230	\$ 7.021	\$ 2.864	\$ 463	\$ 3.026	\$ 5.144	\$ 6.834	\$ 8.186	\$ 9.370
VAN	\$ 9.370	Se recupera la inversión en 4 años y 9 meses.									

Cuadro 3.9: Flujo de fondos

El proyecto, desde el punto de vista financiero, permite obtener una TIR del 36,83% y con un VAN de 9.370 u\$s en el décimo año, a una tasa de corte del 25%. El período de recuperación de la inversión es de 4 años y 9 meses (57 meses) con una inversión inicial de 20.918 u\$s.

En cuanto al análisis de sensibilidad respecto a la premisa crítica de cantidad de residuos generados por comensal, se contempla un aumento del 20% y una reducción del 20%. Para el primer caso en que los residuos de comida se incrementen a 223 kg/día, la opción es reducir el TRH en 5 días (de 30 a 25 días) pudiendo mantener los volúmenes y la producción de biogás. Para el segundo caso, si se reduce la generación de residuos, el mismo puede ser compensado con otros restos orgánicos de la planta e incluso con corte de pasto.

Por otro lado, se ve claramente que la venta de Biol y Biosol es lo que permite absorber los costos e incluso tener algún beneficio económico; por lo tanto, la gestión de venta de estos productos es un punto necesario si se desea al menos recuperar la inversión y pagar los costos. A su vez dentro de los costos, el que agrupa los asociados al personal es de mayor incidencia – equivalente a 50% del total –, cabe mencionar que, debido al rubro del caso de estudio, los costos laborales están por arriba de la media salarial, pudiendo ser sensiblemente menores en otras empresas. Además, de replicarse por ejemplo en parques industriales pueden prorratearse de una manera tal que no genere tanto impacto en las empresas.

3.15.3 Análisis del impacto ambiental

El análisis de los beneficios en el medio ambiente se centrará principalmente en la mejora, o no, de las emisiones de dióxido de carbono al medioambiente. Para ello, se estudiarían los cambios a lo largo de la cadena de valor cuantificando esa diferencia en cantidades de CO₂.

Dentro de las emisiones que se reducen están: la reducción de consumo en la cadena de abastecimiento de gas natural (14 g CO₂/MJ_{HHV}) [37], el envío de un camión acoplado a recolectar y transporte de los residuos hasta el CEAMSE (2,5835 kg CO₂/L) [38], la quema de gas natural para cocinar (2,15 kg CO₂/m³) [39], y la descomposición de los residuos orgánicos en el vertedero – sin tratar – (4,2 kg CO₂/kg) [40].

Sin embargo, también se generan nuevas fuentes de emisión de dióxido de carbono,

identificando las siguientes: transporte desde los proveedores de bolsas de Biosol y bidones de Biol (2,5835 kg CO₂/L), quema del biogás al cocinar (2,0934.798 kg CO₂/m³) [41] y transporte por la venta de biol y biosol (2,5835 kg CO₂/L).

Según se podrá observar en el cuadro 3.9, el cual parte de los datos obtenidos y premisas consideradas (ver Apéndice VII), se obtiene que la diferencia entre promedios diarios que se genera, es una reducción de 799,10 kg/CO₂ a favor del proyecto, producto principalmente de la no emisión en los vertederos.

Con estos resultados se consigue cumplir con el objetivo de generar un impacto medioambiental positivo, ya que se podrían reducir aproximadamente 175.801 kg de dióxido de carbono emitidos por año.

Emisiones diarias que se reducen		Emisiones diarias que se crean	
Producción y transporte de gas natural hasta el suministro	9,24 kg	Transporte de abastecimiento de bolsas y bidones	10,59 kg
Quemado del gas natural de red durante la cocción	38,33 kg	Quemado del gas natural de red durante la cocción	37,33 kg
Transporte de residuos al vertedero (CEAMSE)	42,71 kg	Transporte de venta de biosol y biol	32,86 kg
Descomposición de residuos en el vertedero	789,60 kg		
TOTAL	879,88 kg	TOTAL	80,79 kg

Cuadro 3.10: Balances de emisiones de dióxido de carbono

3.15.4 Análisis FODA

El análisis FODA permitirá reconocer el potencial del caso de estudio, oportunidades de mejora y potenciales amenazas con las que éste estudio piloto puede encontrarse. De todas maneras, cabe aclarar que este análisis no sólo se basa en este proyecto en cuestión, sino que también sería muy similar al análisis que pueda ser realizado en otras empresas y asociaciones que repliquen el proyecto.

FORTALEZAS • Ahorro de costo en el transporte de los residuos hacia el vertedero • Suficientes recursos internos para poder afrontar el Proyecto. • Facilidad cultural para mantener las condiciones de higiene y segregación • El modelo de negocio es atractivo financieramente • Alineación con la estrategia corporativa medioambiental • Área requerida no obstruye la operación y permite su expansión • Efecto positivo en el trabajo de CSR • Reducción de emisiones de CO₂	DEBILIDADES • La gestión de residuos no es el “core-business” de la organización • Falta de capacidad técnica interna para gestionar y operar la planta de conversión de residuos en energía • Dependencia de la composición y proporción de los residuos de cocina • Presión negativa en el sistema de biogás • Reducción en generación de biogás en sostenidos días nublados durante invierno • El proyecto en sí no promueve la reducción en la generación de residuos
OPORTUNIDADES • Disponibilidad de conocimiento técnico y de gestión en entes gubernamentales (Ej. INTA) • Posibilidad de replicar el concepto en demás fábricas de la corporación • Posibilidad de compartir experiencia con otras empresas generando nuevas alianzas de intercambio • Posible beneficio en cuotas de energía por auto-generar • Acceso a los bonos de carbono	AMENAZAS • Cambios en el precio de gas de red afecta directamente la rentabilidad. La caída del precio del gas es improbable • Cambios en la venta de biol y biosol, tanto en precio como volumen, afectan el retorno y absorción de costos • Nueva legislación puede requerir inversión para acondicionar planta

Cuadro 3.11: Análisis FODA

CAPÍTULO 4. CONCLUSIÓN

La generación de biogás a partir de la descomposición de residuos orgánicos se conoce hace más de 400 años. Este proceso de digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) se utiliza ampliamente en el mundo en regiones rurales para producir energía a baja escala para ser utilizada en el campo.

En las últimas décadas se profundizó en el estudio del proceso físico-químico, lo que permitió mejorar su conocimiento y consecuentemente el rendimiento, pudiendo ser considerado como una fuente de energía alternativa y sustentable en varios países, principalmente de Europa y Asia.

Particularmente, tanto los restos de la preparación de alimentos como las sobras de la comida misma son residuos orgánicos húmedos, que también pueden ser descompuestos en una planta de biodigestión anaeróbica para producir biogás.

En las últimas décadas la sociedad ha arribado a nuevas formas de segregación de residuos, lo que permitió lograr una mayor cantidad de los de comida. Esto, sumado a la notable mejora en la eficiencia de generación de biogás, devino en un aumento de aperturas de plantas de producción del mismo a gran escala, el cual se utiliza generalmente para alimentar los motores que finalmente proveen electricidad a la comunidad. Para el año 2015 existían 105 plantas de biogás en Argentina.

La generación de biogás, a pesar de darse de forma natural, requiere del control de varios parámetros, por ejemplo temperatura, pH, relación carbono-nitrógeno, tiempo de retención dentro del biodigestor, entre otros. Todos ellos afectan directamente los niveles de rendimiento de producción y calidad del biogás, es decir la cantidad y porcentaje total de metano (CH_4), el cual se genera en la tercera y última etapa microbiana junto al digerido. En resumen, es importante el control diario del proceso. En plantas de gran tamaño, del tipo de tratamiento de RSU, se requiere una gran inversión en tecnología a tales fines.

Está demostrado que este proceso también puede darse en niveles de menor escala manteniendo buen rendimiento. Para ello existen, entre los más populares, tres modelos de biodigestores: continuo, intermitente (destacándose el tipo *Chino* y tipo *Hindú*), y batch (principalmente en menor escala y de producción irregular).

En cuanto al caso piloto en el cual se centró el estudio, se genera una cantidad de

residuos de comida de 188 kilos diarios en promedio, los cuales se envían posteriormente al CEAMSE. Desde el punto de vista de kilos por comensal este promedio se encuentra un 65% por encima del benchmark; lo cual es positivo desde el punto de vista del proyecto, ya que a mayor cantidad de residuos mayor sería la generación de biogás. Sin embargo, recordando las motivaciones de este estudio, paralelamente se debería crear una campaña de concientización para reducir las sobras de comida en los platos que dejan los comensales y los desperdicios durante la preparación de los alimentos en la cocina.

La EPA (United States Environmental Protection Agency) impulsa el programa *Food Recovery Challenge*, como parte de la Gestión Sostenible de Materiales. Una de sus definiciones fue la creación de la Jerarquía de recuperación de alimentos, con el fin de dar prioridad a las acciones para prevenir y desviar los desperdicios de los mismos.



Figura 4.1: Jerarquía de recuperación de alimentos¹⁹

En la figura 4.1 se ve, claramente, que la generación de biogás entra dentro de la jerarquía “usos industriales”, existiendo 3 jerarquías más por encima en las cuales se podría (y se debería) trabajar en paralelo con el proyecto de este estudio. A su vez existe otra cantidad – no medida – de residuos orgánicos que se generan en la planta, que no es

¹⁹ <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/food-recovery-hierarchy#spanish>

aprovechada para el biodigestor, tales como: yerba, panes, comida de viandas, frutas, etc.

Realizando campañas de concientización se logra divulgar la importancia y los métodos para Reducir y Reciclar los residuos generados (cumpliendo así con 2 de las tres “R” y quedando el Reutilizar pendiente). Luego dependerá de la repetitividad y profundidad con las que se desarrollen dichas campañas, que las mismas logren generar un efecto multiplicador al extenderse, al menos, en los hogares de cada empleado. Esto es uno de los efectos mediatos que genera como beneficio medioambiental el proyecto y su réplica en múltiples organizaciones y empresas.

Considerando la situación actual de la planta Honda y las proyecciones de personal en planta en los próximos 10 años, se calcula tener un volumen de residuos orgánicos de 188 kg/día que permite generar 17,87 m³ de biogás. Este volumen es posible sostenerlo en el tiempo mientras se toman medidas para reducir la cantidad de restos de comida generados, sin perjuicio del incremento de comensales. Una viable manera de compensar es utilizando cortes de pasto fresco. Ésta medida de contención puede ser usada en todo momento durante la vida del proyecto, para rellenar y suplir caídas en los residuos de cocina. Sin embargo, existe un límite dado que el TRH que requiere es mayor, por lo que se calcula que la masa de pasto no debería superar el 25-30% del peso total de residuos (sin considerar el agua). Este proceso de suplantación de residuos por cortes de pasto fresco es importante para aquellas empresas que cuenten con acceso a los mismos (parques industriales, por ejemplo), ya que permite absorber variaciones en lugares donde no hubiera suficiente estabilidad de personal.

