



Manual del usuario de *proxy*

"Potencial energético de biodigestores IN SITU en las plazas de mercado"

Proxies para el sector agricultura con enfoque en pequeños y medianos productores para la implementación de la Taxonomía Verde de Colombia



Bogotá, Colombia

Febrero, 2025

Tabla de contenido

ACRÓNIMOS.....	4
GLOSARIO.....	4
1. Información general.....	6
1.1 Pasos previos para el uso de la herramienta – habilitación de macros.....	8
2. Proxy para la dimensión ambiental de residuos.....	11
2.1 Manual de usuario	11
2.1.1 Herramienta de cálculo HC_RO_Valorización Ambiental.....	11
Paso 1: Ingreso de información general – Ubicación de la plaza de mercado	12
Paso 2: Ingreso de información - Costos y consumo de servicios	14
Paso 3: Ingreso de información – Generación de residuos orgánicos	16
Paso 4: Ingreso de información – Transporte para el tratamiento residuos orgánicos	17
Paso 5. Interpretación de los resultados de la herramienta HC_RO_Valorización_Ambiental.....	19
2.1.2 Herramienta de cálculo RO_Análisis Financiero.....	22
3. ANEXO 1. SUPUESTOS DE CÁLCULO.....	24
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las pestañas incluidas en la herramienta de cálculo para determinar el potencial energético de biodigestores in situ en las plazas de mercado de Colombia.....	6
Tabla 2. Posibles usuarios de la herramienta y ejemplos de aplicación (lista no exhaustiva)	7
Tabla 3. Datos de información general – Ubicación de la plaza de mercado.....	12
Tabla 4. Datos de información general - Generación de Residuos Sólidos Orgánicos	16
Tabla 5. Datos solicitados al usuario en el transporte de los residuos orgánicos	18
Tabla 6. Interpretación de resultados generales para la pestaña HC_RO_Valorización_Ambiental	19
Tabla 7. Factores de conversión de producción de biogás a través de residuos orgánicos.....	24
Tabla 8. Valores y consideraciones técnicas para el cálculo de producción de biogás	25
Tabla 9. Porcentajes de incremento anual de las tarifas.....	26
Tabla 10. Base de datos de tarifas para los servicios públicos	26
Tabla 11. Tarifa de gestión de residuos.....	27
Tabla 12. Estimaciones modelo financiero.....	27
Tabla 13. Prestaciones sociales	28
Tabla 14. Factores de emisión para transporte de residuos - escenario base (combustión).....	29
Tabla 15. Eficiencias de consumo de combustibles	29

Tabla 16. Factores de emisión para residuos por disposición final en relleno sanitario	29
Tabla 17. Factores de emisión procedentes del tratamiento biológico de residuos.....	29
Tabla 18. Potencial de Calentamiento Global (GWP100, por sus siglas en inglés).....	29

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Visualización de acceso a la herramienta proxy desarrollada	11
Ilustración 2. Ingreso de información para la herramienta "HC_RO_valorización Ambiental"	12
Ilustración 3. Información general de ubicación de la plaza de mercado solicitado en la herramienta	12
Ilustración 4. Costos y consumos de servicios solicitados en la herramienta para la plaza de mercado	14
Ilustración 5. Ingreso de información - Generación de residuos orgánicos	16
Ilustración 6. Ingreso de información sobre transporte.....	18
Ilustración 7. Escenario de valorización económica para la instalación de biodigestor para producción y consumo de biogás (visualización).....	22

Acuse de responsabilidad: La información contenida en esta comunicación no constituye asesoramiento de inversión de ningún tipo y Climate Bonds Initiative ni Ambire Global (el consorcio) son asesores de inversión. Cualquier referencia a una organización financiera o a un instrumento de deuda o producto de inversión se hace únicamente con fines informativos. Los enlaces a sitios web externos son sólo para fines informativos. El consorcio no acepta ninguna responsabilidad por el contenido de sitios web externos. El consorcio no respalda, recomienda o asesora sobre los méritos financieros o de otro tipo de cualquier instrumento de deuda o producto de inversión y ninguna información contenida en esta comunicación debe ser tomada como tal, ni debe confiarse en cualquier información contenida en esta comunicación para tomar cualquier decisión de inversión. La certificación según el Estándar de Climate Bonds sólo refleja los atributos climáticos del uso de los ingresos de un instrumento de deuda designado. No refleja la solvencia del instrumento de deuda designado, ni su conformidad con las leyes nacionales o internacionales. La decisión de invertir en algo es exclusivamente suya. El consorcio no acepta responsabilidad de ningún tipo, por cualquier inversión que un individuo u organización realice, ni por cualquier inversión realizada por terceros en nombre de un individuo u organización, basada total o parcialmente en cualquier información contenida en esta o cualquier otra comunicación pública de Climate Bonds Initiative.

ACRÓNIMOS

I. Generales

CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia
DNP	Departamento Nacional de Planeación de Colombia
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environment Protection Agency, por sus siglas en inglés)
FECOC	Factores de emisión de los combustibles colombiano
GEI	Gases de efecto invernadero
GIZ	Sociedad Alemana de Cooperación Internacional
GWP	Potencial de Calentamiento Global (Global Warming Potential, por sus siglas en inglés)
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MTV	Mesa de Taxonomía Verde
SFC	Superintendencia Financiera de Colombia
TVC	Taxonomía Verde de Colombia
UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia
UK PACT	Partnering for Accelerated Climate Transition

GLOSARIO

Biodigestor	Contenedor en el que se produce la degradación anaeróbica controlada de la materia orgánica, conocido también como digestor, reactor o fermentador (Ambiente, 2020).
Biogás	Mezcla de gases con elevado contenido de metano (FAO, 2011).
Biometano	Gas combustible, con propiedades similares al gas natural, que se obtiene a partir del tratamiento de residuos (MITECO, 2024).
Cambio Climático	La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término sólo para referirse al aumento de temperatura de la superficie terrestre originado por causa antropogénica. El calentamiento global actual es un tipo de cambio climático sin precedentes, y está generando una cascada de efectos secundarios en nuestro sistema climático. Se debe principalmente al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) por la quema de

	combustibles fósiles (SFC, s.f.). Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), el cambio climático puede identificarse (p.ej., mediante pruebas estadísticas) por alternaciones que persisten durante largos períodos de tiempo (decenios o períodos más prolongados) en el valor medio de las propiedades del clima y/o por la variabilidad de estas. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra (IPCC, 2013).
CAPEX	Capital Expenditure, por sus siglas en inglés, significa Gasto de Capital. Se refiere a la inversión que una empresa realiza en activos fijos o mejoras a largo plazo, como la compra de maquinaria, equipos, edificios, tecnología o infraestructura (Colombia Capital, s.f.).
OPEX	Operational Expenditure, por sus siglas en inglés, son los gastos operativos del día a día para mantener un activo, como sueldos, alquileres y mantenimiento (Colombia Capital, s.f.)
Digestato	Residuo sólido y líquido que queda después de que los residuos orgánicos (como estiércol, residuos agrícolas, residuos alimentarios, etc.) se procesan en un biodigestor mediante el proceso de digestión anaeróbica
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, de origen natural o antropogénico, que absorben y emiten la energía solar reflejada por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO ₂), el óxido nitroso (N ₂ O), el metano (CH ₄) los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF ₆), (SFC, s.f.).
Escenario base de emisiones	Modelo o proyección de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se espera que ocurran en un futuro bajo las condiciones actuales o sin tomar medidas adicionales significativas para reducir esas emisiones (CMNUCC, s.f.).
Escenario proyecto de emisiones	Proyección de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se espera que resulten de un proyecto específico (CMNUCC, s.f.)
Proxy/proxies	Puede ser entendido como un intermediario conceptual que simplifica la comprensión de un proceso o sistema más complicado. En el contexto de las Taxonomías se refiere al proceso de aplicación de uno o varios de los criterios de elegibilidad para ejemplificar su uso y simplificar la implementación de los documentos (Gobierno de Colombia, 2022).
Separación en la fuente	Consiste en la clasificación de los residuos sólidos por parte del usuario, en aprovechables y no aprovechables en el lugar donde se generan, según lo definido en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), con el fin de ser presentados para su recolección y transporte a las estaciones de clasificación y aprovechamiento, o de disposición final de los mismos, según sea el caso. Esta actividad es importante para reducir el impacto de los residuos en el medio ambiente y prolongar la vida útil de los rellenos sanitario (DNP, 2022) (MINVIVIENDA, 2015).
Recuperación eléctrica del biogás	Proceso de aprovechar el biogás generado en este caso en digestores anaerobios para producir energía eléctrica. El proceso de recuperación eléctrica implica la generación del biogás, captura y purificación y conversión a electricidad a través del uso de motores de

 <p>Gobierno de Colombia</p>	<p>Manual del usuario del tercer <i>proxy</i> para la implementación de la Taxonomía Verde de Colombia en el sector agricultura</p> <p><i>"Herramienta de cálculo para determinar el potencial energético de biodigestores in situ en las plazas de mercado de Colombia"</i></p>
--	---

	<p>combustión interna, turbinas de gas o microturbinas (Universidad Tecnológica de Pereira, 2012)</p>
<p>Recuperación térmica del biogás</p>	<p>Proceso mediante el cual la energía contenida en el biogás, principalmente en forma de metano (CH₄), se aprovecha para generar calor en lugar de electricidad. Este calor puede utilizarse en diversas aplicaciones industriales, comerciales o domésticas. El proceso de recuperación implica la generación de biogás, captura y purificación, y su conversión a calor (Fedepalma, 2016)</p>
<p>Valorización de residuos orgánicos</p>	<p>Es el proceso técnico mediante el cual los desechos orgánicos (p.ej: los restos de alimentos, podas, lodos de depuradoras, entre otros) son transformados en productos útiles o en recursos de valor económico, mediante tecnologías de recuperación y aprovechamiento (como la digestión anaeróbica, el compostaje, entre otros). El objetivo principal es reducir el impacto ambiental de los residuos, minimizando su disposición final en vertederos y maximizando su reutilización o reciclaje (Ática, s.f.).</p>

1. Información general

En este capítulo se describe la composición general de la "herramienta de cálculo para determinar el potencial energético de biodigestores in situ en las plazas de mercado de Colombia". La tabla 1 describe las pestañas disponibles en dicho documento.

