

RETO # 2	¿Cómo podríamos potenciar la producción de biogás en la digestión de vinaza/cachaza de las fábricas de procesamiento de caña?
DATOS BÁSICOS DEL RETO	
Descripción corta del reto	La agroindustria de la caña de azúcar genera grandes volúmenes de cachaza proveniente del proceso de clarificación, y de vinaza como residuo de la producción de etanol en las destilerías. Ambos sustratos son ricos en materia orgánica, pero su manejo individual presenta desafíos: donde la vinaza es ácida y tiene una alta Demanda Química de Oxígeno (DQO), mientras que la cachaza presenta una alta proporción de sólidos volátiles y una textura fibrosa que dificulta su bombeo, mezcla y digestión homogénea. Aún no existen sistemas a gran escala que integren eficientemente estos dos flujos residuales mediante co-digestión. Esta falta de integración limita la capacidad para estabilizar el proceso anaerobio, mejorar la cinética de metanogénesis y alcanzar la producción de biogás a escala comercial necesaria para justificar la inversión en infraestructura. Las modificaciones fisicoquímicas exitosas de la materia prima (cachaza y vinaza) pueden generar estabilidad de la digestión y maximizar la producción de biogás y la sostenibilidad del proceso de tratamiento de los efluentes de las destilerías mejorando el perfil ambiental de la agroindustria cañera regional.
Valor total	Máximo \$ 221 millones de pesos colombianos (COP) como incentivo a entregar al innovador, para efectos de la ejecución del piloto en ambiente relevante.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA		
Población Afectada	Los ingenios de caña de azúcar que producen cachaza y vinaza en su proceso productivo y requieren la valorización de sus residuos en productos energéticos.	Línea Base Capacidad productiva del país de 459,7 millones de litros de etanol por año (2024) , con producción de 3,25 millones de litros de vinaza diluida por año (2024) ¹² y capacidad de procesamiento de 22,13 millones de toneladas de caña al año (2024) ² , con producción de 885,2 mil toneladas de cachaza por año (0,04 t cachaza/t caña ³). En el país no se cuenta con un proceso de digestión anaerobia industrial de vinaza y cachaza.

El Valle del Cauca se erige como el corazón de la agroindustria de la caña de azúcar en Colombia, una actividad que, si bien es fundamental para la economía regional, genera un flujo continuo y masivo de subproductos orgánicos con un inmenso potencial energético aún no capitalizado plenamente. Hablamos específicamente de la vinaza (el efluente líquido residual de las destilerías de etanol) y la cachaza (el lodo fibroso resultante de la clarificación del jugo de caña). La disponibilidad de estos sustratos es constante y su proximidad geográfica a los centros de procesamiento es una ventaja logística inigualable.

Por su parte, la corporación autónoma regional del Valle del Cauca – CVC regula la aplicación directa de vinaza y cachaza al suelo permitiendo su uso en campo únicamente con un proceso de compostaje previo, mecanismo por el cual se aporta contenido orgánico y mineral al suelo para el cultivo de caña. No obstante, la problemática fundamental que impide la optimización de la producción de biogás reside en la naturaleza fisicoquímica intrínseca de estos materiales, para el escalamiento de los procesos biológicos de la digestión anaerobia y los requerimientos técnicos para la disposición ambiental del digestato. Dado que la región procesa millones de toneladas de caña anualmente, el volumen de carbono orgánico potencialmente removible (medido en términos de Demanda Química de Oxígeno - DQO) actualmente no se convierte en biogás, y que por lo tanto debe ser gestionado como residuo, representa un potencial energético para el sector brindando una alternativa para la disposición de residuos y reducción de la carga ambiental.