En cuanto al dimensionamiento de la planta de biogás, ésta posee un presupuesto de 20.918 u\$s, acorde a la envergadura de la empresa en análisis de cualquier otra empresa que posea este nivel de dotación. A su vez, actualmente existen créditos que ayudan a las organizaciones PYME a financiar inversiones en desarrollo sustentable llamados “Créditos Verdes”²⁰.

En relación al área necesaria para la planta de biogás (de casi 72 m²), tiene como mayor desafío el que tenga una ubicación que le permita recibir la suficiente intensidad solar para poder sostener la temperatura dentro del biodigestor, al menos a 30°C. Por otro lado, debe también considerarse el movimiento de bolsas y bidones y carga de camiones. Sin embargo, tanto el lugar de desarrollo de estos procesos como la ubicación de los

²⁰ <https://www.uia.org.ar/general/797/creditos-verdes-para-pymes/>

paneles solares, no necesariamente deberán estar espacialmente junto al biodigestor.

La operación de la planta requiere de un recurso humano fijo *full time* que hará principalmente el envasado y embolsado. También, requiere de recursos part-time en el área de compras y mantenimiento. El proceso de envasado y embolsado del biol y biosol respectivamente es clave para sostener el flujo de venta e ingresos económicos, que son generados mayormente de la venta de los mismos. También, es importante poder asegurar los nutrientes mínimos exigidos por el mercado y las certificaciones del SENASA; motivo por el cual las acreditaciones anuales deberán ser rigurosamente realizadas y se deberá mantener además el tipo y variedad de la dieta que se sirve en el comedor.

El retorno de la inversión es de 57 meses con una TIR (al 25%) de 36,8%, haciendo atractivo el proyecto desde el lado financiero. Analizando las distintas variables de sensibilidad se detectan las siguientes: el volumen y precio de venta del biol y biosol, el costo de la energía (gas natural) y la cantidad de residuos generados y alimentados. Por lo tanto, un punto interesante de este proyecto es que no produciría pérdidas económicas y hasta, incluso, podría generar un ingreso adicional a todas las empresas que deseen replicar esta iniciativa.

En la misma inteligencia de cosas, es necesario tener en cuenta que haría falta una caída de la facturación de venta del Biol y/o Biosol del 20% para llegar al punto de equilibrio con los costos operativos. En cuanto al ahorro de costos por la reducción de consumo de gas natural, el mismo llega a cubrir un 50% del salario de la persona full time. Tomando únicamente el punto de vista de la inversión, requerirá de 40 meses para el retorno de la inversión si se considera sólo amortizaciones y ahorro de gas; un aumento del costo ayudará en dicho retorno y una caída del precio no generará gran impacto por constituir sólo el 2% del beneficio total. En cuanto a variaciones en la cantidad de residuos de comida alimentados, como ya se ha mencionado hasta un 30% puede completarse con cortes de pasto en el caso de bajar la generación de aquellos; y en caso de aumentar, se podría reducir el TRH subiendo la temperatura, lo que requeriría de una inversión estimada de 15,96 u\$s por cada kilogramo nuevo.

Desde el punto de vista del impacto medioambiental en lo que respecta a los gases de efecto invernadero (GEI), el estudio realizado da como resultado una reducción de las emisiones de CO₂ al medioambiente de 175.801 kg de dióxido de carbono emitidos por

año, lo que equivale a las emisiones emitidas por 30 personas²¹ en el mismo lapso de tiempo. Este valor se logra principalmente en un 90%, por la reducción de las emisiones en el vertedero.

De todas maneras, tanto el estudio del balance de emisiones de dióxido de carbono como de otros gases de efecto invernadero y de los beneficios por los bonos de carbono, son objeto de una investigación más profunda propia de otra tesis en la cual se llegue a conclusiones más focalizadas en cuanto al impacto ambiental de forma más sistémica y amplia.

En este punto es dable introducir una de las principales conclusiones a las que ha arribado este maestrando, y es que la réplica de este concepto piloto en estudio en esta tesis, a lo largo de los 323 parques industriales del país [42] permitiría generar un ahorro en el consumo de gas natural. Si tomamos el informe del ENARGAS llamado Panorama Gasífero Julio 2021²², el promedio de consumo de gas en las industrias entre Ene-Jul 2021 fue de 30.720.000 de m³; por lo que el biogás generado en estos parques permitiría satisfacer 0,016% de lo consumido en ellas; o el 0,80% del consumo de GNC. A estos valores se llega considerando que a lo largo de los parques se desempeñan al menos unos 240.000 trabajadores [43]²³, y utilizando las mismas proporciones que en el caso piloto; daría un potencial de biogás de 9.215 m³ que equivalen a 4.964 m³ de gas natural por día.

En conclusión, los primeros 3 objetivos planteados como objeto de estudio y demostración de hipótesis fueron cumplidos:

- 1) Es técnicamente posible generar biogás a partir de los restos de comida del comedor y de cocina, generando un volumen diario 17,87 m³ del mismo.
- 2) Es económica y financieramente rentable la producción de biogás teniendo un retorno en 57 meses.
- 3) Se genera un impacto ambiental positivo con la generación de biogás al reducirse las emisiones anuales de dióxido de carbono en 175 toneladas.

²¹ Fuente la Sexta en su nota del 9/12/2019 en el cual hace referencia que la media española es de 5,7 toneladas anuales por persona.

https://www.lasexta.com/noticias/medio-ambiente/cuanto-co2-producimos-estacion-lasexta-calcula-la-huella-de-carbono-que-genera-una-familia-espanola_201912095deeced0cf24e71b069e691.html

²² https://www.enargas.gob.ar/secciones/publicaciones/divulgacion-tecnica/pdf/informe_813.pdf

²³ N.del A: Según datos del 2013 considerando 10 parques industriales menos que los actuales.

Finalmente, siendo el 4to objetivo de la presente, se concluye que esta propuesta es viable, para lo cual se realizó un estudio cuantificado a modo indicativo tomando a la planta de Honda Motor S.A sede Campana como prueba piloto. Sin embargo, lo más significativo que ha surgido en el desarrollo de esta tesis es el concepto de que puede (y, en atención a la urgencia de toma de medidas en cuanto al cuidado del medioambiente cabe usar el verbo “debe”) ser replicable en asociaciones de PyMES, en los 117 parques industriales del AMBA, en cadenas de supermercados, polos gastronómicos, etc. y dónde quiera que haya un volumen de residuos de cocina y comedor que justifiquen el proyecto.

Asimismo, en la medida que este proyecto vaya replicándose, se facilitará también la educación medioambiental, al fomentar y educar a los colaboradores de cada empresa u organización quienes repetirán y generarán en sus casas conciencia en este sentido creando rutinas cotidianas como la segregación de residuos y colaborando con el sistema nacional de reciclaje. Adicionalmente, se incrementará el aporte a la matriz energética disminuyendo el consumo de gas natural de red. También, la réplica del concepto, permitiría el cumplimiento de las metas medioambientales asumidas soberanamente en acuerdos internacionales como el protocolo de Kyoto. Por último, estos beneficios se podrían lograr sin necesidad de impactar negativamente en la economía de las empresas.

ANEXOS

Bibliografía

Citas y referencias

- [1] CEAMSE, «CEAMSE GENERADORES PRIVADOS – CENTROS DE DESCARGAS, SERVICIOS, HORARIOS Y TARIFAS,» 02 03 2009. [En línea]. Available: <https://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2021/07/IGOGP-03-Centros-Serv.-Horarios-y-Tarifas-ABR-21-SRPyE-.pdf>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].
- [2] S. Naturgy BAN, «Cuadro tarifario aprobados mediante la Resolución ENARGAS N°153/2021,» ENARGAS, 02 Junio 2021.
- [3] T. D. e. e. a. A. (. E. O. d. E. N. Demaio, «Inter Press Service,» 28 Mayo 2018. [En línea]. Available: http://www.ipsnews.net/2018/05/food-waste-enough-feed-worlds-hungry-four-times/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=food-waste-enough-feed-worlds-hungry-four-times. [Último acceso: 2021 Junio 10].
- [4] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación,» 2013. [En línea]. Available: www.fao.org/news/story/en/item/196402/icode/. [Último acceso: 10 Diciembre 2020].
- [5] Ellen Macarthur Foundation, «Cities and circular economy for food,» Ellen Macarthur Foundation, 2019.
- [6] The World Bank, «The World Bank,» 2019. [En línea]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC>. [Último acceso: 30 Enero 2021].
- [7] BP, «BP,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>. [Último acceso: 08 Agosto 2021].
- [8] European Parliament, «European Parliament,» 03 Marzo 2018. [En línea]. Available: www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180301STO98928/greenhouse-gas-emissions-by-country-and-sector-infographic.
- [9] R. H. Vegas, «Diario La Nación,» 16 Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/que-es-la-sustentabilidad-nid1186719/>. [Último acceso: 15 10 2014].
- [10] S. Yokoyama, The Asian Biomass Handbook, Tokyo: Japan Institute of Energy, 2008.

- [11] Secretaría de Energía, «Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa,» Secretaría de Energía, Buenos Aires, 2008.
- [12] I. A. M. S. J. A. Hilbert, Manual para la producción de biogás, Castelar: I.N.T.A. Castelar, 2003.
- [13] J. J. R. Jiménez, Hacia un uso sostenible de los recursos naturales, Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía, 2008.
- [14] European Commission, «SECTOR, Best Environmental Management Practice in THE TOURISM,» Sevilla, 2017.
- [15] D. G. Lambertini, «Suplemento de Energías Renovables,» *Revista Jurídica*, 2018.
- [16] Agencia Andaluza de Energía, «Estudio Básico del Biogás,» *Consejería de Economía, Innovación y Ciencia*, p. 16, 2011.
- [17] E. Muzenda, «Bio-methane Generation from Organic Waste A Review,» de *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2014*, San Francisco, USA, 2014.
- [18] R. Mattocks, «Understanding Biogas generation,» Volunteers in Technical Assistance (VITA), Arlington, Virginia, 1984.
- [19] J. L. Fry, «Journey to forever,» [En línea]. Available: http://journeytoforever.org/biofuel_library/MethaneDigesters/MD1.html.
- [20] J. L. Fry, Practical building of methane power plants for rural energy independence, Santa Barbara, California: Standard Printing, 1974.
- [21] T. I. M. G. R. M. H. y. A. I. Musa I. Tanimu, «Effect of Carbon to Nitrogen Ratio of Food Waste on Biogas Methane Production in a Batch Mesophilic Anaerobic Digester,» *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 5, nº 2, 2014.
- [22] T. M. G. M. R. H. A. I. M. I. Tanimu, «Effect of Carbon to Nitrogen Ratio of Food Waste on Biogas Methane Production in a Batch Mesophilic Anaerobic Digester,» *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 5, nº 2, Abril 2014.
- [23] M. A. M. A. T. M. L. D. Azeem Khalid, «Science direct,» 6 Mayo 2011. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X11001668>. [Último acceso: 05 02 2015].
- [24] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Leitfaden Biogas Von der Gewinnung zur Nutzung, Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2013.