Tabla 1. Descripción de las pestañas incluidas en la herramienta de cálculo para determinar el potencial energético de biodigestores in situ en las plazas de mercado de Colombia

Pestaña en la herramienta	Descripción
<p>Introducción</p>	<p>Esta pestaña presenta una guía de la información que se encontrará en la herramienta, el equipo desarrollador y la última fecha de actualización.</p>
<p>Prácticas elegibles y Dimensión Ambiental (DA)</p>	<p>Esta pestaña incluye la información de las tablas 3.5 a la 3.9 de la TVC, las cuales se relacionan con las buenas prácticas para la agricultura ecológica generales y para los cultivos priorizados por la taxonomía (café, arroz, cultivos frutales y cacao). Adicionalmente, se incluyen las columnas relacionadas al alcance de las buenas prácticas con relación al tipo de productor y a la(s) dimensión(es) ambientales con las que se relacionan.</p>
<p>Referencias</p>	<p>Esta pestaña contiene el enlace a todas las fuentes y referencias bibliográficas utilizadas para el planteamiento metodológico y desarrollo de la herramienta proxy presentada dentro de este desarrollo.</p>

<p>HC_RO_Valoración Ambiental</p>	<p>Esta pestaña corresponde a la herramienta de cálculo (HC) para estimar el potencial de valorización de residuos orgánicos provenientes de la operación de las plazas de mercado en el país. Está diseñada para apoyar proyectos in situ enfocados en tecnologías del tratamiento biológico de la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos sobrantes de la operación de las plazas de mercado.</p>
<p>RO_Análisis Económico</p>	<p>Esta pestaña presenta una herramienta de cálculo para la valorización económica por gestión de residuos orgánicos a través de biodigestores in situ para plazas de mercado. Se presenta una estimación de los ingresos y costos operativos anuales proyectados derivados de la producción y consumo de biogás generado in situ, así como de la producción y venta de subproductos adicionales, como el digestato, y los ingresos provenientes de la tarifa por manejo de residuos orgánicos. Además, se incluye el cálculo de la utilidad neta del proyecto a lo largo de un horizonte temporal de 15 años. Este cálculo no incluye un análisis financiero detallado que contemple variables económicas clave, tales como impuestos, Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Neto Actual (VNA).</p>

A continuación, se brindan algunos ejemplos de aplicación/uso de este proxy para la implementación de la TVC.

Tabla 2. Posibles usuarios de la herramienta y ejemplos de aplicación (lista no exhaustiva)

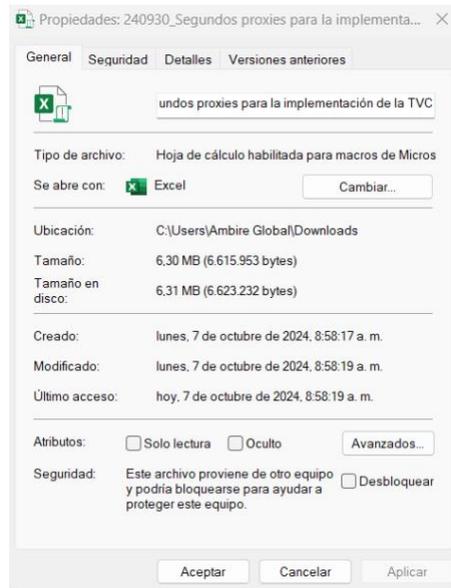
<p>Usuarios de la herramienta <i>proxiesproxy</i></p>	<p>Lista no exhaustiva de usos del proxy para pequeños y medianos productores del sector de uso del suelo</p>
<p>Micro, pequeños, medianos y grandes productores agrícolas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contar una herramienta que permita calcular el potencial de ejecución de un proyecto de tratamiento alternativo in situ que permita el aprovechamiento de los residuos orgánicos, diferente a su disposición final en relleno sanitario. La herramienta permite facilitar los cálculos ambientales y económicos para su implementación.
<p>Plazas de mercado y distribuidores mayoristas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con una herramienta que les permita a las plazas de mercado estimar el potencial de valorización de residuos orgánicos para la producción de biogás y biometano, siendo una alternativa viable frente a fuentes de energías convencional como lo son los combustibles fósiles, permitiendo alcanzar metas de sostenibilidad a través de la reducción de emisiones de GEI, logrando autonomía energética. De igual manera, la herramienta permite el cálculo de los subproductos del tratamiento, como el digestato, el cual podría ser entregado a distribuidores y mayoristas para su comercialización como enmiendas del suelo o abono para cultivos. Este tipo de proyectos permite también mejorar el acceso a instrumentos financieros que permitan captar capital preferencial para su desarrollo.
<p>Entidades bancarias y entidades financieras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con una herramienta técnica que permita la creación de productos de líneas de crédito verde, con la inclusión de indicadores de impacto claves, que

Usuarios de la herramienta <i>proxiesproxy</i>	Lista no exhaustiva de usos del <i>proxy</i> para pequeños y medianos productores del sector de uso del suelo
	<p>aceleren la adopción de proyectos de generación de biogás y biometano que se adapten a las necesidades locales, contribuyendo a la transición energética y el desarrollo económico colombiano.</p>
Empresas aseguradoras.	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con una herramienta que facilite la creación de productos de suscripción que se adapten a las nuevas tecnologías que se desarrollen en el país para el tratamiento de los residuos orgánicos, generando indicadores de impacto clave que pueda traducirse en beneficios para los usuarios
Entidades de gobierno.	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la necesidad del desarrollo de políticas e indicadores clave que permitan fortalecer incentivos para facilitar el acceso a tecnologías de tratamiento y valorización de residuos orgánicos. Algunos de los beneficios que se contemplan actualmente direccionados a la acción climática y a la protección del ambiente, son: <ul style="list-style-type: none"> ○ Exclusiones del IVA para bienes vendidos en el territorio nacional, vinculados a actividades que generan impactos ambientales positivos, tales como: ○ Equipos y elementos para sistemas de control y monitoreo ambiental. ○ Equipos para el reciclaje y procesamiento de residuos, así como para la depuración y tratamiento de aguas residuales, emisiones atmosféricas o residuos sólidos. ○ Proyectos que contribuyan a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). ○ Equipos necesarios para la reconversión de vehículos a gas natural. <p>Estos y otros beneficios se detallan en el siguiente enlace: Beneficios tributarios para empresas.</p>
Usuarios particulares.	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con una herramienta que les permita evaluar la viabilidad de Promover proyectos de tratamiento de residuos orgánicos a través de biodigestores. La herramienta permite facilitar los cálculos ambientales y económicos para su implementación. Este tipo de proyectos permite también mejorar el acceso a instrumentos financieros que permitan captar capital preferencial para su desarrollo. • Institutos y centros de investigación, que puedan contribuir con mejoras en las tecnologías de digestión anaeróbica y proponer modelos de negocio para pequeñas, medias y grandes empresas.

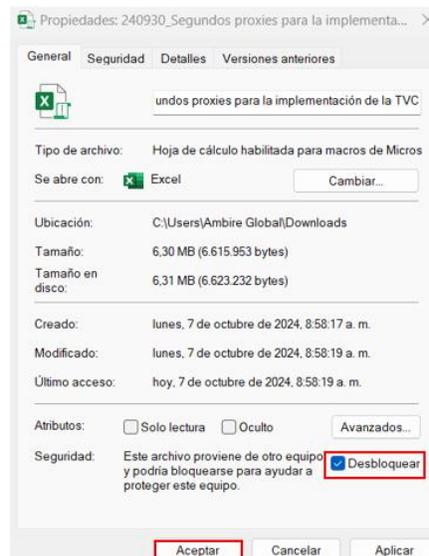
1.1 Pasos previos para el uso de la herramienta – habilitación de macros

El *proxy* se desarrolló como una herramienta desarrollada en Microsoft Excel y requiere la habilitación de macros para su correcto funcionamiento. El proceso recomendado para habilitar las macros después de descargar la herramienta en el ordenador es el siguiente:

- a. Ubique el archivo en su ordenador y haga clic derecho sobre él. Se desplegará un menú de opciones.
- b. De clic en la opción "Propiedades" o siga el comando "Alt+Enter" para abrir la ventana de propiedades. Se desplegará la ventana mostrada a continuación:



- c. En la parte inferior de la pestaña "General", marque la opción "desbloquear" y de clic en el botón aceptar.



- d. Al abrir el documento en Excel verá el siguiente mensaje en la parte superior de la herramienta. Haga clic en el botón "Habilitar edición" para permitir modificaciones en el archivo.

2. Proxy para la dimensión ambiental de residuos

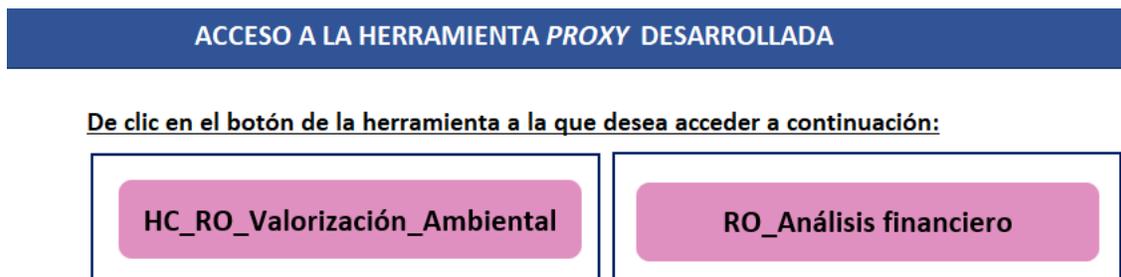
El capítulo 2 del presente documento aborda la guía metodológica con el paso a paso para el uso del *proxy* de "herramienta de cálculo para determinar el potencial energético de biodigestores in situ en las plazas de mercado de Colombia", desarrollada para el sector agricultura, con enfoque en la cadena de distribución.