En los últimos años, el ecosistema industrial se encuentra estático ante la ausencia de soluciones probadas y escalables que logren modificar eficientemente la composición de la vinaza para hacerla apta para la metanogénesis. La situación ha cambiado de ser meramente un problema de disposición ambiental a convertirse en un cuello de botella técnico crítico que obstaculiza la generación de energía renovable a escala comercial sostenible. Históricamente, la respuesta del sector a nivel mundial ha centrado su tratamiento in situ, tanto para la aspersión directa en campo, como para su transformación en energía para autoconsumo; En la situación de Colombia, la implementación de tecnologías para su transformación en bioenergía se ha postergado sin antes resolver la variable de alta carga orgánica y las restricciones regulatorias locales para su aprovechamiento y disposición. La coyuntura actual, impulsada por la estrategia de transición energética y la imperiosa necesidad de cumplir metas de descarbonización, exige una solución que integre el residuo en la cadena de valor energética, lo que nos obliga a enfrentar directamente los factores fisicoquímicos limitantes de la vinaza y de la cachaza para su aprovechamiento.

A continuación, se exponen los problemas más comunes relacionados a la digestión de vinaza y cachaza. La vinaza presenta una Demanda Química de Oxígeno (DQO) excepcionalmente alta, frecuentemente superando los 15.000 mg/L, más crítica aún es su marcada acidez, con un pH promedio que oscila entre 4.0 y 4.5⁴. Este rango de pH es altamente tóxico para la población clave del proceso de metanogénesis, donde las bacterias responsables de la producción de metano son extremadamente sensibles y requieren condiciones de pH neutras o ligeramente alcalinas, idealmente entre 6.8 y 7.5, para operar con máxima eficiencia. En condiciones de pH bajo, la alcalinidad natural del sistema es insuficiente para amortiguar la acidez generada durante las etapas iniciales de la digestión anaerobia, como la hidrólisis y la acidogénesis. La acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) —productos intermedios de estas primeras fases— provoca un colapso del pH, lo que detiene abruptamente la metanogénesis. En plantas que intentan procesar vinaza sin un pretratamiento químico o biológico efectivo, la consecuencia directa es una drástica reducción en la tasa de producción de metano que se traduce en una pérdida sustancial de la capacidad teórica de producción de biometano.⁵

En paralelo a la toxicidad de la vinaza, la cachaza presenta desafíos operativos significativos relacionados con su factor reológico. Aunque la cachaza es rica en materia orgánica biodegradable y es el producto de la clarificación del licor de caña (un paso necesario para remover turbidez y compuestos de coloración en el azúcar), es un subproducto que requiere un manejo desde el proceso. Esta

¹ Invest Pacific 2025. Estudio de prefactibilidad planta de SAF en el Valle del Cauca. Webpage: investpacific.org/es/centro-de-informacion/noticias/estudio-de-prefactibilidad-planta-de-saf-en-el-valle-del-cauca/

² La agroindustria de la caña, un sector con propósito, informe anual 2025-2025. Webpage: <https://www.asocana.org/modules/documentos/17797.aspx>

³ Dias, M. O. S (2008). Simulação do processo de produção de Etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço (Tese de Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Cam, SP.

⁴ Invest Pacific 2025. Estudio de prefactibilidad planta de SAF en el Valle del Cauca. Webpage: investpacific.org/es/centro-de-informacion/noticias/estudio-de-prefactibilidad-planta-de-saf-en-el-valle-del-cauca/

⁵ Mostafa Parsaee, Mostafa Kiani Deh Kiani, Keikhosro Karimi. A review of biogas production from sugarcane vinasse. Biomass and Bioenergy. Volume 122, 2019, Pages 117-125. ISSN 0961-9534. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.034>.

característica dificulta enormemente las operaciones unitarias esenciales dentro de un biodigestor: el bombeo, la mezcla y la distribución homogénea dentro del reactor. Si no se maneja adecuadamente, esta fibrosidad promueve la formación de costras superficiales o la sedimentación en el fondo del tanque, creando zonas anaerobias estancadas que no contribuyen a la producción de biogás y que, además, complican el vaciado y la limpieza del reactor. Por lo tanto, la cachaza requiere una pre-homogenización o desintegración mecánica sustancial para el proceso de digestión

La problemática central, por ende, se resume en una relación crítica de inhibición: la acidez/alta DQO de la vinaza interactúa negativamente con la baja biodisponibilidad y los problemas reológicos de la cachaza. Esta combinación resulta en una potente Inhibición del proceso biológico global, traduciéndose directamente en una baja tasa de producción de biogás y, consecuentemente, en un desperdicio de recursos energéticos y un incumplimiento de las obligaciones ambientales.