- [25] H. E.-M. K. H. F. W. J. R. C. C. P. G. Ruihong Zhang, «Anaerobic Phased Solids Digester Pilot Demonstration Project: Characterization of Food and Green Wastes As Feedstock for Anaerobic Digesters,» CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2005.
- [26] S. H. Y. Z. U. B. Charles Banks, «Food Waste Digestion: Anaerobic Digestion of Food Waste for a Circular Economy,» IAE Bioenergy, 2018.
- [27] P. M. T. V. Moreno, Manual de biogás, Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011.
- [28] L. O.-B. A. C.-P. Y. A.-R. M. F. O. H.-G. Ernesto L. Barrera-Cardoso, «Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural,» *Tecnología Química*, vol. 40, nº 2, pp. 303-321, 2020.
- [29] FAO, «Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores,» Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agrecultura (FAO), 2019.
- [30] S. H. G. M. J. L. Styles D., «Best Environment Management Practice in the Tourism Sector,» European Union 2017, Sevilla, 2017.
- [31] S. V. B. D. Simon Jayaraj, «Study on the effect of pH on biogas production from food waste by aerobic digestion,» de *9th Annual Green Energy Conference in Tianjin China*, Tianjin China, 2014.
- [32] L. S. Z. N. M. E. B. Urmila Balasubramaniam, «Biogas production in climates with long cold winters,» Wageningen, Wageningen, Holanda, 2008.
- [33] J. A. G. Chacón, Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas, La Habana, Cuba: Cubasolar, 2007.
- [34] Universidad de La Plata, «Aspectos climáticos de la temperatura del suelo,» La Plata.
- [35] ANTA y AECI, «Sistemas intensivos de producción bovina,» San José, Costa Rica, 2006.
- [36] U. K. D. R. R. D. F. S. Prof. Dr. Martin Elsässer, «Biogas from grass - How grassland can contribute to producing energy,» *DLG Expert Knowledge*, vol. 316, nº 1, pp. 1-20, 2012.
- [37] K. A. J. S. N. B. A. H. Paul Balcombe, «The Natural Gas Supply Chain: The Importance of Methane and Carbon Dioxide Emissions,» *ACS Sustainable Chem. Eng.*, vol. 5, nº 1, pp. 3-20, 7 10 2017.
- [38] Instituto del Transporte de la UNSAM, «Lineamientos para la eficiencia energética y el desarrollo de bajo carbono en el Transporte Automotor de Cargas (TAC),» 2016.

- [39] Oficina Catalana del cambio climático, «Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI),» 2011.
- [40] Power Knot LLC, «energia-on,» 2010-2015. [En línea]. Available: <http://energia-on.com/reduzca-su-huella-de-carbono/#:~:text=Una%20tonelada%20de%20desechos%20org%C3%A1nicos%20de%20comida%20que%20son,toneladas%20al%20a%C3%B1o%20CO2%20equivalente..> [Último acceso: 10 04 2022].
- [41] K. K. T. P. Amit Garg, «Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero».
- [42] Registro Nacional de Parques Industriales (RENPI), «Parques Industriales inscriptos en el RENPI,» 2022.
- [43] Marcelo Antonio Gottifredi, «www.mercojuris.com,» 29 Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://www.mercojuris.com/13529/argentina-ya-funcionan-315-parques-industriales-en-todo-el-pais/>.
- [44] A.-O. V. K. S. Paul E., Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice, New Yersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [45] Z. M. Teleszewski T., «Analysis of Heat Loss of a Biogas Anaerobic Digester in Weather Conditions in Poland,» *Journal of Ecological Engineering*, vol. 19, nº 4, pp. 242-250, 2018.
- [46] F. L. C. M. D. d. A. I. a. M. V. Francesco Calise, «Modeling of the Anaerobic Digestion of Organic Wastes: Integration of Heat Transfer and Biochemical Aspects,» *Energies*, vol. 13, nº 11, 2020.
- [47] Food and Agriculture Organization (FAO), «Food wastage footprint - Impact on natural resources,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf>.
- [48] MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, Manual de Biogás, Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011.
- [49] S. d. E. R. S. Fe, «CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA».

Otras fuentes bibliográficas

AGENCIA ANDALUZA de ENERGÍA, (2011), *Estudio Básico del Biogás*, Consejería de Economía, Innovación y Ciencia.

AGRAHARI R., TIWARI G.N, (2013), *The Production of Biogas Using Kitchen Waste*, Disponible online:

https://www.researchgate.net/publication/274607954_The_Production_of_Biogas_Using_Kitchen_Waste

AL SEADI T. et al. (2017), *Biogas handbook*, Disponible online:

<https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>

BRADBURY J., Clement Z. and Down A., (2015), *Greenhouse Gas Emissions and Fuel Use within the Natural Gas Supply Chain – Sankey Diagram Methodology*, Office of Energy Policy and Systems Analysis.

DARWESH M.R., GHONAME M.S., (2020), *Experimental studies on the contribution of solar energy as a source for heating biogas digestion units*,

Disponible online:

[https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352484721001839?token=885F31DC2F36F9C90B4698CF98E1D8657A91BC914BBCB33F74AFA5B2E28D645950F95AB934E1017F38E7E96E5529389C&originRegion=us-east-](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352484721001839?token=885F31DC2F36F9C90B4698CF98E1D8657A91BC914BBCB33F74AFA5B2E28D645950F95AB934E1017F38E7E96E5529389C&originRegion=us-east-1&originCreation=20220507012734)

[1&originCreation=20220507012734](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352484721001839?token=885F31DC2F36F9C90B4698CF98E1D8657A91BC914BBCB33F74AFA5B2E28D645950F95AB934E1017F38E7E96E5529389C&originRegion=us-east-1&originCreation=20220507012734)

heating biogas digestion units

Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático (2018), *Manual de Aplicación de la Huella de Carbono*, Provincia de Buenos Aires, Publicación del Ministerio de Agroindustria.

Dr. SARIKA J., (2019), *Global Potential of Biogas*, World Biogas Association,

Disponible online: <https://www.worldbiogasassociation.org/global-potential-of-biogas/>

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V, (2013), *Leitfaden Biogas Von der Gewinnung zur Nutzung*, Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe,

Disponible online:

https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Leitfaden_Biogas_web_V01.pdf

FAO, (2019), *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*, Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires, Disponible online:

http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiaDeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf

FRY J., (1973), *Practical building of methane power plants for rural energy independence*, Santa Bárbara California.

- GARCIA F. A., (2011), *Planificación Energética y Retos de Futuro de la Biomasa para la Producción de Energía*, Dpto de Biomasa y Residuos IDEA
- GRAUNKE R., WILKIE A., (2008), *Converting Food Waste to Biogas: Sustainable Gator Dining*, SUSTAINABILITY, Disponible online:
<https://biogas.ifas.ufl.edu/foodwaste/documents/ConvertingFoodWasteBiogas.pdf>
- GREENPEACE, (2005), *Recomendaciones para un Tratamiento Ambientalmente Saludable de los Residuos Orgánicos*, Disponible online:
www.greenpeace.org.ar/basuracero
- GTZ -Eschborn, (1987), *Difusion de la tecnologia del biogas en Colombia : documentation del proyecto*, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), Cali.
- INFANES CHAVES P., (2006), *Diseño de biodigestores*, Centro de información de actividades porcinas, Sitio Argentino de Producción Animal
- Ing Agr. PANIGAITI J., M. N. N. PEREZ M., Lic. MUSSETTI M., (1983), *Evolución de la temperatura del suelo*, INTA, Rafaela.
- Ing. A.M. Sc. HILBERT J., (2003), *Manual para la producción de biogás*, INTA Castelar.
- Ing. Agr. INDIVERI E., *Biodigestor manual de uso*, UNCUIYO, Disponible online:
www.imd.uncu.edu.ar
- IRENA, (2017), *Biogas for Domestic Cooking: Technology brief*, Disponible online:
<https://www.irena.org/publications/2017/Dec/Biogas-for-domestic-cooking-Technology-brief#:~:text=In%20many%20developing%20countries%2C%20biogas,women%20and%20children%20collecting%20wood.>
- KARLSSON A., BJÖN A. SHAKERI S., SVENSSON B., (2014), *Improvement of the biogas production system*, Disponible online:
<https://www.hindawi.com/journals/bmri/2013/482653/>
- LOMBARDI L. , (2020), *Solar Integrated Anaerobic Digester: Energy Savings and Economics, Energies*, Disponible online: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/17/4292/htm>

- MITCHELL M., (2011), *On-site Composting of Restaurant Organic Waste: Economic, Ecological, and Social Costs and Benefits*, Disponible online: https://www.researchgate.net/publication/265540831_On-site_Composting_of_Restaurant_Organic_Waste_Economic_Ecological_and_Social_Costs_and_Benefits
- MUSTAFA HASSAN M., (2004), *The Feasibility of Family Biogas Production from Mixed Organic Wastes in Palestinian Rural Areas*, Disponible Online: https://scholar.najah.edu/sites/default/files/all-thesis/the_feasibility_of_family_biogas_production_from_mixed.pdf
- MWACHARO F., BHANDARI S., OTHMAN A., RAUTIO A-R., (2020), *Biogas drying and purification methods*, Disponible online: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/356234/978-952-7173-55-8.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -, (2019), *Guía técnico-regulatoria para la habilitación de plantas de biogás y homologación de artefactos y equipos para su uso*, Buenos Aires.
- PENNINGTON M., (2021), *Anaerobic Digestion Facilities Processing Food Waste in the United States (2017 & 2018)*, Survey Results, EPA, Disponible online: https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-02/documents/2021_final_ad_report_feb_2_with_links.pdf
- RYNKOWSKI P., (2018), *Heat loss analysis in the semi-buried anaerobic digester in Northeast Poland*, Disponible online: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/19/e3sconf_eko-dok2018_00156/e3sconf_eko-dok2018_00156.html
- SASSE L., (1988), *Biogas Plants*, Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, Disponible online: http://www.build-a-biogas-plant.com/PDF/BiogasPlants_Sasse.pdf
- SENK-TIZNADO B.,(2017), *Estudio Hidrodinámico de Propulsores Mediante el Uso de Herramienta Numérico-Computacional*, Universidad de Piura, Disponible online: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3233?locale-attribute=en>

SEÑER A., (2011), *Modelo de valorización integrada de residuos orgánicos de restaurant y catering*, Madrid

SUBSECRETARIA DE ENERGÍA RENOVABLES, (2019), *Curso operación y mantenimiento de sistemas de biodigestión de pequeña y mediana escala*, Disponible online: <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/08/M%C3%B3dulo-3-Biodigesti%C3%B3n-componentes-del-sistema.pdf>

TELESZEWSKI T., UKOWSKI M., (2018), *Analysis of Heat Loss of a Biogas Anaerobic Digester in Weather Conditions in Poland*, Disponible online: https://www.researchgate.net/publication/326134178_Analysis_of_Heat_Loss_of_a_Biogas_Anaerobic_Digester_in_Weather_Conditions_in_Poland

UNSAM, (2016), *Lineamientos para la eficiencia energética y el desarrollo de bajo carbono en el Transporte Automotor de Cargas (TAC)*, IT UNSAM, Disponible online: https://www.unsam.edu.ar/institutos/transporte/publicaciones/Lineamientos%20para%20EE%20en%20TAC%20_%20IT%20UNSAM.pdf

YOKOYAMA S., (2008), *The Asian Biomass Handbook*, Tokyo: Japan Institute of Energy.