2.1 Manual de usuario

La herramienta cuenta con dos (2) pestañas de color rosado llamadas "HC_RO_valorización Ambiental" y "RO_Análisis financiero" donde se encuentran ambas dimensiones, tanto la ambiental como la financiera del *proxy*. El acceso a esta se realiza a través del botón ubicado en la parte inferior de la pestaña "Introducción".

La pestaña cuenta con instrucciones sencillas para guiar al usuario en el paso a paso del diligenciamiento de la información requerida para el funcionamiento de la herramienta, esto con el fin de simplificar la experiencia de uso. Todas las celdas de la herramienta están protegidas para evitar alteraciones que comprometan su funcionamiento. Únicamente estarán en opción editable aquellas celdas en las que el usuario deba registrar información, las cuales se identifican por estar resaltadas en color **rosado**.

Ilustración 1. Visualización de acceso a la herramienta proxy desarrollada



2.1.1 Herramienta de cálculo HC_RO_valorización Ambiental

En esta pestaña, el usuario deberá ingresar información específica del proyecto para la estimación del potencial de generación de biogás, la reducción de emisiones de GEI por el tratamiento biológico de los residuos y la información de CAPEX/OPEX relacionado a la implementación del sistema de tratamiento in situ en la plaza de mercado.

La herramienta "HC_RO_valorización Ambiental" fue estructurada en cuatro (4) secciones para el ingreso de información y una (1) sección donde se visualizan los resultados al usuario. La solicitud de información al usuario comprende el ingreso de información general (p.ej: la ubicación del proyecto), ingreso de información asociada a costos y consumos de diferentes servicios públicos, ingreso de información asociada a la generación y transporte de residuos orgánicos (Figura 1).

Ilustración 2. Ingreso de información para la herramienta "HC_RO_valorización Ambiental"



Paso 1: Ingreso de información general – Ubicación de la plaza de mercado

Inicialmente, la herramienta de Excel "HC_RO_valorización Ambiental" solicita al usuario el ingreso de información general en seis celdas, las cuales se describen a continuación¹:

Ilustración 3. Información general de ubicación de la plaza de mercado solicitado en la herramienta y uso de biogás

1. Ingreso de información general		
Información general Ubicación de la plaza de mercado	Seleccione el departamento donde se ubica la plaza de mercado:	Dpto. Atlántico
	Seleccione el municipio donde se ubica la plaza de mercado:	Barranquilla
	Ingrese el nombre de la plaza de mercado:	Plaza de mercado Gran Bazar
	Seleccione el área donde se ubica la plaza de mercado:	Área urbana
	Seleccione de que manera quiere usar el biogás generado	Uso - Energía eléctrica
	Seleccione la zona donde se ubica la plaza de mercado:	Industrial

Tabla 3. Datos de información general – ubicación de la plaza de mercado

Nota: Las celdas en color AZUL corresponden a celdas con listas desplegables donde el usuario debe seleccionar una opción según el tipo de proyecto de su interés. Las celdas en AMARILLO es donde el usuario debe ingresar manualmente los datos del proyecto.	
Dato solicitado al usuario	Descripción
Departamento donde se ubica la plaza de mercado	Seleccionar de lista desplegable el nombre del departamento donde la plaza de mercado se encuentra ubicada
Municipio donde se ubica la plaza de mercado	Seleccionar de lista desplegable el nombre del municipio donde la plaza de mercado se encuentra ubicada
Nombre de la plaza de mercado	Escribir el nombre de la plaza de mercado para la cual se desarrollará la evaluación del proyecto de instalación de biodigestores
Área donde se ubica la plaza de mercado	En Colombia, la diferencia entre zona urbana y zona rural está determinada por factores como la densidad poblacional, la infraestructura, las actividades económicas y el acceso a servicios públicos. Elegir de la lista desplegable:

¹ Los datos solicitados en cada sección son de **obligatoria digitación** para el funcionamiento de la herramienta de cálculo.

	<p>Área Urbana: Constituye el suelo urbano, las áreas del territorio distrital, municipal o área no municipalizada, destinadas a usos urbanos por el plan de ordenamiento, que cuenten con infraestructura vial y redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado, posibilitándose su urbanización y edificación, según sea el caso. Podrán pertenecer a esta categoría aquellas zonas con procesos de urbanización incompletos, comprendidos en áreas consolidadas con edificación, que se definan como áreas de mejoramiento integral en los planes de ordenamiento territorial. Se caracteriza por estar conformada por conjuntos de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas, las cuales están delimitadas por calles, carreras o avenidas, principalmente. Cuenta por lo general, con una dotación de servicios esenciales tales como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, hospitales y colegios, entre otros. En esta categoría están incluidas las ciudades capitales y las cabeceras municipales restantes. (DANE, s.f.)</p> <p>Área Rural Dispersa: Delimitación geográfica definida por el DANE para fines estadísticos, comprendida entre el perímetro censal de las cabeceras municipales y de los centros poblados, y el límite municipal. Se caracteriza por la disposición dispersa de viviendas y de explotaciones agropecuarias existentes en ella (DANE, s.f.)</p>
<p>Uso del biogás generado en el biodigestor</p>	<p>Uso térmico – Biogás: Uso de biogás para autoconsumo en cocinas</p> <p>Uso – Energía eléctrica: Es la conversión de biogás a energía eléctrica para autoconsumo o inyección a la red</p>
<p>Zona donde se ubica la plaza de mercado</p>	<p>En Colombia, según el DANE, la diferencia entre zona industrial y zona comercial se basa en el uso del suelo y el tipo de actividades económicas que se desarrollan en cada una de ellas.</p> <p>Elegir de la lista desplegable:</p> <p>Zona industrial: Es un área destinada a la producción, manufactura y transformación de bienes. Ubicada generalmente en las periferias de las ciudades para reducir impacto ambiental y logístico. Requiere infraestructura especializada como vías de acceso para transporte pesado, servicios públicos de alto consumo y normativas ambientales.</p> <p>Zona comercial: Es un área donde se concentran actividades de compra y venta de bienes y servicios. Contiene tiendas, centros comerciales, restaurantes, bancos y oficinas. Alto flujo de personas y acceso a transporte público.</p> <p>Desconozco la zona: Seleccionar esta opción si no se tiene certeza sobre la clasificación de la zona donde se ubica la plaza de mercado..</p>

La ilustración 3 muestra este primer paso de ingreso de la información general del proyecto vinculado a la ubicación de la plaza de mercado.

Paso 2: Ingreso de información - Costos y consumo de servicios

El segundo paso consiste en proveer información sobre los costos actuales asociados a la gestión de los residuos orgánicos en la plaza de mercado, así como los consumos asociados a la energía eléctrica y gas natural. Esta información es necesaria para poder realizar el análisis financiero para la puesta en marcha del biodigestor, si se selecciona la opción de Uso – biogás o Uso – energía eléctrica.

Este segundo paso se enfoca en cuatro (4) preguntas básicas, a partir de las cuales, según su respuesta afirmativa o negativa, se habilitan o no otras celdas que permitan trabajar con datos reales ingresados por el usuario o a través de datos “supuestos”.

Ilustración 4. Costos y consumos de servicios solicitados en la herramienta para la plaza de mercado

2. Ingreso de información - Costos y consumo de servicios			
Información general Costos y consumo de servicios	¿Conoce el costo de gestionar sus residuos orgánicos?	No	
	¿Conoce el costo del consumo de gas natural?	Si	
	Indique cuanto consume mensualmente en promedio de gas natural:	50,0	m ³ /mes
	Indique la tarifa correspondiente a su consumo de gas natural:	6,690.7	\$/m ³
2. Ingreso de información - Costos y consumo de servicios			
Información general Costos y consumo de servicios	¿Conoce el costo de gestionar sus residuos orgánicos?	Si	
	Indique la tarifa por la gestión de los residuos orgánicos:	76.405,0	\$/t
	¿Conoce el costo del consumo de energía eléctrica en la plaza de mercado?	No	
	Indique cuanto consume mensualmente en promedio de energía eléctrica:	100,0	kWh/mes

Datos de los costos asociados a la gestión de los residuos orgánicos en la plaza de mercado

Esta sección permite ingresar los costos asociados a la **recolección, tratamiento y disposición final** de los residuos de origen orgánico generados en las plazas de mercado.

Se debe seleccionar de lista despegable (Sí/No).

En caso afirmativo (Sí), si conoce los costos asociados a la gestión integral de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado, se habilita la celda para ingresar la **“tarifa por la gestión de los residuos orgánicos”**.

La tarifa por la gestión de los residuos orgánicos está dada en pesos COP (\$) por tonelada de residuos (t). (\$/t).

Ingresar el precio establecido con su prestador de servicio encargado de la recolección y tratamiento de residuos orgánicos.

En caso de no conocer la tarifa para la gestión de los residuos orgánicos, la herramienta determinará una tarifa de tratamiento de residuos orgánicos empleada en un estudio de GIZ, llamado “Análisis de la viabilidad técnico-económica para proyectos de tratamiento in situ de residuos orgánicos en las plazas distritales de mercado de Bogotá - Enfoque en la plaza distrital de mercado Quirigua”. Este valor se actualizó a valor

presente 2024, para ajustarlo a las condiciones económicas actuales y reflejar su impacto en los modelos financieros del proyecto (GIZ Colombia & BlackForest Solutions GmbH, 2022).