A esta barrera técnica se suma un desafío regulatorio y económico. En primer lugar, el digestato resultante del proceso de digestión, que debería ser un subproducto valioso, enfrenta restricciones regulatorias significativas regionales para su uso como fertilizante orgánico en el sector agrícola, principalmente en su certificación de biosólidos, lo que obliga a costosas gestiones técnicas y operacionales para su disposición final. En segundo aspecto, existe una ausencia notable de incentivos directos y estables (tarifarios o fiscales) para escalamiento de proyectos de biogás, a diferencia de otras fuentes renovables. Esta falta de apoyo y la dificultad para valorizar el subproducto principal inhiben la rentabilidad del proyecto, haciendo inviable la inversión necesaria para estos proyectos.

La agroindustria de la caña de azúcar del país procesó en el año 2024 un total de 22,13 millones de toneladas de caña. Donde, por cada tonelada de caña procesada se obtienen aproximadamente 0,04 toneladas de cachaza⁶, lo que resulta en un total de 885,2 mil toneladas de este lodo fibroso. Por su lado, el procesamiento de las mieles en las destilerías para la producción de etanol cuenta con una capacidad instalada para la producción de etanol de 2,15 millones de litros diariamente, para 2024 la producción cerró en 459,7 millones de litros, donde el volumen de vinaza producida estuvo por el valor de 3,25 millones de litros de vinaza. Esta información del procesamiento en planta, resaltan la escala del desafío y el potencial energético asociado a estos residuos.

Antecedentes

El desafío de maximizar la producción de biogás a partir de residuos orgánicos se enmarca en un contexto de transición energética y descarbonización que el Grupo Ecopetrol (GE) ha priorizado activamente en los últimos años. La problemática de la baja valorización del biogás, que resulta en costos operativos y de inversión no optimizados, encuentra un punto de comparación directo en los esfuerzos del GE por gestionar sus propias emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente el metano.

En el ámbito de las energías renovables, el GE ha invertido en proyectos solares y eólicos, además está explorando activamente el desarrollo de biocombustibles y la producción de hidrógeno verde⁷, incluyendo el uso de electrólisis y la evaluación de mezclas de hidrógeno con gas natural⁸, como se ha visto en proyectos piloto en la refinería de Cartagena.

Actualmente, la gestión de residuos y la exploración de energías no convencionales en el GE se manejan a través de su Instituto Colombiano del petróleo y energías para la transición (ICPET), el cual impulsa la investigación en optimización de procesos y desarrollo de productos bajos en carbono, impulsando la consolidación de una cultura de reducción de metano y la implementación exitosa de proyectos de energías renovables como: la solar y el hidrógeno verde en alianza con empresas del ecosistema.

A nivel de escala industrial, el país cuenta con proyectos relevantes que aprovechan residuos agrícolas, pecuarios, industriales y lodos de PTAR. La información consolidada para la región del Pacífico revela una participación mayoritaria de los ingenios azucareros, procesando vinaza para la producción de biogás (ejemplos en Palmira,

⁶ Dias, M. O. S (2008). Simulação do processo de produção de Etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço (Tese de Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Cam, SP.

⁷ Webpage:

https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/?1dmy&page=detalleNoticias&uril=wcm%3apath%3a%2Fecopetrol_wcm_library%2Fases%2Fnoticias%2B2021%2Fel-grupo-ecopetrol-inici-la-produccion-de-hidrogeno-verde-en-colombia

⁸ Webpage: [https://naturgas.com.co/con-planta-piloto-en-cartagena-promigas-produce-15-toneladas-de-hidrogeno-verde/](https://nатурgas.com.co/con-planta-piloto-en-cartagena-promigas-produce-15-toneladas-de-hidrogeno-verde/)

Candelaria, La Paila/Zarzal en el Valle del Cauca, y Ortigal en el Cauca). Adicionalmente, se encuentran instalaciones clave como la PTAR Cañaveralejo en Cali y la planta de Huevos Kikes en el Cauca, enfocadas en autogeneración eléctrica⁹.