ZHANG L., LEE Y., JAHNG D., (2011), *Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: Focusing on the role of trace elements*, Bioresource Technology Volume 102, Issue 8.

Apéndice I: Cálculo de sistema de agitación

Para calcular la potencia del motor necesaria que hará mover las paletas agitadoras, primero se debe definir y cuantificar qué tipo de flujo será el que se genere dentro del biodigestor. Para ello se debe calcular el número de Reynolds.

$$N_{re} = \frac{D^2 N \rho}{\mu} = \frac{1,5^2 * 2,00 * 303}{1} = 1364 \quad (\text{Flujo Laminar})$$

N_{re} = Número de Reynolds

ρ = densidad del fluido [kg/m^3]

D = Diámetro de las paletas [m]

μ = viscosidad absoluta del fluido [Pa s]

N = Velocidad de mezcla [rps]

La medida de 1,5 metros se define base a la recomendación del fabricante de que el diámetro de paletas debe ser entre el 30% y 50% del diámetro del recipiente. Por lo tanto, las paletas de 1,5 metros representan el 30% del diámetro del biodigestor de 4,8 m.

La viscosidad se obtiene del estudio realizado por ATS Rheo System, (división del grupo Cannon Instrument Company), se toma el valor de 1 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ como valor promedio.

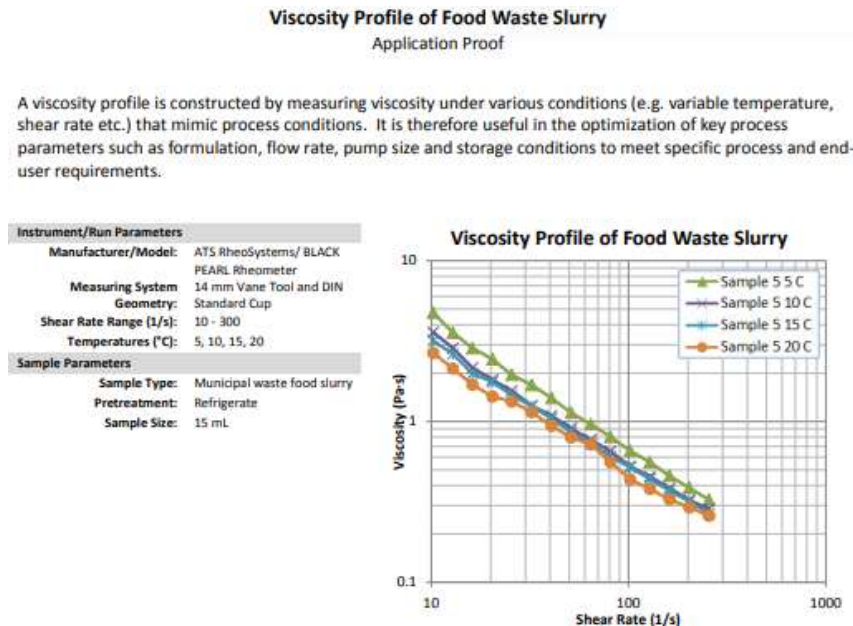


Figura A1.1: Viscosidad absoluta de los residuos de comida²⁴

Recurriendo a la tabla de relación entre el Número de Reynolds y el tipo de sistema

²⁴ Fuente: Cannon Instrument Company:
https://cannoninstrument.com/pub/media/assets/product/documents/Application_Proofs/%20%20Viscosity%20Profile%20of%20Food%20Waste%20Slurry.pdf

de mezcla, (del cual se selecciona paletas del tipo 4 por ser las del tamaño más estándar dentro del mercado argentino), se obtiene el Número de Potencia N_p (Véase Figura A1.2). Dato necesario para poder realizar el cálculo de potencia que debe tener el motor para mover el digestato.

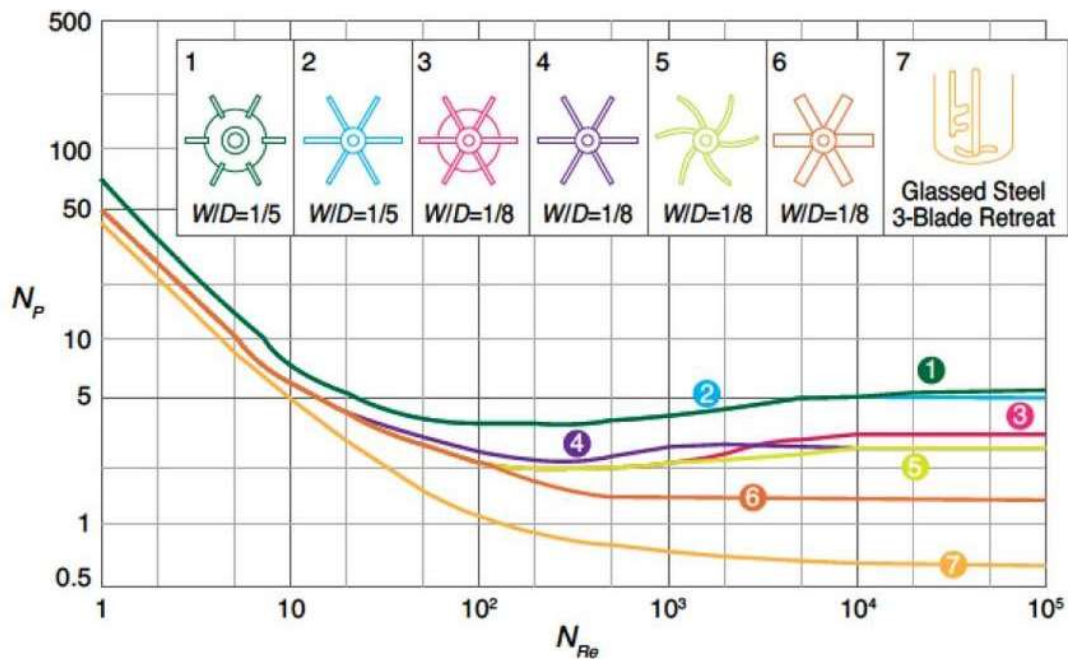


Figura A1.2: Relación entre N_{re} y N_p [44]

Por lo tanto, de la curva 4 y con un Reynolds de 1364, el número de potencia N_p resultante es de 3,4. Por lo que la potencia del motor P necesaria es:

$$P = N_p \rho N^3 D^5 = 8.515 \text{ W}$$

Base a este requerimiento de potencia, la carga de trabajo – que será intermitente en lapsos de hasta 3 horas luego de la alimentación diaria –, el objetivo del uso – mezcla con resistencia constante y freno por inercia –, tipo de reductor, y las fases del motor; se obtiene un producto acorde a la necesidad de 7,4kW y palas tipo PDT. La cotización del equipo es de 15.000 u\$s más IVA, siendo el principal costo el motorreductor al requerir una baja cantidad de vueltas por minuto. En la figura A1.3 se observan productos del catálogo del proveedor MyV-mixing con el cual se dimensionó y cotizó la necesidad.



Figura A1.3: Tipo de agitadores verticales²⁵

Además, para poder sostener la alimentación del agitador sin recurrir a la red eléctrica – y mantener la generación de energía limpia –, se analizó y cotizó con el proveedor Megadistributor un sistema solar acorde a la demanda de potencia y ciclos de uso, considerando agregar un arrancador suave para reducir el pico de consumo sólo al doble de lo nominal (asumiendo que la pérdida de torque inicial no es problema dado la consistencia del digestato).

El costo del arrancador suave, marca Siemens 3RW3018-1BB14 es de 376 u\$s + IVA (Tasa de cambio 103 ARS/u\$s), mientras que el del equipo de energía solar, apto para esta necesidad, All in One provisto por la empresa Megadistributor es de 8.093 u\$s + IVA. Por lo tanto, el costo total del sistema de agitación es de 23.469 u\$s + IVA.

Dado el elevado costo de los equipos, y en concordancia con lo sugerido por proveedores del rubro que recomiendan no utilizar mezcladores mecánicos para esta escala de volumen del biodigestor, se deja al biodigestor sin sistema de agitación.

De todas maneras, se considera la posibilidad de que ante un bajo rendimiento de generación de biogás o la detección de la necesidad de realizar una homogenización, se

²⁵ Catálogo <http://myv-mixing.com.ar/agitadores-verticales/>

deba realizar algún tipo de agitación. En tal caso, se podría utilizar agitación mediante la circulación del sustrato dentro de la cámara del digestor; instalando una bomba sumergible tipo cloacal la cual se puede agregar sin prácticamente mayores modificaciones del biodigestor. Ésta se pondría directamente dentro del biodigestor con la succión a nivel del piso del lado opuesto al ingreso del sustrato, mientras que la recirculación se haría a la altura de nivel máximo desfasado hacia un costado del ingreso.

La bomba a elegir, sería una Motorarg con triturador de 2 HP y 380 V, y un precio de 775 u\$s + IVA (Tasa de cambio 103 AR\$/u\$s) provista por Motores y Bombas San Martín. El equipo de energía solar All in One de 1,8 kW abastecería de potencia a lo largo de 3 horas por día en 6 tramos de 30 minutos cada vez (recirculando 20 m³ por vez), cuyo costo es de 1.640 u\$s + IVA (Tasa de cambio 104 AR\$/u\$s) incluyendo variador de frecuencia para reducir el pico de potencia, cotizado por la empresa Megadistributor²⁶. A esto, se sumarían 550 u\$s + IVA (tasa de cambio 104 AR\$/u\$s) correspondiente a la instalación de los equipos y de la cañería plástica de 3". El impacto de la compra de esta bomba y del equipo de energía solar (por un valor total es de 2.935 u\$s) en el período de repago, es de alrededor 18 meses elevándolo a un total de 75 meses.