Datos de los costos asociados a los consumos de energía eléctrica y gas natural (si aplica)

Esta sección permite ingresar los costos y consumos asociados al servicio de energía eléctrica o gas natural utilizados en la plaza de mercado. El usuario deberá ingresar esta información de acuerdo con la valorización que se otorgue al biogás generado como resultado del tratamiento de los residuos orgánicos en el biodigestor. Es decir, se deberá determinar si el biogás producido será empleado como sustituto del gas natural o se empleará para la generación de energía eléctrica. Estos costos permitirán determinar la viabilidad financiera del proyecto, toda vez que el biodigestor constituirá una fuente de generación de biogás que puede ser utilizado como combustible alternativo al gas natural o para la generación de electricidad in situ.

Consumo de energía eléctrica:

Se debe seleccionar de lista desplegable (Sí/No) conoce el consumo de energía eléctrica en la plaza de mercado:

En caso afirmativo (Sí), si conoce los costos asociados al consumo de energía de la plaza de mercado, indicar el dato de "consumo de energía eléctrica" y la "tarifa" correspondiente a dicho consumo.

El dato de consumo de energía eléctrica está dado en (Kwh/mes).

Se puede ingresar el consumo promedio mensual.

El dato de la tarifa correspondiente a su consumo de energía eléctrica es dado en (\$/kWh)

En caso de no conocer la tarifa por el consumo de energía eléctrica, la herramienta determinará un valor supuesto, según el departamento y el municipio donde se ubica la plaza de mercado.

Consumo de gas natural:

Se debe seleccionar de lista desplegable (Sí/No) conoce el consumo de gas natural en la plaza de mercado:

En caso afirmativo (Sí), si conoce los costos asociados al consumo de gas natural de la plaza de mercado, indicar el dato de "consumo de gas natural" y la "tarifa" correspondiente a dicho consumo.

El dato de consumo de gas natural está dado en (m³/mes).

Se puede ingresar el promedio mensual.

El dato de la tarifa correspondiente a su consumo de gas natural es dado en (\$/m³)

Paso 3: Ingreso de información – Generación de residuos orgánicos

El tercer paso en la herramienta consiste en ingresar información general relacionada con los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado. Esta información es primordial, ya que es necesaria para calcular la capacidad del biodigestor. La herramienta facilita el registro de hasta cinco (5) tipos de residuos habitualmente generados en las plazas de mercado.

Ilustración 5. Ingreso de información - Generación de residuos orgánicos

Caso 1: Donde se conoce el peso promedio de los residuos generados

3. Ingreso de información - Generación de residuos orgánicos			
DATOS DE LA GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS			
Información general <i>Características de los Residuos orgánicos</i>	¿Conoce el peso promedio de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado?	Indique una respuesta	
	¿Clasifica los residuos orgánicos por tipos específicos?	Si	
	¿Cuántos tipos de residuos orgánicos genera regularmente en su operación?	3	
	Seleccione el tipo de residuo orgánico No. 1 que genera en su establecimiento	Verduras	
	Seleccione el tipo de residuo orgánico No. 2 que genera en su establecimiento	Carnicos	
	Seleccione el tipo de residuo orgánico No. 3 que genera en su establecimiento	Frutas	
Información general <i>Generación de residuos orgánicos</i>	¿Cual es la cantidad de residuos por unidad de tiempo que se genera de residuos orgánicos?	kg/semana	
	Ingrese la cantidad de verduras generadas en su instalación:	100,0	kg/semana
	Ingrese la cantidad de frutas generadas en su instalación:	200,0	kg/semana
	Ingrese la cantidad de cárnicos generados en su instalación:	300,0	kg/semana

Caso 2: Donde no se conoce el peso promedio de los residuos generados

3. Ingreso de información - Generación de residuos orgánicos			
DATOS DE LA GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS			
Información general <i>Características de los Residuos orgánicos</i>	¿Conoce el peso promedio de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado?	No	
	¿Cuál es el volumen diario del tipo de caneca/bolsa empleada para depositar sus residuos orgánicos?		1
Información general <i>Volumen de residuos orgánicos depositados</i>	Ingrese el número de canecas o bolsas donde deposita todos sus residuos orgánicos diariamente		#
	Indique el porcentaje de llenado diario de los contenedores/bolsas utilizados donde recolecta los residuos orgánicos:	Indique el porcentaje de llenado	

Si se desconoce el peso de los residuos orgánicos, el usuario podrá registrar el volumen diario generado según el tipo de caneca o bolsa en que se deposita. Además, podrá indicar la cantidad de canecas o bolsas utilizadas y un porcentaje estimado de llenado diario. La herramienta entonces calcula el peso de los residuos orgánicos generados diariamente con una densidad estimada.

Es importante que el usuario considere esta estimación de acuerdo con el tipo de recipiente empleado

En la siguiente tabla se resumen los datos que solicita la herramienta para conocer la generación de residuos en la plaza de mercado.

Tabla 4. Datos de información general - Generación de Residuos Sólidos Orgánicos

Nota: Las celdas en color **AZUL** corresponden a celdas con listas desplegables donde el usuario debe seleccionar una opción según el tipo de proyecto de su interés. Las celdas en **AMARILLO** es donde el usuario debe ingresar manualmente los datos del proyecto.

Dato solicitado al usuario	Descripción
Información general - Características de los Residuos orgánicos	<p>Seleccionar de la lista desplegable sí conoce o no la siguiente información:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peso promedio de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado - Clasificación de los residuos orgánicos por tipos específicos - Cantidad de los diferentes tipos de residuos que son clasificados en la plaza de mercado. - Tipo de residuo orgánico que genera el establecimiento. Listas desplegables con las opciones: verduras, cárnicos, hortalizas, orgánicos mixtos, frutas
Información general - Generación de residuos orgánicos	<p>En estas casillas se ingresa manualmente la información sobre la generación de los diferentes residuos orgánicos seleccionados en el paso anterior.</p> <p>Inicialmente se debe seleccionar la cantidad de residuos orgánicos por unidad de tiempo en la cual se lleva seguimiento en la plaza de mercado. Elegir de las siguientes opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kilogramo/día (Kg/día); Kilogramo/semana (Kilogramo/semana); Kilogramo/mes (Kg/mes); Kilogramo/año (Kg/año) - Tonelada/día (t/día); Tonelada/semana (t/semana); Tonelada/mes (t/mes); Tonelada/año (t/año) <p>Ingresar manualmente las cantidades de residuos de verduras, hortalizas, frutas, cárnicos u orgánicos mixtos, según corresponda.</p>
Información general - Volumen de residuos orgánicos depositados	<p>En la primera casilla referida al volumen de residuos orgánicos depositados, el usuario debe ingresar el volumen del recipiente que se emplea diariamente para depositar los residuos orgánicos. Los posibles contenedores de estos residuos pueden ser canecas o bolsas.</p> <p>Posteriormente, debe ingresar la cantidad de canecas o bolsas que emplea diariamente para el almacenamiento de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado.</p> <p>Finalmente, debe ingresar un estimado del porcentaje de llenado del recipiente donde almacena diariamente los residuos orgánicos sea caneca o bolsa.</p>

Paso 4: Ingreso de información – Transporte para el tratamiento residuos orgánicos

El cuarto paso de la herramienta permite ingresar información sobre el transporte de los residuos orgánicos desde la plaza de mercado hasta su sitio de tratamiento o disposición final. Esta información es esencial para evaluar la logística del manejo de residuos y estimar el consumo de combustible, las emisiones asociadas y el impacto financiero del transporte.

Ilustración 6. Ingreso de información sobre transporte

4. Ingreso de información - Transporte para el tratamiento residuos orgánicos		
DATOS DEL TRANSPORTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS A SU SITIO DE TRATAMIENTO/DISPOSICIÓN FINAL		
Información general Recolección de residuos	¿Qué tipo de disposición final y/o tratamiento le dan actualmente a los residuos orgánicos generados?	Disposición final en relleno sanitario
	¿La disposición final/tratamiento de residuos se realiza en un lugar distinto a la plaza de mercado?	Si
	¿Con qué frecuencia se recolectan los residuos orgánicos en la plaza de mercado?	veces a la semana
	¿Conoce el tipo de combustible que emplea el camión encargado de la recolección de residuos orgánicos?	Si
	¿Qué tipo de combustible utiliza el camión encargado de la recolección de residuos orgánicos?	Indique el tipo de combustible empleado
	¿Conoce la cantidad de combustible que consume el camión por cada viaje?	Si
	¿Cuánto combustible consume el camión por cada viaje?	km

En la siguiente tabla se resumen los datos que solicita la herramienta para conocer el transporte para el tratamiento de los residuos orgánicos:

Tabla 5. Datos solicitados al usuario en el transporte de los residuos orgánicos

Dato solicitado al usuario	Descripción
¿Qué tipo de disposición final y/o tratamiento se da actualmente a los residuos orgánicos generados?	El usuario debe indicar el destino actual de los residuos (escenario base), seleccionando entre opciones como: disposición en relleno sanitario, compostaje o biodigestión anaeróbica.
¿La disposición final/tratamiento de residuos se realiza en un lugar distinto a la plaza de mercado?	Se debe seleccionar "Sí" o "No", según si los residuos son transportados fuera de la plaza de mercado para su tratamiento.
¿Con qué frecuencia se recolectan los residuos orgánicos en la plaza de mercado?	Se debe indicar la periodicidad de recolección de los residuos en días por semana.
¿Conoce el tipo de combustible que emplea el vehículo encargado de la recolección de residuos orgánicos?	Se debe seleccionar "Sí" o "No". En caso de respuesta afirmativa, se habilitará la celda correspondiente para especificar el tipo de combustible.
¿Qué tipo de combustible utiliza el vehículo encargado de la recolección de residuos orgánicos?	Se debe seleccionar de una lista desplegable el tipo de combustible utilizado, como diésel B2, gasolina E10, gas natural comprimido (GNC) o eléctrico.
¿Conoce la cantidad de combustible que consume el vehículo por cada viaje?	Se debe seleccionar "Sí" o "No". En caso afirmativo, se habilitará la celda correspondiente para ingresar el dato.