A nivel nacional, los proyectos industriales destacados incluyen grandes PTARs como Salitre y Bello, y numerosas plantas extractoras de aceite de palma en el Caribe y los Llanos Orientales (Meta, Cesar, Magdalena), donde el biogás se destina mayormente a la generación de energía eléctrica (cogeneración)¹.

En el país, aunque existe un marco para las energías renovables, la regulación del biogás y biometano ha avanzado significativamente para fomentar su reconocimiento y uso en proyectos de bioenergía. La Ley 1715 de 2014 sentó las bases al establecer el marco legal para la integración de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), incluyendo el biogás, en el sistema energético nacional y ofreciendo incentivos para su desarrollo. Complementariamente, la Resolución 240 de 2016 de la CREG define las reglas específicas para el uso del biogás y biometano en servicios públicos de gas, promoviendo su inyección a la red de gas natural para diversas aplicaciones. Además, la Ley 2128 de 2021 y la Ley 2099 de 2021 han impulsado la sustitución de combustibles fósiles y leña por fuentes de energía de transición, y han habilitado el uso de recursos como el sistema general de Regalías (SGR) para financiar proyectos de generación FNCER, incluyendo el biogás, fortaleciendo así la cadena de valor y la economía circular.

ALCANCE			
Objetivo General	Contribuir con la valorización de la vinaza y cachaza de la agroindustria de la caña de azúcar por medio de una tecnología de producción de biogás para impulsar la transición energética regional y nacional.	Indicador y meta	Indicador: máximo volumen de metano producido Meta: ≥60% Nm ³ CH ₄ / Nm ³ biogás ≥6 Nm ³ de metano / m ³ sustrato ¹⁰ Nm ³ = metros cúbicos normales de biogás.
Objetivo Específico 1	E1. Determinar la relación de mezcla óptima (ratio) entre vinaza y cachaza que maximice la tasa de producción de metano en el biogás, asegurando la estabilidad operativa del biodigestor.	Indicador y meta	Indicador: tasa de producción de metano Nm ³ de metano / mezcla de sustrato. Nm ³ = metros cúbicos normales de metano.
Objetivo Específico 2	E2. Estabilizar la producción de biogás a partir de los co-sustratos (vinaza/cachaza).	Indicador y meta	Indicador: KPI's de estabilidad del proceso pH VFA (ácidos grasos volátiles) Tiempo de retención hidráulica Temperatura Relación VFA/alcalinidad Número de HRT operados sin colapso
Objetivo Específico 3	E3. Cuantificar la huella de carbono del biogás obtenido.	Indicador y meta	Indicador: Huella de carbono específica de biogás (ton CO ₂ .eq)

⁹ UPME. Oportunidades del biogás y del Biometano. PIBE Pacífico 2025. Webpage:

https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Hidrocarburos/Publicaciones_SIPG/Oportunidades_del_Biogas_y_del_Biometano_PIBE_Pacifico_2025.pdf

¹⁰ Rodrigo Marcelo Leme, Joaquim E.A. Seabra, Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry, Energy, Volume 119, 2017, Pages 754-766, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.029>.

			Huella de carbono específica: Emisiones Netas/ Nm³ de biogás producido Meta: ≤0,05 kg CO₂.eq /Nm³ biogás ¹¹ Emisiones Netas (ton CO₂.eq): Emisiones del proceso- emisiones evitadas por implementación piloto. Nm³ = metros cúbicos normales de biogás. CO₂.eq= CO₂ equivalente
Objetivo Específico 4	E4. Medir los costos operativos para el escalamiento favorable de la tecnología.	Indicador y Meta.	Indicador: Costo específico del biogás producido (USD/Nm³) Meta: (Capex+Opex) / Nm³ biogás producido ≤0,15 USD/Nm³ ⁽¹²⁾ Nm³ = metros cúbicos normales de biogás.
Público objetivo	Los ingenios de caña de azúcar que producen residuos de cachaza y vinaza proveniente de sus operaciones.	Localización	Departamento del Valle del Cauca Empresa anfitriona: Centro de investigaciones de la caña de azúcar de Colombia – Empresa Anfitriona .