56Figura A1.4: Bomba Motoarg 1300DRT²⁷

²⁶ Megadistributor: <https://www.megadistributor.com.ar/categoria.php?c=27>

²⁷ Fuente: Catálogo de bombas Motoarg. https://www.motorarg.com.ar/producto_cat/desagote-con-triturador/

Apéndice II: Cálculo del sistema de calefacción

1. Introducción:

Para realizar el dimensionamiento del sistema de calefacción hay que considerar la temperatura ambiente. Normalmente la mínima temperatura diaria se produce en el momento de la salida del sol y la máxima alrededor de las 14 horas. En cuanto a la amplitud anual, la máxima temperatura tiene lugar un poco después del solsticio del verano y el mínimo un poco después del de invierno. Sin embargo, la amplitud de la variación térmica diaria se reduce geométricamente a medida que aumenta la profundidad en el suelo, siendo prácticamente despreciables a 70 cm de la superficie. Por otro lado, si se ve afectada la temperatura del suelo dependiendo de la época del año ya que, para la región de Buenos Aires, recién a profundidades aproximadas de 10 m se encuentra la cota isotérmica. Por último, según lo publicado por el INTA Rafaela, en 1983, en su informe llamado “*Evolución de la temperatura del suelo, Influencia de la cobertura*”, el suelo con césped si bien posee menor capacidad de absorber radiación solar, también posee menor amplitud térmica que el suelo de tierra. De las mediciones realizadas por el INTA en 1983, se concluye de manera simplificada, que la diferencia de temperatura promedio de la tierra respecto a la del aire llega a ser 4°C superior a la temperatura mínima registrada sólo en el aire, por lo tanto se tomará como temperatura mínima de diseño 6,5 °C²⁸.

2. Balance de Calor

La pérdida de calor dentro del biodigestor se da por conducción, es decir por el intercambio de calor basado en el contacto directo de dos cuerpos, a través de las paredes del digestor hacia la tierra, la que se encuentra a menor temperatura, siendo el cálculo de balance de la siguiente manera:

$$Q_{\text{metano}} + Q_{\text{biodigestor}} = Q_{\text{cupula}} + Q_{\text{pared}} + Q_{\text{piso}}$$

²⁸ N. del A: Se toma como mínima la temperatura de 2,5°C que está dentro del percentil del 25%, según se observa en la figura 3.3.

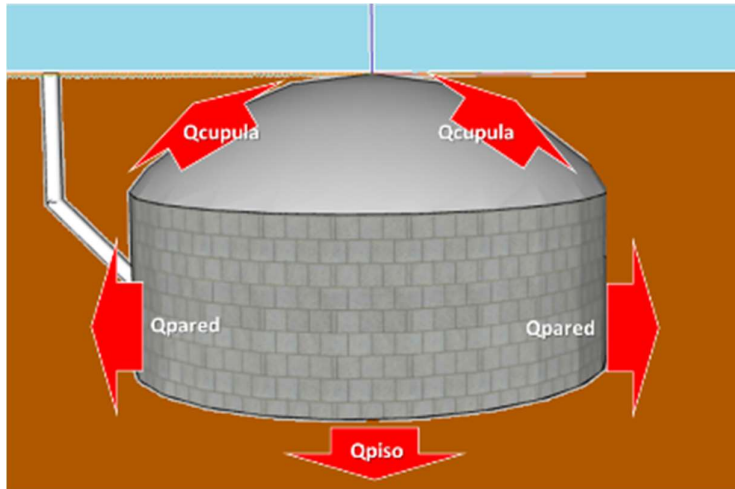


Figura A2.1: Pérdidas de calor por las diferentes caras del biodigestor

Dónde:

Q_{metano} : Es el calor generado por la metanogénesis

$Q_{\text{biodigestor}}$: Es el calor dentro del biodigestor

Q_{cupula} : Es el calor que se pierde por la cúpula del biodigestor

Q_{pared} : Es el calor que se pierde por las paredes del biodigestor

Q_{piso} : Es el calor que se pierde por el piso del biodigestor

Para el cálculo de la cantidad de energía necesaria se tomarán las siguientes premisas:

- La pérdida de calor es asimétrica entre las caras del biodigestor.
- La reacción exotérmica de la metanogénesis no es significativa.
- Las propiedades de los materiales y del digestato es constante.
- La incidencia de los rayos solares no es considerada como relevante.

Las pérdidas de calor se generan por conducción al estar enterrado entre el biodigestor y la tierra. Por lo tanto, este calor se calcula utilizando la fórmula correspondiente a éste tipo de transmisión de calor:

$$Q = U A \Delta T$$

U = Coeficiente de conductividad térmica del material [$\text{W} / \text{K m}^2$]

e = Espesor del material [m]

A = Área de contacto [m^2]

ΔT = Gradiente de temperatura [K]

Los valores típicos de conductividad térmica (U) son [45]:

- Cúpula de hormigón – Suelo_(Aire): 0,34 W/(m² K),
- Pared hormigón - Suelo: 0,30 W/(m² K),
- Piso de hormigón – Suelo: 0,15 W/(m² K),

Por lo tanto:

$$Q_{\text{digestato}} = 0 \text{ W}$$

$$Q_{\text{cupula}} = 0,34 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} * 18,6 \text{ m}^2 * (303,2 - 279,7) \text{ K} = 149 \text{ W}$$

$$Q_{\text{pared}} = 0,30 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} * 23,6 \text{ m}^2 * (303,2 - 279,7) \text{ K} = 167 \text{ W}$$

$$Q_{\text{piso}} = 0,15 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} * 15,4 \text{ m}^2 * (303,2 - 279,7) \text{ K} = 55 \text{ W}$$

$$Q_{\text{calefaccion}} = Q_{\text{cupula}} + Q_{\text{pared}} + Q_{\text{piso}} - Q_{\text{digestato}} = 371 \text{ W}$$

Es decir, la pérdida total de calor por conducción a ser compensada es de 371 W.

3. Calentamiento de los residuos alimentados

Por otro lado, la energía necesaria para elevar la temperatura de los 188 kg de restos de comida y de cocina que se alimentan diariamente al biodigestor, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = cp \ m \ \Delta T \ [\text{J}]$$

cp: Capacidad calorífica específica [J/kg K]

m: Masa a calentar [kg]

ΔT: Diferencia de temperatura entre el estado inicial y el deseado [K]

Dónde:

C_p_{agua}: 4,18 kJ/kg K

C_p_{residuos}: 2,72 kJ/kg K [46]

Siendo que los residuos se generan en el interior del comedor y de la cocina y que son alimentados en el biodigestor sin almacenamientos a la intemperie, se podría considerar como si los alimentos estuvieran a temperatura ambiente (24°C). Sin embargo, dado que también hay residuos fríos como las ensaladas y restos congelados que se generan durante la preparación, para el cálculo se considera que los residuos tendrán una temperatura 40% menor a la temperatura ambiente, concluyendo entonces que ingresarán al biodigestor a 15°C de temperatura. En cuanto al agua, la misma se encuentra a

temperatura ambiente ya que será reutilizada de procesos industriales y/o descarte, pero en todos los casos siempre se encuentra a temperatura del ambiente; por lo que se considera para el cálculo la peor condición de 6°C, correspondiente al promedio más frío del año.

$$Q_{\text{sustrato}} = Q_{\text{agua}} + Q_{\text{residuos}}$$

$$Q_{\text{sustrato}} = 4,18 * 188 * 15 \text{ kJ} + 2,72 * 188 * 24 \text{ kJ} = 11.787 \text{ kJ} + 12.273 \text{ kJ} = 24.069 \text{ kJ}$$

Para poder calcular la potencia necesaria se debe definir en qué rango de tiempo se debe lograr elevar la temperatura. A menor temperatura mayor potencia necesaria, por lo que se define un tiempo de 3 horas el cual no impacta considerablemente en el reactor (afectando la metanogénesis) ni incrementa la necesidad del sistema.

$$Q_{\text{sustrato}} = \frac{24.069 \text{ kJ}}{3 \text{ h} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 2,23 \text{ kW}$$

4. Requerimiento de potencia

La potencia total que el sistema de calefacción deberá entregar para mantener la temperatura en 30°C del digestato y nuevo sustrato dentro del biodigestor es:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{calefaccion}} + Q_{\text{sustrato}} = 0,371 \text{ kW} + 2,230 \text{ kW} = 2,601 \text{ kW}$$

5. Diseño del sistema solar

La instalación solar térmica consistirá en paneles solares fotovoltaicos que acumularán energía en baterías, que proveerán corriente eléctrica a resistencias eléctricas dentro del biodigestor, las cuales mantendrán la temperatura en 30°C.

Las resistencias elegidas serán del tipo planas (Figura A2.2) para abarcar mayor superficie de contacto y lograr un calentamiento más homogéneo. Las placas estarán repartidas a lo largo de la pared interior, ubicadas a una altura que va entre 0 y 47 cm del cilindro principal del biodigestor, ya que por encima de ese nivel se encontraría el biogás a máxima producción. Más precisamente, se ubicarán alternadas en altura entre los 20 cm y 30 cm; además de colocarse en una columna central para facilitar la homogeneidad.



Figura A2.2: Resistencia eléctrica plana marca Fadri ²⁹

Las placas seleccionadas serán de acero inoxidable y tendrán una capacidad de 4 W/cm², por lo que se requerirá de una superficie total de 675 cm², que será repartida sobre un área de 180.950 cm², además se agregará un 10% (70 cm²) más de superficie que se colocará en la columna central para mayor distribución y homogenización del calor. Las placas seleccionadas tendrán un tamaño de 15 cm x 5 cm, requiriéndose por lo tanto 9 placas en la pared del biodigestor más 1 placa en el centro. El costo por las placas, accesorios (cables, fusibles, conectores, fijaciones y 3 termostatos de 1000 W), más la instalación es de 454 u\$s más IVA (A una tasa de cambio de 101 AR\$/u\$s).

En cuanto a los paneles fotovoltaicos, la zona a ubicarlos posee una media aproximada de radiación solar de 2000 kWh/m² (Figura A2.3) siendo apta para poder realizar la instalación, dado que además la ubicación de dónde será colocado el biodigestor está libre prácticamente de sombras.