¿Cuánto combustible consume el vehículo por cada viaje?	Se debe ingresar el consumo del tipo de combustible seleccionado en la celda anterior. Esto puede ser en galones por viaje o en kWh por viaje.
¿Cuál es la distancia aproximada desde la plaza de mercado hasta el sitio de tratamiento/disposición final?	Se debe ingresar la distancia en kilómetros entre la plaza de mercado y el sitio donde se lleva a cabo el tratamiento o disposición final de los residuos.

Paso 5. Interpretación de los resultados de la herramienta HC_RO_Valorización_Ambiental

Resultados

Luego de ingresar la información solicitada, se presentan los resultados. Al dar clic en el botón verde "resultados", se visualizarán las estimaciones de cálculo, como el potencial de generación de biogás/biometano y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por la ejecución del proyecto.

La herramienta calcula los resultados según la información suministrada por el usuario. Para proceder al cálculo es necesario dar clic en el botón "calcular" una vez ingresada toda la información.

A continuación, se brinda la interpretación de las celdas de resultados que presenta la herramienta HC_RO_Valorización

Tabla 6. Interpretación de resultados generales para la pestaña HC_RO_Valorización_Ambiental

Resultados	Datos de salida	Descripción
Generación de biogás	Volumen de biogás generado	Muestra la cantidad de biogás generado en metros cúbicos por día debido al tratamiento de los residuos orgánicos en la plaza de mercado vía digestión anaeróbica.
	Equivalente energético del biogás generado	Cantidad de energía contenida en el biogás producido, expresada en unidades comparables con otras fuentes de energía, como kilovatios hora (kWh/día). Este cálculo se realiza teniendo en cuenta el contenido de metano en el biogás y el poder calorífico del mismo.
	Equivalente a gas natural	Este resultado se refiere a la cantidad de biogás que es necesaria para proporcionar la misma energía que el gas natural

Resultados	Datos de salida	Descripción
		convencional. Los factores clave para realizar esta conversión son el poder calorífico del gas natural y del biogás. ² .
	Cantidad de digestato (enmienda de suelo)	Cantidad de digestato semilíquido resultante de la digestión anaerobia de la materia orgánica en un biodigestor. Este digestato es un subproducto rico en nutrientes que puede usarse como abono orgánico para enmienda de suelo.
	Escenarios de autoconsumo	<p>Con la información anterior, la herramienta permite visualizar dos tipos de escenarios con potencial de valorización de biogás:</p> <p>Escenario 1: El primer escenario contempla la valorización de biogás a través del reemplazo de gas natural para autoconsumo en la plaza de mercado. Si existe un excedente de biogás, se plantea la cogeneración de energía eléctrica para autoconsumo.</p> <p>Escenario 2: En este escenario se contempla la valorización de todo el biogás generado para la producción de energía eléctrica para el autoconsumo (sin sustitución de gas natural). En el caso de existir excedente se inyecta a la red.</p>
Financieros	CAPEX	<p>Con la información ingresada, se calcula la inversión inicial necesaria para la puesta en marcha de un sistema de digestión anaerobia. Estos costos no tienen en cuenta los relacionados con infraestructura, obra civil, licencias o permisos u otros. Incluye únicamente los costos relacionados con la inversión inicial, que corresponden al valor de la tecnología, contemplando las tecnologías para la conversión de biogás a energía y purificación de biogás para remoción de contaminantes como vapor y H₂S para cocción. Esto no incluye el sistema de transformación del biogás en biometano para inyectarlo en la red de gas, embotellarlo u otros usos.</p> <p>El CAPEX representa una inversión inicial que se recupera a largo plazo gracias a los subproductos generados, como el biogás, el digestato y la tarifa por tratamiento de residuos orgánicos, los cuales ahora forman parte del proyecto en lugar de ser entregados a un tercero.</p>

² El biometano se produce gestionando residuos orgánicos mediante digestión anaeróbica, que descompone la biomasa en biogás (60% metano y 40% dióxido de carbono). Luego, este biogás se purifica para obtener biometano, con propiedades similares al gas natural fósil (Marconi & Rosa, 2023). Dadas las diferencias en composición y valores caloríficos, el biogás no puede ser inyectado directamente en la red de gas natural sin antes ser tratado y procesado. En la escala pequeña como se plantea la herramienta, el CAPEX no contempla el costo de limpieza del biogás.

Resultados	Datos de salida	Descripción
	OPEX	Hace referencia a los costos operativos y de mantenimiento necesarios para garantizar el funcionamiento continuo del sistema de digestión anaerobia. Estos costos comprenden: consumo de energía, consumo de agua, mantenimiento y personal.
	Ingresos	En esta pestaña se presentan los resultados de los ingresos generados por la venta de digestato (abono orgánico), la venta de biogás, la venta de electricidad y los ingresos derivados del costo de gestión de residuos; este último se considera como un ingreso, ya que se trata de un costo evitado, dado que se dejaría de pagar a un tercero por la gestión de los residuos. Por esta razón se asume como un ahorro que, sin embargo, debe ser integrado dentro del flujo de ingresos del proyecto.
	Ahorro por autoconsumo de biogás	Indica el ahorro logrado por el uso directo del biogás producido para satisfacer las necesidades energéticas de la plaza de mercado, sustituyendo el gas natural por biogás. La herramienta determina el volumen asignado para autoconsumo en función de los datos ingresados por el usuario y calcula el excedente de biogás disponible después del autoconsumo. Desde una perspectiva financiera, no se consideran los costos evitados por el autoconsumo de biogás o energía; únicamente se realiza el cálculo de los ingresos anuales derivados de la venta de estos subproductos.
Reducción de emisiones de GEI	Escenario base	Para esta herramienta se plantea el cálculo de las emisiones de GEI basado en tres (3) tipos de tratamiento ex situ de los residuos generados: <ul style="list-style-type: none"> - Relleno sanitario - Compostaje - Digestión anaeróbica
	Escenario proyecto	El escenario proyecto contempla el cálculo de las emisiones de GEI considerando el tratamiento in situ de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado a través de biodigestor (es).
	Potencial reducción de emisiones de GEI	En esta casilla se muestra el potencial de reducción de emisiones de GEI, en toneladas de CO ₂ e/año, dada la implementación del proyecto de valorización in situ de los residuos orgánicos generados en las plazas de mercado.
	Porcentaje de reducción de emisiones de GEI	En esta casilla se muestra el potencial de reducción de emisiones de GEI, en porcentaje, dada la implementación del proyecto de valorización in situ de los residuos orgánicos generados en las plazas de mercado.

2.1.2 Herramienta de cálculo RO_Análisis Financiero

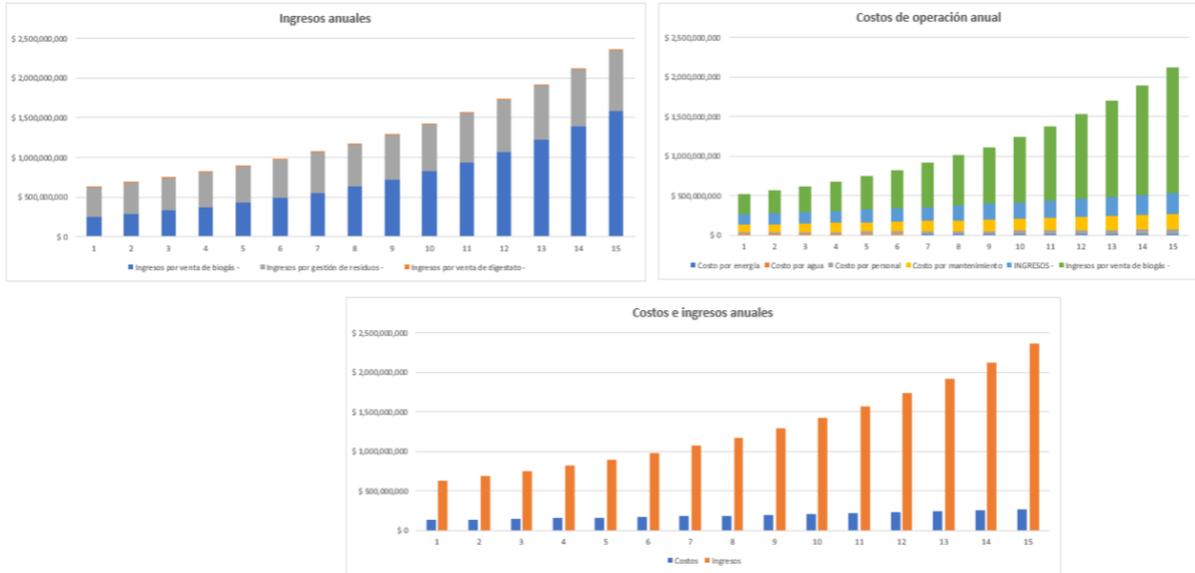
El modelo financiero para evaluar la viabilidad de la implementación de biodigestores tiene como objetivo proporcionar un análisis exhaustivo de los aspectos económicos involucrados, considerando tanto los ingresos como los costos operativos anuales (OPEX) durante un período de 15 años. Este análisis abarca el costo de inversión inicial (CAPEX³) el cual cuenta con trituradora de residuos, bomba de lodos, digestor, depuradores de H₂S y humedad, balón de almacenamiento de biogás, turbinas en caso de que sea para energía y sistema de purificación en caso de ser utilizado el biogás para cocción, los costos operativos recurrentes y las diversas fuentes de ingresos, tales como la venta de biogás, venta de electricidad y digestato, así como los beneficios derivados de la reducción en los costos de gestión de residuos.