¹¹ IPCC(2006,2019 refinement). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste

¹² Kohlheb, N., Wluka, M., Bezama, A. *et al.* Environmental-Economic Assessment of the Pressure Swing Adsorption Biogas Upgrading Technology. *Bioenerg. Res.* **14**, 901–909 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10205-9>

Partes Interesadas	Parte Interesada 1: Reguladores y operadores del mercado de gas natural. Alcance: Nacional Posición: Cooperante y regulador. Expectativas: Cumplimiento de lineamientos para uso de biogás/biometano Contribución: Regulación técnica. Parte Interesada 2: Empresas transportadoras y distribuidoras de gas natural. Alcance: nacional Posición: Cooperante y beneficiario. Expectativas: Especificaciones técnicas de biometano compatibles con red, suministro estable y costos competitivos. Contribución: Infraestructura de transporte de gas. Parte Interesada 3: Gobierno nacional y entidades públicas Alcance: nacional Posición: Cooperante y beneficiario. Expectativas: Impulso a la transición energética, mayor producción de energía renovable y valorización de subproductos Contribución: Alineación con la política energética; habilitación de instrumentos de fomento Parte interesada 4: Industria cañera y empresas relacionadas Alcance: Departamental posición: Beneficiarios Expectativas: Soluciones para valorización de vinaza y cachaza; reducción de costos de gestión Contribución: Infraestructura, insumos (vinaza y cachaza), operarios, datos operativos; Know-how tecnológico, alianzas para escalabilidad.
PDS - Product Design Specifications	1. Diseñar y realizar mínimo un ejercicio de innovación abierta que permita probar y adaptar tecnologías para dar solución a retos tecnológicos. REQUERIMIENTOS EMPRESA ANFITRIONA: 2. La infraestructura disponible para el piloto debe permitir la adecuada experimentación, asegurando que el sistema de pruebas cuente con un volumen disponible suficiente y de almacenamiento para vinaza y cachaza del proceso productivo; dedicados para la validación de la tecnología de acuerdo con el consumo en volumen (m³/h) / masa (kg/h) requerido para el pilotaje de la tecnología durante la ejecución del piloto dentro de sus instalaciones. 3. La empresa anfitriona (donde se va a desarrollar el piloto) debe garantizar la disponibilidad de un análisis fisicoquímico de la vinaza y cachaza antes de la ejecución del piloto. 4. La empresa anfitriona debe disponer de un área para la experimentación con disponibilidad de servicios industriales (agua limpia y electricidad) para la ejecución del piloto. Así como una ubicación estratégica para la entrada de maquinaria y personal. 5. La empresa anfitriona debe disponer mínimo de un coordinador de actividades dentro de sus instalaciones para dirigir y concertar los requerimientos institucionales para responder técnicamente durante la ejecución del piloto experimental. El anfitrión debe exigir el cumplimiento estricto de las normas para el manejo, producción y disposición de materias primas, productos y residuos. REQUERIMIENTOS SOLUCIONADOR:

6. La tecnología propuesta para el piloto debe contar con experiencia probada en un nivel de madurez tecnológica TRL 7 o superior, donde se pueda validar la experiencia del Sistema/prototipo completo demostrado en ambiente operacional¹³.
7. El innovador debe garantizar la medición de parámetros propios del pilotaje que den cuenta al seguimiento de la operación y la medición de los indicadores de los objetivos propuestos.
8. El piloto debe garantizar medición continua y control del reactor a la entrada y a la salida para las siguientes variables: demanda química de oxígeno - DQO (mg/L), sólidos totales – SST (mg/L), sólidos volátiles – SSV (mg/L), la temperatura de operación del digestor (°C), el pH de operación, ácidos grasos volátiles (mg/L), alcalinidad, nitrógeno amoniacal, el flujo de gas (kg/h), concentración de gases con un analizador de gases (%). El innovador debe establecer la frecuencia de la medición para cada variable en su plan de trabajo.
9. El piloto debe garantizar el venteo y/o quemado del gas producido en el proceso bajo altos estándares de seguridad.
10. El innovador deberá asegurar que, tras el desarrollo del piloto, la tecnología permita calcular en detalle y con soporte la huella de carbono del biogás producido.
11. El innovador debe garantizar para el piloto una operación continua del digestor anaerobio de por lo menos 4 tiempos de retención hidráulica para alcanzar una operación estable¹⁴.
12. Se espera que el innovador realice el piloto de digestión anaerobia en un reactor de 1 m³ de volumen útil o en un volumen superior¹⁴.
13. Es relevante que el innovador cuente con experiencia comprobada en pruebas tecnológicas de digestión anaerobia para la producción de biogás, con diferentes tipos de sustratos. Es fundamental que el innovador aporte registros históricos de desempeño de procesos anteriores de digestión anaerobia.
14. La tecnología debe controlar el efecto de la radiación (en caso de que aplique) para que no se generen afectaciones a los trabajadores ni al medio ambiente.
15. El innovador debe establecer un protocolo de HSE en la operación del piloto al momento del comienzo de la operación del piloto.
16. El innovador debe contar con un manual de operación para el sistema de digestión anaerobia y todos los equipos relacionados, al momento del comienzo de la operación del piloto. Así como garantizar que todos los equipos empleados en el piloto cuentan con el mantenimiento y calibración correspondiente a los estándares para garantizar resultados precisos, confiables y con trazabilidad.
17. El piloto debe maximizar la eficiencia energética requerida para su funcionamiento. Asimismo, se considerará en los criterios de evaluación que la energía utilizada por la tecnología propuesta sea cubierta a partir de fuentes renovables.

¹³ Descripción de Technology Readiness Levels (TRL) de Minciencias.

https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo5_7.pdf

¹⁴ Sakina Belhamidi, Hanane Elkhedime, Omar Elrhaouat, Sarra Kitanou, Mohamed Taky, Azzeddine Elmidaoui, Biogas production from vinasse derived from ethanol manufacturing using a continuous stirred tank reactor pilot plant, Desalination and Water Treatment, Volume 240, 2021, Pages 216-224, ISSN 1944-3986, <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27763>.

18. El diseño del piloto debe contemplar el potencial de escalabilidad de la tecnología, asegurando que los costos Capex/Opex sean competitivos en comparación con tecnologías de referencia en el mercado.
19. El innovador debe cumplir con los requerimientos de HSE y emergencias de la empresa anfitriona para la ejecución del piloto.
20. El innovador debe cumplir la normatividad vigente para la ejecución del piloto: en el manejo, producción, disposición y transporte de materias primas, productos y residuos, trabajo en alturas (si requiere), manejo de gases combustibles y requerimientos ambientales.
21. El innovador debe considerar la gestión de permisos bajo la normatividad vigente para la ejecución del piloto (si se requiere).
22. El innovador debe cumplir con rigurosos estándares técnicos de calidad en la ejecución del piloto, con el fin de garantizar datos reproducibles y replicables.
23. El innovador debe garantizar la participación del personal altamente calificado para la ejecución del piloto.

REQUERIMIENTOS HSE PARA EL SOLUCIONADOR:

El personal del equipo del solucionador que desarrollará el piloto en las instalaciones de la empresa anfitriona al ingresar deben contar con los siguientes requisitos previamente validados y actualizados durante la ejecución del piloto:

- Afiliación y pago de Administradora de Riesgos Laborales (ARL), Entidad promotora de salud (EPS) y Administradora de Fondos de Pensiones (AFP).
 - Todas las personas deben contar con dotación industrial.
 - El equipo del innovador debe contar con medio de transporte previamente registrado.
 - El equipo del innovador debe traer su propia comida, o hacer un convenio con el casino de la empresa anfitriona.
 - El equipo del innovador debe establecer el horario de trabajo o jornada laboral (Acompañado por el Supervisor / coordinador del piloto desde empresa anfitriona).
 - El equipo del innovador debe disponer el tiempo necesario el primer día para una inducción en Seguridad y Salud en el trabajo.
 - El equipo del innovador debe someterse a control de acceso y control de retiro de empresa anfitriona diariamente. Empresa anfitriona ofrece el proceso de carnetización.
1. *Gestión de Energía:* Los equipos deben permanecer encendidos únicamente durante las horas de operación y pruebas. Al finalizar la jornada, el responsable debe apagar el equipo para evitar riesgos de acceso no autorizado en horarios no hábiles.
 2. *Custodia:* El laboratorio o planta piloto y sus componentes serán supervisados por un colaborador designado de la empresa anfitriona, quien actuará como facilitador para asegurar que se cumplan estas mejores prácticas.
 3. *Responsabilidad:* La entidad externa propietaria del equipo asume la responsabilidad total por cualquier vulnerabilidad originada en su hardware o software que pudiera afectar la red de la empresa anfitriona.
 4. *Gestión de olores:* el pilotaje debe evitar la generación de olores ofensivos a la atmosfera y emplear todos los mecanismos necesarios para mitigarlos.
 5. El horario laboral de la empresa anfitriona es de 7 am a 4 pm de lunes a viernes. Si se va a operar en un horario diferente se establecerán las condiciones para tal fin.

6. Entre el 21 de diciembre y hasta el 10 de enero de 2026 el personal de la empresa anfitriona se encuentra en vacaciones colectivas. En caso de ser estrictamente requerido se evaluarían las condiciones para llevar a cabo algunas pruebas.

REQUERIMIENTOS CIBERSEGURIDAD PARA EL SOLUCIONADOR:
1. Gestión de Software y Licenciamiento

- **Legalidad:** Todo el software instalado debe contar con su respectiva licencia corporativa vigente. La entidad propietaria es la única responsable del cumplimiento legal y técnico de estas.
- **Restricción de Instalación:** Se prohíbe estrictamente la instalación de ejecutables sin licencia, software "crackeado" o licencias de uso personal/doméstico en entornos empresariales.
- **Propósito del Equipo:** El hardware debe destinarse exclusivamente a las tareas técnicas del proyecto. No se permite su uso como estación de trabajo para fines administrativos, personales o ajenos a la colaboración con la empresa anfitriona.

2. Seguridad del Sistema y Protección de Datos:

- **Protección Antivirus:** Los equipos deben contar con una solución de antivirus/EDR corporativa, activa y con firmas actualizadas. La empresa anfitriona se reserva el derecho de validar el estado de protección antes de la conexión.
- **Actualizaciones del Sistema:** El sistema operativo debe tener instalados los últimos parches de seguridad críticos.
- **Transferencia de Información:** Para el intercambio de datos, se priorizará el uso de protocolos seguros: APIs con autenticación, servicios en la nube (Google Drive corporativo) o correo electrónico. No se aconseja el uso de medios extraíbles (USB) para mitigar riesgos de malware.

3. Conectividad y Acceso a la Red:

- **Acceso a Red:** La conexión se realizará a través de la red pública interna de la empresa anfitriona (WiFi o cableada), sujeta a la disponibilidad de cobertura en el área de instalación. Esta red está aislada de los servidores críticos de la organización.
- **Soporte Remoto:** Cualquier acceso remoto para mantenimiento técnico deberá ser supervisado por el responsable del equipo en la empresa anfitriona y debe realizarse mediante protocolos cifrados y autorizados previamente por el área de TI (SETI).

Restricciones

1. No se deben usar fuentes radioactivas en intensidad y/o cantidades de manejo que presenten una afectación a la salud o al medio ambiente.
2. Para la selección de la tecnología se debe considerar un impacto ambiental mínimo ante posibles derrames o liberaciones accidentales en el medio ambiente.
3. Entre otros identificados en el proceso de experimentación.

**Impacto
esperado**

Se espera la validación de una solución tecnológica probada en un entorno relevante para maximizar la producción de biogás en los procesos operativos de los ingenios de caña de azúcar de la región, que realizan procesos de digestión anaerobia. Este prototipo deberá optimizar la producción de biogás a partir de vinaza y cachaza, maximizando la generación de metano, asegurando la estabilidad del biodigestor y reduciendo la huella de carbono involucrada en el proceso de digestión anaerobia. El piloto permitirá mejorar la eficiencia energética,

generar datos reales para evaluar rentabilidad y escalabilidad y, facilitar la toma de decisiones para su futura implementación a gran escala.