Figura A2.3: Radiación directa sobre el área de Campana, Buenos Aires ³⁰

²⁹ Fuente: Catalogo del fabricante Fadri. <https://www.fadriza.com/>

³⁰ Fuente: <https://globalsolaratlas.info/map?c=-34.16892,-59.107819,11&s=-34.171476,-58.973923&m=site>

La capacidad del sistema solar deberá poder proveer 2,7 KWh a 220V, por lo que se requerirán 12,3 Ah. En el mercado (del proveedor SolarLine), se consigue sistema compuesto por 3 paneles solares fotovoltaicos 285WP con un set de baterías de 24V e inversor, los cuales tiene un costo de u\$s 2.380 más IVA y un costo de instalación estimado en 1.000 u\$s más IVA.



Figura A2.4: Equipo de paneles solares fotovoltaico e inversor³¹

Considerando la posibilidad de expansión a otras organizaciones industriales y PyMEs, la incidencia solar considerada para éste caso piloto es prácticamente – descontando el centro sur de la Patagonia Argentina – la zona con menor nivel de incidencia solar del país, según se observa en la Figura A2.5. Por lo tanto, esta condición sería de las más desfavorables para el abastecimiento de energía a las resistencias.

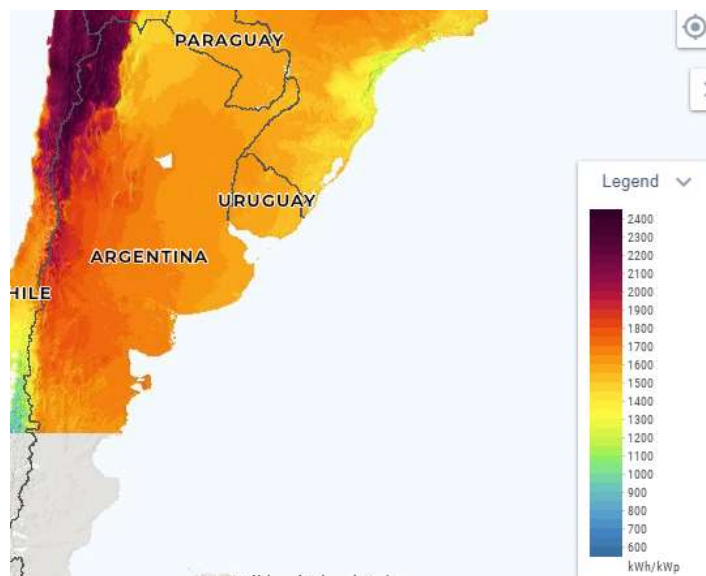


Figura A2.5: Mapa de incidencia solar en Argentina³²

³¹ Fuente: Proveedor del sistema solar. <https://www.solaryeolicasrl.com.ar/>

³² Fuente: <https://globalsolaratlas.info>

Apéndice III: Cañería entre tanque de alimentación y biodigestor

Programa del Sistema Awaduct // Tuberías		
Desagües cloacales y pluviales		
	Código	Largo metros
	ø 32 (M-M)	1060 3,00
	1001 0,25	
	1002 0,50	
	1003 0,75	
	1004 1,00	
	1005 1,50	
	1006 2,00	
	1007 3,00	
	1008 4,00	
	1010 0,25	
	1011 0,50	
	1012 0,75	
	1013 1,00	
	1014 1,50	
	1015 2,00	
	1016 3,00	
	1017 4,00	
	1019 0,25	
	1020 0,50	
	1021 0,75	
	1022 1,00	
	1023 1,50	
	1024 2,00	
	1025 3,00	
	1026 4,00	
	1071 0,50	
	1073 1,00	
	1075 2,00	
	1076 3,00	
	1077 4,00	
	1028 0,25	
	1029 0,50	
	1030 0,75	
	1031 1,00	
	1032 1,50	
	1033 2,00	
	1037 2,70	
	1034 3,00	
	1035 4,00	
	1036 6,00	
	ø 110 RIGID (M-H)	1040 4,00
	ø 110 PLUVIAL (M-H)	1050 3,00
	1051 4,00	
	5007 0,25	
	5008 0,50	
	5009 1,00	
	ø 160 (M-H)	5001 3,00
	5002 4,00	
	5003 6,00	

Cuadro A3.1: Catálogo de tubos ofrecidos y modelo necesario para la instalación³³

³³ Fuente: Catálogo de productos de Awaduct

Conexiones

Curva 97° 30' M-H

Código	Ø
2187	40
2188	50
2189	63
2090	110

Codo a 87° 30' H-H

Código	Ø
2265	32
2045	40
2046	50
2047	63

Conexiones Hembra Compuesta H-HC

Código	Descripción	Ø
2248 (REF 1)		110
2243 (REF 2)		110
2223 (REF 3)		110 x 110
2224 (REF 3)		110 x 63
2215 (REF 4)		110

Pa.
pendiente

Codo con base a 87° 30' M-H

Código	Ø
2017	110

Codo a 45° M-H

Código	Ø
2001	40
2000	50
2003	63
2000	75
2004	110
6002	160

Codo Alto Impacto M-H

Código	Descripción	Ø
2035	con base 87° 30'	110
2255	45°	110
2254	c/doble inspección	110

Diseño Industrial

Codo a 87° 30' M-H

Código	Ø
2005	40
2006	50
2007	63
2009	75
2008	110
6001	160

Codo M-H Ø 110

Código	Ángulo	Ø
2060	15°	110
2094	30°	110
2065	67° 30'	110

Codo a 45° H-H

Código	Ø
2252	32
2040	40
2041	50
2042	63

Codo Poligonal

Código	Descripción	Ø
2100	HH	40
2103	MH	40
2105	HH	50
2107	MH	50

Diseño Industrial

Cuadro A3.2: Catálogo de codos y accesorios de tubos³⁴

El costo por el tubo y dos codos es de u\$s 77,5 a una tasa de cambio de 101 AR\$/u\$s.

³⁴ Fuente: Catálogo de productos de Awaduct

Apéndice IV: Cañería y accesorios de gas

1. Cañería principal de biogás

La distancia desde el punto de generación hasta el punto de consumo es de 63 metros lineales, incluyendo la elevación mínima exigida para poder cruzar la calle de 4,90 metros desde el nivel del suelo.



Figura A4.1: Cañería principal de alimentación de biogás

La cañería seleccionada son tubos de polietileno con almas de acero los cuales permiten trabajar con termofusión, y la marca seleccionada es “Sigas”. Para poder dimensionar el diámetro de la cañería es necesario calcular el volumen de gas a consumir en el tiempo y su distancia de transporte.

Para ello primero estimamos el caudal de consumo actual asumiendo una demanda pareja a lo largo del tiempo de los artefactos de cocina, por lo que el ritmo de consumo del biogás (Q_{bio}) será igual al caudal actual (Q_{red}) tal como se puede ver en la siguiente ecuación:

$$Q_{bio} = Q_{red} = \frac{V}{t} = \frac{103 \text{ m}^3}{4 \text{ h}} = 25,75 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

Caudales en m³ de gas por hora para diferentes diámetros y longitudes

Densidad: 1,52

De: Diámetro externo en mm.

Di: Diámetro interno en mm.

Caída de presión: 10 mm

Longitud tubería (m)	de 20,00 di 13,24	de 25,00 di 18,19	de 32,00 di 24,94	de 40,00 di 33,00	de 50,00 di 42,80	de 63,00 di 54,84	de 75,00 di 63,00	de 90,00 di 74,00	de 110,00 di 94,00	Longitud tubería (m)	de 20,00 di 13,24	de 25,00 di 18,19	de 32,00 di 24,94	de 40,00 di 33,00	de 50,00 di 42,80	de 63,00 di 54,84	de 75,00 di 63,00	de 90,00 di 74,00	de 110,00 di 94,00
1	3,658	8,094	17,816	35,880	68,734	127,734	180,682	270,173	491,341	55	0,493	1,091	2,402	4,838	9,268	17,224	24,363	36,430	66,252
2	2,587	5,723	12,598	25,371	48,602	90,322	127,761	191,041	347,430	60	0,472	1,045	2,300	4,632	8,874	16,490	23,326	34,879	63,432
3	2,112	4,673	10,286	20,715	39,684	73,747	104,317	155,985	283,676	65	0,454	1,004	2,210	4,450	8,525	15,843	22,411	33,511	60,943
4	1,829	4,047	8,908	17,940	34,367	63,867	90,341	135,087	245,670	70	0,437	0,967	2,129	4,288	8,215	15,267	21,596	32,292	58,774
5	1,636	3,620	7,967	16,046	30,739	57,124	80,803	120,825	219,734	75	0,422	0,935	2,055	4,155	7,975	14,855	20,955	31,355	56,754
6	1,484	3,204	7,272	14,648	28,061	51,147	72,723	110,288	200,588	80	0,408	0,900	1,970	4,030	7,740	14,450	20,450	30,550	55,254

Cuadro A4.1: Tabla de diámetros de cañería según caudal y largo de instalación (Catálogo Sigas)

Por lo tanto, se requiere tuberías de 74mm de diámetro interno. Cada tira tiene una longitud de 4 metros, por lo que se requieren 17 tiras a un costo total de 1.199 u\$s más IVA (Tasa de cambio 101 AR\$/u\$s).

2. Principales accesorios

- i. Filtro de desulfuración: Ante la imposibilidad de encontrar un filtro dentro del mercado de Argentina acorde al caudal diario (26 m³/h), se opta por realizar uno propio. Tomando de referencia los modelos en otros países se obtiene que se requiere 0,5 kg de lana de acero por cada metro cúbico de biogás; por lo tanto, se requieren 13 kilos de lana de acero (viruta). A su vez, el volumen promedio de lana es de 2008 cm³/kg, consecuentemente se requieren 28.705 cm³. Se diseña un tanque para tal fin con el siguiente diseño de la figura A4.2. El costo del filtro es de 286 u\$s + IVA a una tasa de cambio de 101 AR\$/u\$s (127 u\$s + IVA de lana de acero y 159 u\$s por el tubo)

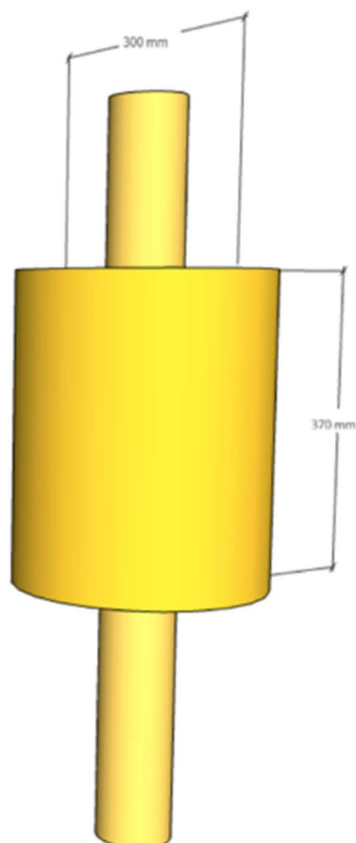


Figura A4.2: Filtro de desulfuración

Válvula reductora de presión: Al final de la línea de biogás antes de dividirse para acoplarse a la red principal, y al reducir la sección a $\frac{3}{4}$ ", se coloca la válvula reductora de presión para poder alimentar las cocinas a su rango de funcionamiento (180 – 220 mm c.d.a). Precio 136 u\$s + IVA (Tasa de cambio 101 AR\$/u\$s).