El estudio se desarrolla mediante cinco modelos financieros, correspondientes a biodigestores de diferentes tamaños: 1 tonelada, 2 toneladas, 5 toneladas, 15 toneladas y 30 toneladas. En cada uno de estos modelos, se detallan aspectos como el consumo anual de energía y agua, la cantidad de personal vinculado o contratado, la generación de biogás o electricidad y digestato, así como las tarifas asociadas a la gestión de residuos. Estos valores se calculan para el primer año, y para los años siguientes se aplica la variación porcentual de cada variable (según su incremento en los últimos tres años). Por otro lado, se incluye la variación del Índice de Precios al Consumidor (IPC) correspondiente al año 2024, como variable fija, que ajusta tanto los costos como los ingresos de acuerdo con la inflación proyectada.

Ilustración 7 Escenario de valorización económica para la instalación de biodigestor para producción y consumo de biogás (visualización de la herramienta)

COSTOS	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
CAPEX	\$ 1,400,021,530.94								
OPEX									
Costo por energía		\$ 5,980,577	\$ 6,279,606	\$ 6,593,586.14	\$ 6,923,265	\$ 7,269,429	\$ 7,632,900	\$ 8,014,545	\$ 8,415,272
Costo por agua		\$ 2,357,981	\$ 2,475,880	\$ 2,599,674.05	\$ 2,729,658	\$ 2,866,141	\$ 3,009,448	\$ 3,159,920	\$ 3,317,916
Costo por personal		\$ 28,493,368	\$ 29,975,023	\$ 31,533,724.34	\$ 33,173,478	\$ 34,898,499	\$ 36,713,221	\$ 38,622,308	\$ 40,630,668
Costo por mantenimiento		\$ 94,885,682	\$ 99,819,737	\$ 105,010,363.81	\$ 110,470,903	\$ 116,215,390	\$ 122,258,590	\$ 128,616,037	\$ 135,304,071
INGRESOS		\$ 131,730,781	\$ 138,550,247	\$ 145,737,348	\$ 153,297,304	\$ 161,249,458	\$ 169,614,159	\$ 178,412,810	\$ 187,667,927
Ingresos por venta de biogás	-	\$ 253,316,442	\$ 288,780,743	\$ 329,210,047	\$ 375,299,454	\$ 427,841,378	\$ 487,739,171	\$ 556,022,654	\$ 633,865,826
Ingresos por venta de digestato	-	\$ 6,332,911	\$ 6,662,222	\$ 7,008,658	\$ 7,373,108	\$ 7,756,510	\$ 8,159,848	\$ 8,584,160	\$ 9,030,537
Ingresos por gestión de residuos	-	\$ 373,641,751	\$ 393,071,122	\$ 413,510,821	\$ 435,013,383	\$ 457,634,079	\$ 481,431,051	\$ 506,465,466	\$ 532,801,670
Ingresos anual esperado	-	\$ 633,291,104	\$ 688,514,088	\$ 748,729,526	\$ 817,685,946	\$ 893,231,967	\$ 977,330,070	\$ 1,071,072,281	\$ 1,175,698,033
Ingresos mensual esperado	-	\$ 52,774,259	\$ 57,376,174	\$ 62,477,461	\$ 68,140,495	\$ 74,435,997	\$ 81,444,173	\$ 89,256,023	\$ 97,974,836
Utilidad		\$ 501,560,323	\$ 549,963,842	\$ 603,992,178	\$ 664,388,642	\$ 731,982,509	\$ 807,715,912	\$ 892,659,471	\$ 988,030,106

³ Estos costos no tienen en cuenta los relacionados con infraestructura, obra civil, licencias o permisos u otros. Incluye únicamente los costos relacionados con la inversión inicial, que corresponden al valor de la tecnología.



Elaborados los modelos financieros para los cinco tamaños de digestores, se procede a realizar una estimación lineal en el rango de capacidad de la planta, comprendido entre 1 y 30 toneladas diarias. Dicha estimación se desarrolla para tres variables principales: CAPEX, OPEX e ingresos anuales. A partir de los coeficientes de la ecuación lineal resultante, es posible calcular los costos de inversión, operación e ingresos de cualquier proyecto dentro del rango establecido.

3. ANEXO 1. SUPUESTOS DE CÁLCULO

Supuestos de cálculo para producción de biogás:

La siguiente tabla presenta los rendimientos máximos de gas por kilogramo de materia seca orgánica para distintos sustratos. Factores como la variedad del sustrato, el momento de la cosecha, la frecuencia anual de cortes de hierba, las condiciones climáticas, la carga del biorreactor y el tiempo de retención⁴ influyen notablemente en el rendimiento de biogás.

Tabla 7. Factores de conversión de producción de biogás a través de residuos orgánicos

Sustrato para producción de biogás	Materia Seca (%)	Materia Seca orgánica por Materia Seca (%)	Potencial de biogás (m ³ kg _{oDM} ⁻¹)	Potencial de biogás (m ³ /tonRO)	Tiempo de retención (d)
Desechos de carne	15	76	0.80	91.20	-
Residuos vegetales	15	76	0.55	62.70	14
Hojas	15	82	0.6	73.80	14
Verduras (frescas)	27	93.5	0.6	151.47	-
Frutas descalificadas	15	80	0.55	66.00	-
Residuos de mercados	21.5	76	0.5	81.70	30
Hojas de remolacha	16.5	79	0.6	78.21	-
Remolacha	17.5	87.5	0.7	107.19	-

Fuente: (Deublein, 2011). y Fuente propia.

Para estimar el potencial de generación de biogás de un sustrato, es necesario determinar la cantidad de materia seca orgánica contenida en este. La fórmula empleada para este cálculo es la siguiente:

$$\text{Materia Seca orgánica} - \text{Mso (kg)} = \text{Cantidad de sustrato (kg)} \times \text{Materia Seca (\%)} \times \text{Materia Seca orgánica (\%)/Materia Seca (\%)}$$

Una vez calculada la materia seca orgánica, se puede estimar la cantidad de biogás producido utilizando la siguiente ecuación:

⁴ El tiempo de retención corresponde al tiempo que el sustrato orgánico permanece en el biodigestor para producir una determinada cantidad de biogás. Es una variable que define el volumen del biodigestor y, por tanto, el volumen de sustrato cargado diariamente en él (FAO, 2011).

- **Cantidad de biogás (m3) = MSo (kg) × Potencial de biogás (m3/kg Materia Seca orgánica)**

Este procedimiento permite determinar el volumen de biogás que un sustrato específico puede generar en un biorreactor bajo condiciones controladas.

A continuación, se presentan algunos valores y consideraciones técnicas que son utilizadas para el cálculo de producción de biogás a través de residuos orgánicos.

Tabla 8. Valores y consideraciones técnicas para el cálculo de producción de biogás

	Valor	Unidad
Recuperación eléctrica del biogás	100.0	%
Recuperación térmica del biogás	0.0	%
Eficiencia del generador del motor	35.0	%
Disponibilidad anual del generador del motor	90.0	%
PCI (CH ₄)	9.95	kWh/m ³
Consideraciones técnicas del biodigestor	Valor	Unidad
Tiempo de retención	35	días
Relación agua: residuo	0.2	ton/ton
Potencial de generación de digestato	0.1	ton/tonRO
Factores de equivalente relevantes	Valor	Unidad
Density (CH ₄)	0.716	kg/m ³
PCI (CH ₄)	9.95	kWh/m ³
PCI (CH ₄)	13.90	kWh/kg
Density (Natural gas)	0.777	kg/m ³
PCI (Natural gas)	10.18	kWh/m ³
PCI (Natural gas)	13.10	kWh/kg

Supuestos de cálculo para el modelo financiero:

Para el desarrollo de los modelos financieros de tratamiento de residuos orgánicos, se consideran diversos supuestos, como las tarifas de energía, agua y gas, que impactan los costos operativos del proyecto. Además, se incorporan las obligaciones de pago al personal, tomando como referencia el salario mínimo y las cargas sociales que la ley establece, como pensiones, salud y cesantías. También se incluye el costo del mantenimiento de los equipos y las instalaciones. Por otro lado, se estiman los consumos aproximados de recursos (como energía y agua) según el tamaño del biodigestor⁵, lo que permite calcular los costos asociados a cada tamaño.

A continuación, se detallan los datos que son utilizados para los diferentes cálculos del modelo financiero.

Tarifas

Se consideraron los incrementos proyectados para el biometano, la energía eléctrica y el agua en el desarrollo del modelo financiero, tomando en cuenta las tendencias históricas de los últimos años. Así, se incorporó un aumento anual del 14% en la producción de biometano, según el promedio de los últimos tres años reportados a nivel nacional. Asimismo, se ajustaron los costos de energía eléctrica y agua conforme a los incrementos anuales reflejados en los reportes del sector energético y de agua. Así como el IPC 2025 para el cálculo del incremento anual de la tarifa de gestión de residuos y precio del digestato

Estos ajustes se proyectaron a lo largo de los 15 años de vida útil del proyecto, lo que permite una planificación financiera realista y adaptada a las condiciones de mercado y regulaciones vigentes.

Tabla 9. Porcentajes de incremento anual de las tarifas

Información	Valor
IPC 2024 ⁶	5.2%
Incremento del biometano anual ⁷	14.0%
Incremento de energía eléctrica anual	5.0%
Incremento de agua anual	5.0%

De igual manera, como se detalla en la Tabla 10, se incorporaron las tarifas de agua, energía y gas en la herramienta para que pueda utilizar estos valores como datos predeterminados (default). Las tarifas están segmentadas para el año 2024 según la capital departamental la cual se toma como referencia para el resto de los municipios del departamento. Es importante señalar que estas tarifas pueden estar sujetas a fluctuaciones en el mercado.

Tabla 10. Base de datos de tarifas para los servicios públicos

⁵ El volumen o tamaño del biodigestor se obtiene a través del volumen de carga diaria (m³/día) multiplicado por el tiempo de retención (días). Por ende, mientras menor sea el tiempo de retención, menor será el volumen del biodigestor (FAO, 2011).

⁶ Se utiliza el IPC de 2024 para actualizar valores, debido a que el IPC se publica con base en datos del año anterior y se emplea para ajustar cifras económicas, contratos y proyecciones financieras en el año siguiente.

⁷ Se tienen en cuenta los datos de los incrementos porcentuales de los últimos 5 años, según los reportes trimestrales de: (Promigas, 2021), (Superservicios, 2023), (Dirección Técnica de Gestión de Gas Combustible, 2022), (Superintendencia Delegada para Energía y Gas Combustible, 2020).

De acuerdo a lo anterior, a continuación, se explica a mayor detalle cada tarifa:

- Para la tarifa de agua, se selecciona la clasificación comercial-industrial, considerando tanto la tarifa fija como la variable, conforme a la estructura tarifaria aplicada en el sistema de suministro. En este caso, la tarifa fija se refiere al monto determinado por el acceso al servicio, independientemente del consumo, mientras que la tarifa variable se ajusta según el volumen de agua utilizado, calculado en metros cúbicos (m³).
- Para la tarifa de energía, se asume la tarifa comercial e industrial de la Tensión 1, dado que es el nivel de tensión en el que se encuentra más del 80% de los usuarios. Esta tarifa se ajusta a las necesidades y características de los usuarios en este rango de tensión, reflejando de manera más precisa los costos asociados a su consumo energético.
- Para la tarifa de gas, se asume el estrato 4, ya que es el estrato que refleja el costo real del servicio, al no recibir subsidios ni realizar contribuciones. De igual manera, se opta por este estrato debido a que no existe una diferencia tarifaria significativa entre los sectores residencial, industrial y comercial. En este caso, se contempla una estructura tarifaria que incluye tanto una tarifa fija, correspondiente al costo de acceso al servicio, como una tarifa variable, que se ajusta según el volumen de gas consumido.

Se asume una tarifa de tratamiento de residuos orgánicos utilizada en el documento titulado "Conceptualización técnico-económica de tecnologías viables para el tratamiento in situ de residuos orgánicos en las Plazas de Mercado de Bogotá con enfoque en Quirigua" desarrollado por Black Forest Solutions para la GIZ en el año 2022. Este valor se actualiza a valor presente, para ajustarlo a las condiciones económicas actuales y reflejar su impacto en los modelos financieros del proyecto, de igual manera es modificada anualmente de acuerdo con el IPC 2025.

Tabla 11. Tarifa de gestión de residuos

Tarifa de residuos	Año	Valor	Valor tiempo real / 2024
Plazas de mercado	2022	\$ 215.000	\$ 257.372

Estimaciones

Para el desarrollo de los cinco modelos financieros, se asumen variables clave como el valor de la tecnología, el porcentaje de mantenimiento, los consumos de energía y agua, y la producción de biogás y digestato por residuo. También se consideraron aspectos laborales, como el número de operadores y técnicos especializados, sus salarios y el tiempo de trabajo anual. Estas variables fueron definidas antes de aplicar el proceso de regresión lineal, estableciendo la base para los modelos financieros.

Tabla 12. Estimaciones modelo financiero

Capex		
Valor tecnología	\$	497,518,399
% mantenimiento		5%
Operacional		
Numero de operadores		1
Numero de profesionales		-

% mantenimiento	5%	%
Consumos		
Consumo de energía	50.0	kWh/día
Consumo de energía	16,500.0	kWh/año
Consumo de agua	0.2	m3/día
Consumo de agua	66.0	m3/año
Generaciones		
Potencial de biogás por residuo	70	m3/ton
Producción de biogás	23,100	m3/año
Potencial de digestato por residuo orgánico	0.1	ton/tonRO

Laboral	Cantidad
N° de Operadores	1
Salario del Operador (1.5 smmlv) por mes	\$ 3,686,650
Meses requeridos por año	12
N° de Técnicos Especializados	0
Salario de un Técnico Especializado (2.5 smmlv)	

De igual manera, en la Tabla 13 se pueden observar los porcentajes correspondientes a las prestaciones sociales que deben ser cumplidas al momento del pago de cada operario o profesional. Estos porcentajes incluyen las contribuciones a pensiones, salud, cesantías, y demás obligaciones legales que afectan los costos laborales asociados al proyecto.

Tabla 13. Prestaciones sociales

	Operador	Profesional	Porcentaje por la empresa
Salario	\$ 2,135,250	\$ -	
Auxilio de transporte	\$ 200,000	\$ -	
Salud	\$ 181,496	\$ -	8.50%
Pensión	\$ 256,230	\$ -	12%
ARL	\$ 148,613	\$ -	6.96%
Impuesto parafiscal	\$ 192,173	\$ -	9%
Bono	\$ 177,866	\$ -	8.33%
Cesantía	\$ 177,866	\$ -	8.33%
Intereses de despido	\$ 21,353	\$ -	1%
Vacaciones	\$ 89,040	\$ -	4.17%
Dotación	\$ 106,763	\$ -	5%
Costo medio mensual	\$ 3,686,650	\$ -	

Supuestos de cálculo para el cálculo de reducción de emisiones:

A continuación, se detallan los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones asociadas al transporte en el escenario base:

Tabla 14. Factores de emisión para transporte de residuos - escenario base (combustión)

Tabla 15. Eficiencias de consumo de combustibles

Eficiencias de consumo de combustibles	UPME (2020), UPME (2019)	UNIDAD DE CONVERSIÓN
UNIDAD INICIAL	VALOR	
Eficiencia de consumo de combustible diésel en camiones pesados de 2 ejes para terreno ondulado	10.01	km/gal
Eficiencia de consumo (promedio nacional) de combustible gasolina en camiones pesados	10.00	km/gal
Eficiencia de consumo de gas natural vehicular	0.17	m ³ /km

Nota para el escenario base de transporte:

Si el usuario no conoce los datos de consumo del vehículo, se asume tipo y volumen de combustible diésel B2 para vehículo de carga pesada de 2 ejes con tránsito por terreno ondulado. Si el usuario conoce el tipo de combustible, pero no el volumen de consumo del vehículo de transporte, se desarrolla un supuesto de cálculo de vehículo de carga pesada de 2 ejes, con tránsito por terreno ondulado. Por último, el usuario conoce el tipo de combustible y el volumen de consumo del vehículo de transporte, se establece un supuesto de cálculo de vehículo de carga pesada de 2 ejes.

A continuación, para el escenario base, se detallan los factores de emisión por tipo de tratamiento que sea seleccionado por el usuario:

Tabla 16. Factores de emisión para residuos por disposición final en relleno sanitario. Tabla 17. Factores de emisión procedentes del tratamiento biológico de residuos

Tabla 18. Potencial de Calentamiento Global (GWP100, por sus siglas en inglés)

Nota: para los cálculos del escenario proyecto se utilizan los mismos datos de digestión anaerobia utilizados en el escenario base, pero teniendo en cuenta que es un tratamiento in situ, no se contabilizan emisiones asociadas al traslado de los residuos orgánicos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambiente, M. d. (2020). Obtenido de <https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/09/guia-biogas-sector-porcicola-ministerio-de-ambiente-desarrollo-sostenible.pdf>
- AQUAE. (2021). *Cómo evitar las sequías con un atrapanieblas*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/atrapanieblas/>
- Ática. (s.f.). *¿Qué es la valorización de residuos y para qué sirve?* Obtenido de <https://www.atica.co/que-es-la-valorizacion-de-residuos-y-para-que-sirve>
- Bioversity, A., & CIAT. (2024). *PlaSa Colombia*. Obtenido de <https://plasacolombia.com/>
- CAF. (26 de 04 de 2021). *Banco de Desarrollo para América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2021/04/la-necesidad-de-aumentar-la-productividad-del-agro-colombiano/>
- Cardozo, D. &. (2022). Análisis de la gestión de los residuos orgánicos en Colombia a través de la visualización del marco legal vigente representado por medio de un dashboard. Bogotá, D.C, Colombia: Universidad de La Salle.
- CAWST. (2017). *Manual técnico: Filtro de arena lento intermitente (FALI)* .
- CEPAL. (2015). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/2d86ecfb-f922-49d3-a919-e4fd4d463bd7/content>
- CEPLAN. (2023). *Estudio prospectivo sobre el estrés hídrico y la inseguridad alimentaria en el Perú*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5511475/4909702-estudio-prospectivo-de-estres-hidrico-e-inseguridad-alimentaria-ceplan.pdf>
- CMNUCC. (s.f.). *CDM Methodologies*. Recuperado el 2025, de <https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>
- CNCA. (2023). *Resolución Número 8 DE 2023*. Obtenido de <https://www.ambitojuridico.com/sites/default/files/2024-01/Res-8-a-10-CNCA.pdf>
- Colombia Capital. (s.f.). Recuperado el 2025, de <https://colombiacapital.com.co/finanzas/que-significa-capex-en-finanzas/>
- Colombia Capital. (s.f.). Recuperado el 2025, de <https://colombiacapital.com.co/finanzas/que-significa-opex-en-finanzas/>
- CONAFOR. (2024). *Glosario*. Obtenido de <https://maderas-comerciales-tropicales.cnf.gob.mx/glosario>
- CONVSP. (1992). *Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático*. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