REGULADOR SALUSTRI GS 40



CARACTERÍSTICAS

Tipo de gas	Gas natural
Densidad relativa	0,610
Etapas de regulación	2
Caudal nominal	36 Nm ³ /h
Presión de entrada (rango)	0,5 a 4 bar
Presión de salida nominal	19 mbar (0,019 bar) +/-5%
Temperatura de funcionamiento	-29°C a +60°C

Figura A4.3: Válvula reductora de presión

- ii. Trampa de agua: los filtros y trampas de agua para gas son, generalmente, hechos para la industria del Oil & Gas manejando presiones y caudales muy superiores a las necesarias. Incluso, los filtros de uso industrial siguen siendo opciones sobredimensionadas y por ende costosas. Por lo tanto, por asesoramiento de profesionales del mercado, se opta por filtros de agua para sistemas neumáticos que pueden cumplir perfectamente con las necesidades de la planta de biogás de esta escala. Se escoge un filtro regulador con trampa de agua y manómetro marca Wembley, el rango de trabajo de 0 a 7 bares y por el tamaño de las roscas (1") y mejora en el sistema de transporte del biogás se instalará a la salida del biodigestor. El costo es de 29 u\$s + IVA a una tasa de cambio de 101 AR\$/u\$s.



Figura A4.4: Trampa de agua

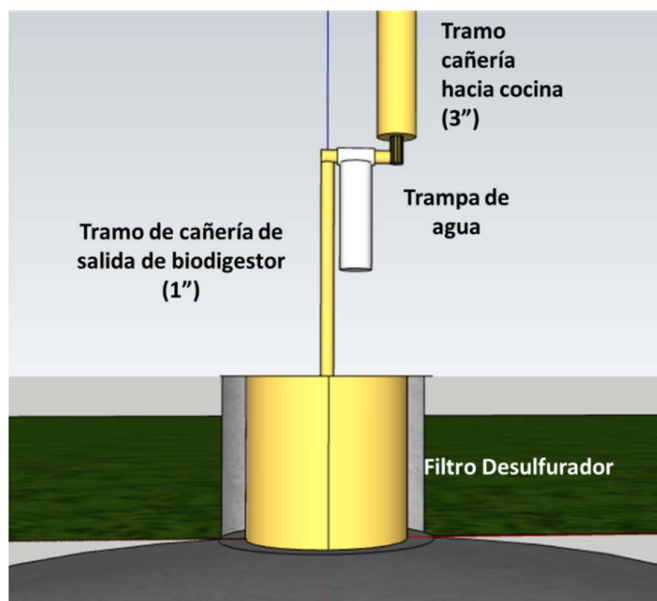


Figura A4.5: Conexión de la trampa de agua con manómetro

iii. Codos, uniones, tramos menores y otros accesorios:

- Caño de 1" entre desufurador y trampa de agua y conexión a red principal:



Figura A4.6: Caño de 1"

Total: 18 u\$ s + IVA (Tasa de cambio: 101 AR\$/u\$s)

- Codo a 90° de 1": 2 unidades antes y después de trampa de agua; más 2 unidades para unión a red principal.



Figura A4.7: Codo a 90° 1"

Total: 9,4 u\$s + IVA (Tasa de cambio: 101 AR\$/u\$s)

- Codo a 90° de 3": 4 unidades a utilizar entre biodigestor y entrada a la cocina.



Figura A4.8: Codo a 90° de 3"

Total: 125 u\$s + IVA (Tasa de cambio: 101 AR\$/u\$s)

- Reductor de 3" de 1": Para poder lograr la reducción, se requieren 3 cuplas que van reduciendo el diámetro de 3" a 2", de 2" a 1,6" y finalmente de 1,6" a 1".

Buje de Reducción Macho-Hembra

Código	Medida
60241040025	40 x 25
60241040032	40 x 32
60241050032	50 x 32
60241050040	50 x 40
60241063040	63 x 40
60241063050	63 x 50
60241075050	75 x 50



60241075063	75 x 63
60241090063	90 x 63
60241090075	90 x 75
60241110075	110 x 75
60241110090	110 x 90

Cuadro A4.2: Bujes reducción Macho-Hembra

Total: 15 u\$s + IVA (Tasa de cambio: 101 AR\$/u\$s)

- Válvula esférica de corte 1": Dos unidades, la primera entre filtro y trampa de agua y la segunda antes de la unión con red principal.



Figura A4.9: Válvula esférica de 1"

Total: 32 u\$s + IVA (Tasa de cambio: 101 AR\$/u\$s)

- Manómetro de baja presión (hasta 250 mbar) en cocina más Te para el acople: Se instalará antes de la unión con la red principal para poder controlar la presión y evitar el contraflujo. Además, se colocará un manómetro y Te a continuación del caño de salida y antes de la trampa de agua.

Te de Reducción Central

Código	Medida
60133025020	25 x 20
60133032020	32 x 20
60133032025	32 x 25



Figura A4.10: Te de reducción central



Figura A4.11: Manómetro baja presión

Total: 86,6 u\$s + IVA (Tasa de cambio: 101 AR\$/u\$s)

- Medidor de gas: 1 unidad a ser colocado antes del atrapallamas y de la unión con el gas de red. Mide el consumo acumulado de biogás.



MEDIDOR GAS GALLUS G4

Marca: Itron

MEDIDOR GAS GALLUS G4

- Tipos de gas: Gas natural, LPG y otros gases no corrosivos
- Volumen ciclico: 1,2 dm³
- Rango de temperatura: Gas -10°C a 40°C
- Q min: 0,025 m³/h
- Q max: 6m³/h
- Direccion de flujo: Izquierda a derecha (estandar).
Derecha a izquierda.
- Display: indicador mecanico con 8 tambores (3 decimales)
- Transmision: 0,01 m³/ rotacion.

Figura A4.12: Medidor de gas

Total: 109 u\$s + IVA (Tasa de cambio: 115 AR\$/u\$s)

Apéndice V: Estimación de materiales y costos para la construcción de la planta

En base a las dimensiones se realizó el cálculo de requerimientos de materiales para la obra civil. El mismo, se dividió en las distintas tres partes principales de la planta, pero se busca, a su vez, la optimización de los materiales utilizando los sobrantes. Los precios están expresados en dólares sin IVA a una tasa de cambio de 101 AR\$/u\$s.

Item / Sub item	Costo Unitario [usd]	Unidad medida	Cantidad	Costo sin IVA [usd]
1. Biodigestor				\$ 1.942
Bloque Cemento 13x20x40	\$ 1,02	u	312	\$ 318
Ladrillo común 24x11x5,5	\$ 0,29	u	2875	\$ 825
Bolsa cemento 50 kg	\$ 7,43	u	30	\$ 221
Arena	\$ 43,76	m3	3,2	\$ 140
Pieda partida	\$ 68,91	m3	2	\$ 138
Varilla hierro 10 mm	\$ 19,31	u	5	\$ 97
Varilla hierro 6 mm	\$ 6,66	u	6	\$ 40
Hidrófugo Ceresita	\$ 141,68	200kg	1	\$ 142
Rollo alambre	\$ 5,12	1 kg	4	\$ 20
2. Cámara de compensación				\$ 1.075
Bloque Cemento 13x20x40	\$ 1,02	u	259	\$ 264
Ladrillo telgopor 12x42x100	\$ 2,33	u	54	\$ 126
Bolsa cemento 50 kg	\$ 7,43	u	14	\$ 105
Arena	\$ 43,76	m3	1	\$ 45
Pieda partida	\$ 68,91	m3	1	\$ 69
Varilla hierro 10 mm	\$ 19,31	u	3	\$ 58
Varilla hierro 6 mm	\$ 6,66	u	4	\$ 27
Ceresita 200 kg	\$ 141,68	200kg	0	\$ -
Rollo alambre	\$ 5,12	1 kg	2	\$ 10
Vigueta pretensada (Losa)	\$ 33,7	u	11	\$ 371
3. Cámara de carga				\$ 76
Bloque Cemento 13x20x40	\$ 1,02	u	53	\$ 54
Ladrillo común 24x11x5,5	\$ 0,29	u	0	\$ -
Bolsa cemento 50 kg	\$ 7,43	u	2	\$ 15
Arena	\$ 43,76	m3	0	\$ -
Pieda partida	\$ 68,91	m3	0	\$ -
Varilla hierro 10 mm	\$ 19,31	u	0	\$ -
Varilla hierro 6 mm	\$ 6,66	u	1	\$ 7
Ceresita 200 kg	\$ 141,68	200kg	0	\$ -
Rollo alambre	\$ 5,12	1 kg	0	\$ -

Cuadro A5.1: Apertura de costos de obra civil

Apéndice VI: Base de cálculo de generación de biogás a partir de corte de pasto.

Según la revista DLG Expert Knowledge, en su serie 386 en la cual publican *Biogas from grass: How grassland growths can contribute to producing energy*³⁵, se obtiene un promedio de 300 Nl/kg oDS. Es decir 0,3 m³ por cada kilo de materia orgánica seca (oDS). A su vez, el contenido de materia orgánica seca es el 88% del total de materia seca (DM) que, por su lado, es el 30%, del total del peso del pasto. Por lo tanto, podremos obtener el siguiente rendimiento (Rpasto):

$$Rpasto = 0,3 \frac{m^3 CH_4}{kg oDS} \times 0,88 \frac{kg oDS}{kg DM} \times 0,30 \frac{kg DM}{kg pasto} = 0,0799 \frac{m^3 CH_4}{kg pasto}$$

Paralelamente, según una publicación en el sitio web Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox³⁶, en su informe *Design for a Biogas Plant*³⁷, el rendimiento de los corte de pasto fresco es de 0,44 m³/Kg ST a 35°C y de 0,20 a 0,25 m³/Kg ST entre los 8°C y 25°C. Realizando una ponderación a la temperatura de trabajo, 30°C, se estima que el rendimiento es de 0,345 m³/Kg ST. A su vez, el contenido de sólidos totales (ST) es el 24% del peso total. De esta manera, el rendimiento en la generación de biogás se puede calcular como:

$$Rpasto = 0,345 \frac{m^3 CH_4}{kg ST} \times 0,24 \frac{kg ST}{kg pasto} = 0,0828 \frac{m^3 CH_4}{kg pasto}$$

En conclusión, utilizando dos métodos y fuentes distintas se llegan a valores muy similares (3,5% de diferencia) de rendimiento de metano por kilogramo de pasto fresco cortado. Se toma el valor de 0,0828 $\frac{m^3 CH_4}{kg pasto}$ como valor al poder utilizarse la temperatura de trabajo estipulada.

³⁵ https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_386_e.pdf

³⁶ <https://sswm.info/>

³⁷

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BRC%20ny%20Design%20Biogas%20Plant.pdf

Apéndice VII: Memoria de cálculo: Balance de emisiones de dióxido de carbono

- Emisiones durante el proceso de extracción hasta el abastecimiento

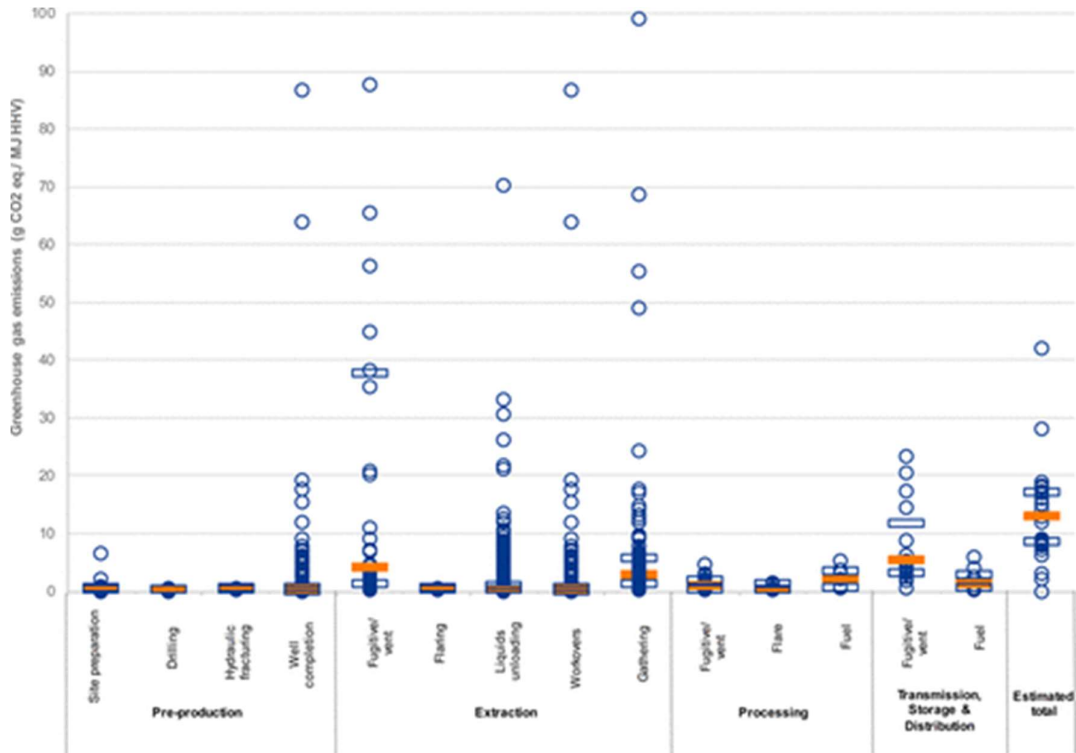


Figura A7.1: Generación de dióxido de carbono a lo largo del suministro de gas natural [37]

De la figura A7.1 se desprende que un metro cúbico de gas corresponde a 37 MJ_{HVV} por lo que el gas natural que se dejaría de consumir (17,87 m³) es equivalente a 659,71 MJ_{HVV}.

Luego, siendo que se obtiene 1 MJ_{HVV} de una masa de 0,014 kg de gas natural, para 659,71 MJ_{HVV} finalmente se obtiene que se generará 9,24 kg de dióxido de carbono.

- Según lo definido en el informe llamado *Lineamientos para la eficiencia energética y el desarrollo de bajo carbono en el Transporte Automotor de Cargas (TAC)* emitido por el Instituto del Transporte de la UNSAM durante el 2016, un camión de porte mayor a 3,5 T consume 0,4 l/km y emite 2,58 kg CO₂ /l. Considerando el viaje de ida y vuelta desde el CEAMSE Buen Ayre, realiza 124 kilómetros con una frecuencia de 3 días. Lo que da un total promedio diario de 42,71 kg CO₂.
- La combustión de gas natural produce 2,15 kg/m³ según la *Guía práctica para el*

cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la Oficina Catalana del cambio climático del 2011. Por lo tanto, se podría evitar generar 38,33 kg de CO₂ al no quemar 17,87 m³ de gas natural.

- Los residuos orgánicos que van a los vertederos, y allí no reciben ningún tipo de proceso más que su descomposición no controlada, pueden llegar a emitir 4,2 kg de CO₂ por cada kilo de residuo orgánico. Este valor fue obtenido del sitio de internet *energía-on* el cual cita a Power Knot LLC y a los valores de la E.P.A. (U.S. Environmental Protection Agency). Consecuentemente, se emiten 789,60 kg de CO₂ como consecuencia de los 188 kg. de residuos de comida que se generan.
- La entrega de bolsas para el biosol y los bidones del biol se realiza desde proveedores ubicados en la Ciudad de Buenos Aires (Saavedra y Caballito respectivamente).

Para las bolsas se recibirá un pedido de 500 bolsas cada 3 meses lo que insume 138 km repartido en promedio cada 90 días (60 días hábiles). Así, se realizarán en promedio 2,3 kilómetros diarios emitiendo 2,38 kg de CO₂.

Para los bidones se considera una compra mensual, lo que conlleva a 7,95 km diarios (159 km cada viaje de ida y vuelta), y manteniendo los mismos niveles de consumo mencionados, se emitirán 8,22 kg de CO₂.

- La emisión durante la combustión del biogás es muy parecida a los valores del gas natural. Según se pudo detectar, el biogás emite un 2,7% menos que el gas natural, dando como resultado una emisión diaria de 37,33 kg de CO₂.
- Por último, tanto el biol como el biosol son despachados semanalmente a un cliente ubicado en la Ciudad de Buenos Aires a una distancia, ida y vuelta, de 159 kilómetros. Manteniendo las mismas premisas de consumo y emisiones, se emiten a la atmósfera 32,86 kg de CO₂.

Glosario

Ah	Amper-hora. Unidad de energía que pasa a través de unos terminales.
ATP	Es un nucleótido fundamental en la obtención de energía celular.
Batch	Es un método de fabricación en el que los productos son hechos en grupos o cantidades específicas, dentro de un marco de tiempo: en lotes.
Benchmark	La palabra inglesa benchmark se utiliza comúnmente para designar comparativas de rendimiento.
Biofertilizante	Insumos formulados con uno o varios microorganismos benéficos, los cuales aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
Bonos de carbono	Mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global y efecto invernadero.
Capacidad calorífica específica	También llamado calor específico o capacidad térmica específica es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad.
CEAMSE	La Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) es una empresa pública creada para realizar la gestión integral de los residuos sólidos urbanos del AMBA.
Cota isotérmica	Indica la profundidad hasta la cual la superficie del suelo intercambia calor con la atmósfera.
Digerido	Material residual que se genera a partir de la digestión anaeróbica.
Digestato	Material residual que se genera producto de la digestión anaeróbica.
Enzima	Las enzimas son moléculas orgánicas que actúan como catalizadores de reacciones químicas, es decir, aceleran la velocidad de reacción.

Fertilizante foliar	Es aquel cuyos elementos nutritivos se destinan a ser aplicados, normalmente por pulverización, a la masa foliar del cultivo. Este tipo de abonos se aplican básicamente a través de soluciones acuosas.
HDPE	El polietileno de alta densidad es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos, o de los polietilenos. Es un termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno.
Help yourself	Modalidad en la que el consumidor se sirve o atiende a si mismo.
Inoculante	Biopreparado que permite mantener vivas y activas las bacterias seleccionadas por su capacidad y efectividad.
K	Grados Kelvin. Unidad de temperatura.
kW	Kilo Watt, unidad de potencia equivalente a 1000 Watts.
Liquefacción o licuefacción	La licuefacción hidrotérmica es un proceso a temperaturas moderadas (<350 °C) y presiones medias (<150 bar) útil para convertir compuestos orgánicos o biomasa húmeda en una mezcla de compuestos que pasan a formar lo que se denomina un biocrudo, de interés industrial como combustible o materia prima para la obtención de compuestos químicos.
Metano	Gas natural, incoloro e inodoro que se produce debido a la descomposición o la digestión de materia orgánica, como las plantas. Su fórmula química es CH ₄ (un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno). Se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias.
Microbiótica	La microbiota normal o microbioma es el conjunto de microorganismos que se localizan de manera normal en distintos sitios de los cuerpos de los seres vivos pluricelulares.
mm c.d.a.	Unidad de presión del sistema técnico de unidades, que equivale a la presión ejercida por una milésima parte de una columna de agua pura (a 4 °C) de un metro de altura y al nivel del mar.
Número de Potencia	Número adimensional comúnmente utilizado que relaciona la potencia de resistencia con la potencia de inercia.

Número de Reynolds	Es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. Su valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento.
Oligoalimentos	A veces llamados bioelementos temporales, son minerales presentes en pequeñas cantidades en los seres vivos y tanto su ausencia como su exceso puede ser perjudicial para el organismo.
Pa*s	Pascal segundo. Unidad física de viscosidad dinámica. Equivale a 1 kg/(m*s).
pH	Medida de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. La sigla significa potencial de hidrógeno o potencial de hidrogeniones.
Polímero	Sustancia compuesta por grandes moléculas, o macromoléculas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros.
PVC	El cloruro de polivinilo _n es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil.
Recursos bióticos	Son los que nos brinda la naturaleza, los cuales el hombre utiliza, para producir bienes y servicios, y que se regeneran por la ley natural, siempre y cuando se exploten de manera racional. Ejemplo: las plantas y animales y sus productos.
RSU	Residuos sólidos urbanos.
RSUD	Residuos sólidos urbanos domiciliarios.
Siloxanos	Grupo de compuestos que contienen silicio, oxígeno e hidrógeno. Se polimerizan con facilidad dando siliconas.
SPC	Siglas del inglés Statiscal Process Control. El control gráfico de procesos se basa en técnicas estadísticas, lo que permite usar criterios objetivos para distinguir variaciones de fondo.

SENASA	El Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria es un organismo sanitario argentino encargado sobre todo de la fiscalización y certificación de los productos y subproductos de origen animal y vegetal, sus insumos y residuos agroquímicos.
Sustrato	En Bioquímica: Sustancia sobre la que actúa una enzima.
Tratado de Kyoto	Es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero (GEI).
W	Watt, unidad de potencia.