- CORPOICA. (s.f.). *Fuentes de fertilizantes, acondicionadores de suelos y materiales correctivos*. Obtenido de https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_4/mod_virtuales/modulo2/glosario4.html
- DANE. (s.f.). Recuperado el 2025, de https://conceptos.dane.gov.co/conceptos/conceptos_catalogo
- DANE. (2018). Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/estandarizacion-y-armonizacion-de-conceptos>
- Deublein, D. &. (2011). *Biogas from waste and renewable resources*. WILEY-VCH.
- Dirección Técnica de Gestión de Gas Combustible. (2022). *Boletín tarifario gas combustible por redes*. Obtenido de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Boletin-tarifario-gas-redes-III-Trimestre-2022.pdf>
- DNP. (2022). *Guía Nacional para la adecuada separación de residuos sólidos*. Obtenido de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Vivienda%20Agua%20y%20Desarrollo%20Urbano/Guia_Residuos%20Solidos_Digital.pdf
- ecoembes. (s.f.). Obtenido de <https://reducereutilizarecicla.org/gestion-de-residuos-en-plantas-de-transferencia/>
- FAO. (2011). *Manual de Biogás*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>
- FAO. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/i3247s/i3247s.pdf>
- FAO. (2013). *Manual del Compostaje del Agricultor*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>
- FAO. (2014). *Compendium on Rainwater Harvesting for Agriculture in the Caribbean Sub-region*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9e1e6970-26d5-4d07-94ce-7202552e4988/content>
- FAO. (2016). *Agricultura Sostenible*. Obtenido de <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/423953/#:~:text=FAO%20busca%20promover%20pr%C3%A1cticas%20y,recursos%20naturales%20a%20largo%20plazo>.
- FAO. (2024). *Biol y biocidas*. Obtenido de <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1709720/>
- FAO. (s.f.). *Degradación del Suelo*. Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- FAO. (s.f.). *Macronutrientes: Carbohidratos, grasas y proteínas*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/w0073s/w0073s0d.htm#:~:text=La%20celulosa%2C%20un%20pol%C3%ADmero%20de,componente%20principal%20de%20la%20madera>.
- Fedepalma. (2016). *Aprovechamiento y valorización energética de biomasa y biogás*. Obtenido de https://fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M_2_16_-Aprovechamiento-y-valorizacion.pdf

- Fondo Nacional de la Porcicultura. (2020). *Guía de biogás para el sector porcícola en Colombia*. Obtenido de https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Guia_Biog_a%CC%81s__ajustada_1.pdf
- Fundación Santa Fe. (s.f.). *Manual de uso del Biodigestor*. Obtenido de <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/09/Manual-de-uso-de-biodigestores-1000l.pdf>
- G&G. (s.f.). Obtenido de <https://www.geoygeo.com/blog/geosinteticos-concepto-beneficios-funciones-y-clasificacion-duplicate-4902/>
- GIZ. (2023). *Reservorios de Agua*. Obtenido de <https://www.delcampoalplato.com/wp-content/uploads/2023/06/27.-Reservorios-de-agua-1.pdf>
- GIZ Colombia & BlackForest Solutions GmbH. (2022). *Análisis de la viabilidad técnico-económica para proyectos de tratamiento in situ de residuos orgánicos en las plazas distritales de mercado de Bogotá - Enfoque en la plaza distrital de mercado Quirigua*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://conversapolis.org/web/wp-content/uploads/2023/11/Tratamiento-residuos-organicos-Plazas-de-Mercado-2.pdf>
- Gobierno de Colombia. (21 de Noviembre de 2016). *CONPES 3874 - POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- Gobierno de Colombia. (2022). *Taxonomía Verde de Colombia*. Obtenido de <https://www.taxonomiaverde.gov.co/webcenter/portal/TaxonomiaVerde>
- Gobierno de México. (2024). *Biodigestores: Innovación sostenible para la agricultura y ganadería*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/biodigestores-innovacion-sostenible-para-la-agricultura-y-ganaderia?idiom=es>
- ICMA. (2023). *Market integrity and greenwashing risks in sustainable finance*. Obtenido de <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/Market-integrity-and-greenwashing-risks-in-sustainable-finance-October-2023.pdf>
- IDEAM. (2018). *METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA DE VARIABLES METEOROLÓGICAS*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>
- IDEAM. (28 de 03 de 2023). *Estudio Nacional del Agua 2022*. Obtenido de https://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua/-/document_library_display/hWSQikOLFPrw/view/125666586
- IDEAM. (2023). *Hoja metodológica de la Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) Multianual (Versión 1,3)*. Obtenido de https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/agua/hm/HM_OHTS_Multianual.pdf
- IDEAM. (2024). *Demanda y Uso*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/demandaagua#:~:text=Demanda%20agua%20%2D%20IDEAM>

&text=La%20demanda%20de%20agua%20estimada,sectores%20econ%C3%B3micos%20y%20la%20poblaci%C3%B3n.

- IDEAM, & UPME. (2017). *Atlas climatológico de Colombia*. Obtenido de <https://ia601701.us.archive.org/32/items/atlas-climatologico-de-colombia/Atlas%20climatologico%20de%20Colombia.pdf>
- IICA. (2021). *Gestión y manejo del agua en la agricultura*. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19866/CDHN22038298e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IPCC. (2013). *Glosario*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- ISO. (1996). Obtenido de <https://www.fao.org/3/y5136e/y5136e07.htm#fn8>
- ITDG. (s.f.). *Ficha Técnica Biodigestores*. Obtenido de <https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/03-biodigestores.pdf>
- JICA. (2015). *Guía técnica para cosechar el agua lluvia*. Obtenido de https://www.jica.go.jp/Resource/project/ecuador/001/materials/ku57pq000011cym2-att/water_harvest_sp.pdf
- LEDS LAC. (s.f.). *Mapa de proyectos en biogás en Colombia*. Obtenido de Mapa de proyectos en biogás en Colombia: <https://www.ledslac.org/mapa-de-proyectos-de-biogas-en-lac/>
- Maceda, A., Soto, M., Peña, C., Trejo, C., & Terrazas, T. (2022). *Lignina: composición, síntesis y evolución*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712021000200300#:~:text=La%20lignina%20es%20una%20de,composici%C3%B3n%20entre%20los%20grupos%20taxon%C3%B3micos.
- MADR. (2018). *Resolución 261 del 21 de Junio del 2018*. Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/Resoluci%C3%B3n%20No%20000261%20de%202018.pdf>
- MADS. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico/>
- MADS. (24 de Junio de 2021). *Noticias Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/colombia-inicia-acciones-para-la-gestion-sostenible-de-la-biomasa-residual/>
- MADS. (2022). *Lineamientos para potencializar el uso de agua lluvia*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/LINEAMIENTOS-USO-AGUAS-LLUVIAS.pdf>

- MADS. (14 de 03 de 2022). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/conozca-como-podria-disminuir-la-demanda-de-agua-en-el-sector-agricola/#:~:text=En%20Colombia%2C%20por%20a%C3%B1o%2C%20se,de%20agua%20para%20fines%20agr%C3%ADcolas>.
- MAVDT. (2004). *Resolución 865*. Obtenido de https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambientevd_0865_2004.htm#:~:text=La%20oferta%20h%C3%ADdrica%20de%20una,s%20uperficial%20de%20la%20misma.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). *Riego Localizado*. Obtenido de <https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/riego-localizado.aspx#:~:text=En%20el%20riego%20por%20goteo,variable%20de%20puntos>
- MINVIVIENDA. (2015). Decreto 1077 de 2015.
- MITECO. (2024). *Biometano*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/gas/biometano.html>
- Mosquera, J. (2020). *Diseño de un sistema de recolección de aguas lluvia para abastecer el riego de cultivos vegetales en una finca en villa de Leyva, Boyacá, Colombia*. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8057/1/104866-2020-III-GE.pdf>
- MVCT. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico-reglamento-tecnico-sector-reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>
- OMS. (s.f.). *El derecho al agua*. Obtenido de <https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>
- OPS. (2004). *Guía de diseño para captación de agua lluvia*. Obtenido de http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/356/cosechadoras%208%28gu%c3%ada%20dise%c3%b1o%20para%20captaci%c3%b3n_Lima%29.pdf?sequence=1
- OPS. (2004). *Guía de diseño para captación de agua lluvia*. Obtenido de http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/356/cosechadoras%208%28gu%c3%ada%20dise%c3%b1o%20para%20captaci%c3%b3n_Lima%29.pdf?sequence=1
- ORARBO. (s.f.). *Glosario*. Obtenido de <https://orarbo.gov.co/es/glosario/desarrollo-sostenible>
- Promigas. (2021). *Informe del sector gas natural Colombia*. Obtenido de <https://www.promigas.com/InformeSectorGas2022/Paginas/Cifras-del-sector.aspx>
- SENARA, PFPAS, & MAG. (2010). *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua lluvia en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización*. Obtenido de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P10-10360.pdf>

- SFC. (s.f.). *Glosario de términos de sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.superfinanciera.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=1069423>
- SSWM. (s.f.). *Filtro lento de arena*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/filtraci%C3%B3n-lenta-de-arena>
- Superintendencia Delegada para Energía y Gas Combustible. (2020). *Boletín tarifario de gas combustible por redes de tubería*. Obtenido de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/boletin_tarifario_gas_por_redes_iii_trim_2020_0.pdf
- Superservicios. (2023). *BOLETÍN TARIFARIO GAS COMBUSTIBLE POR REDES*. Obtenido de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Boletin-tarifario-gas-por-redes-I-Trimestre-2023.pdf>
- UAESP. (2014). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. Obtenido de https://www.uaesp.gov.co/images/guia-uaesp_sr.pdf
- UE, PNUD, & INIA. (2015). *Cosecha de agua de lluvia para enfrentar la escasez de agua en áreas de secano*. Obtenido de https://issuu.com/programaconjunto_pnud-ue/docs/cosecha_agua_lluvia
- Universidad Tecnológica de Pereira. (2012). *Análisis de viabilidad financiera de una central de generación de energía eléctrica a partir del biogás de vertedero*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84923910001.pdf>
- UPME, & UNAL. (2018). *Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento*. Bogotá D.C.
- UPME-UNAL. (2018). *Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento*.
- WASTEMAP, CATF, Ambire, & Barranquilla, A. d. (2024). *Prefactibilidad: sistema de tratamiento de residuos orgánicos de las plazas de mercado en Barranquilla*. Obtenido de <https://static1.squarespace.com/static/5e4d90d9d77f6c7ec5f9a902/t/664bc876f73e73170f4926ef/1716242554555/DocBarranquillaFINAL.pdf>