

Lista de apéndices

Apendice A: Biodigestor doméstico + gasificador ubicado en la finca Santa Rosa - Cáchira, Norte de Santander.

Apendice B: Inventarios para escenarios base e integrado del ACV

Apendice C: Clasificación del biocarbón de madera de pino y definiciones de las categorías del ACV

Lista de apéndices

Apéndice A: Biodigestor doméstico + gasificador ubicado en la finca Santa Rosa - Cáchira, Norte de Santander y caracterización de Biocarbón



Tabla 1

Caracterización Biocarbón

Análisis	Contenido	Unidades	Biocarbón de madera de pino
Tamaño	Tamaño de partícula	um	<149
	Diametro del poro	um	11.447
Fisicoquímica	pH	-	9.17
	Ash	%	5.98
Análisis elemental	C	Wt %	81.75
	O	Wt %	13.89

Apéndice B: Inventarios para escenarios base e integrado del ACV**Tabla 2**

Resumen de inventario para el escenario base. Los valores de refieren a 1 kg de queso producido.

	Escenario Base	Unidades
Entradas		
<i>Producción de GLP y transporte</i>		
Producción	1.34E+00	kg
Transporte	5.09E+01	kg km
<i>Producción de fertilizante sintético y transporte</i>		
N	5.87E-01	kg
P ₂ O ₅	2.36E-01	kg
K ₂ O	8.07E-01	kg
Transporte	4.12E-02	kg km
<i>Solución de lavado para máquinas de ordeño y transporte</i>		
NaClO	1.30E-04	kg/L
Na ₂ SiO ₃	1.30E-04	kg/L
Transporte	6.55E-06	kg km/L
<i>Consumo de agua</i>	4.98E+01	L
Salidas		
<i>Emisiones directas por la combustión de GLP</i>		
CO ₂ (fósil)	4.13E+00	kg
CO(fósil)	2.00E-02	kg
CH ₄ (fósil)	6.69E-05	kg
NM VOC	2.52E-02	kg
NO _x	4.02E-03	kg
N ₂ O	2.01E-05	kg
PM _{2.5}	4.02E-04	kg
PM ₁₀	1.47E-03	kg
<i>Emisiones directas al aire por la aplicación de fertilizantes sintéticos en los cultivos</i>		
NH ₃	1.47E-01	kg
N ₂ O	5.87E-03	kg

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DIGESTIÓN ANAERÓBICA + GASIFICACIÓN

<i>Emisiones directas al suelo por la aplicación de fertilizantes sintéticos en los cultivos</i>		
N	1.17E-01	kg
P	7.08E-02	kg
k	4.04E-01	kg
<i>Emisiones directas al aire por almacenamiento de EB</i>		
NH ₃	1.05E-02	kg
N ₂ O	1.26E-03	kg
CH ₄	3.54E-04	kg
<i>Emisiones directas al suelo por almacenamiento de EB</i>		
N	1.68E-02	kg
P	5.41E-03	kg
K	7.75E-02	kg
<i>Emisiones directas al suelo por la producción de queso</i>		
N	4.37E-02	L
P	5.42E-02	L

Tabla 3

Resumen de inventario para el escenario integrado. Los valores de refieren a 1 kg de queso producido.

	Escenario Integrado	Unidades
Entradas		
<i>Materiales de construcción para la implementación del biodigestor*</i>		
Plásticos y accesorios para tuberías de biogás	4.67E-08	kg
Ladrillos	3.59E-07	kg
Cemento	8.62E-08	kg
Arena	8.38E-06	kg
Rieles	2.75E-08	kg
Estufa	1.32E-08	kg
Poliétileno (biodigestor y reservorio)	6.68E-07	kg
Transporte de materiales	1.01E-03	kg

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DIGESTIÓN ANAERÓBICA + GASIFICACIÓN

<i>Materiales de construcción para la implementación del gasificador</i>	2.33E+03	COP
Transporte de materiales	2.44E+05	COP km
<i>Producción de GLP y transporte</i>		
Producción	1.83E-02	kg
Transporte	6.94E-01	kg km
<i>Producción de fertilizante sintético y transporte</i>		
N	0.00E+00	kg
P ₂ O ₅	0.00E+00	kg
K ₂ O	0.00E+00	kg
Transporte	0.00E+00	kg km
<i>Solución de lavado para máquinas de ordeño y transporte</i>		
NaClO	1.30E-04	kg/L
Na ₂ SiO ₃	1.30E-04	kg/L
Transporte	6.55E-06	kg km/L
<i>Consumo de agua</i>	4.98E+01	L
Salidas		
<i>Emissiones directas por la combustión de GLP</i>		
CO ₂ (fósil)	5.64E-02	kg
CO(fósil)	2.72E-04	kg
CH ₄ (fósil)	9.14E-07	kg
NMVOC	3.44E-04	kg
NO _x	5.48E-05	kg
N ₂ O	2.74E-07	kg
PM _{2.5}	5.48E-06	kg
PM ₁₀	2.01E-05	kg
<i>Emissiones directas al aire por la aplicación de digestato en los cultivos</i>		
NH ₃	1.47E-01	kg
N ₂ O	5.87E-03	kg
<i>Emissiones directas al suelo por la aplicación de digestato en los cultivos</i>		
N	1.17E-01	kg
P	7.08E-02	kg
k	4.04E-01	kg
<i>Emissiones directas al aire por almacenamiento de EB</i>		
NH ₃	8.93E-03	kg
N ₂ O	1.07E-03	kg
CH ₄	3.01E-04	kg

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DIGESTIÓN ANAERÓBICA + GASIFICACIÓN

Emisiones directas al suelo por almacenamiento de EB

N	1.43E-02	kg
P	4.60E-03	kg
K	6.58E-02	kg

Emisiones directas al suelo por la producción de queso

N	1.46E-02	L
P	1.81E-02	L

Emisiones directas al air por perdidas de biogás

CH ₄	7.24E-03	kg
-----------------	----------	----

Emisiones directas por la combustión de biogás

CO ₂ (biogénico)	2.31E-01	kg
CO(biogénico)	3.04E-04	kg
CH ₄ (biogénico)	1.60E-04	kg
NMVOC	9.60E-05	kg
NO _x	1.44E-04	kg
N ₂ O	1.33E-05	kg
PM _{2.5}	0.00E+00	kg
PM ₁₀	8.00E-05	kg

Emisiones directas por la combustión del gas de síntesis

CO ₂ (biogénico)	2.02E+00	kg
CO(biogénico)	2.65E-03	kg
CH ₄ (biogénico)	1.40E-03	kg
NMVOC	8.38E-04	kg
NO _x	1.26E-03	kg
N ₂ O	1.26E-04	kg
PM _{2.5}	0.00E+00	kg
PM ₁₀	6.98E-04	kg

Emisiones directas al aire por la combustión de madera de pino en el gasificador

CO ₂ (biogénico)	7.54E+03	kg
CO(biogénico)	2.08E+02	kg
CH ₄ (biogénico)	5.44E+01	kg
NMVOC(biogénico)	4.61E+01	kg
NO _x (biogénico)	9.71E-01	kg
N ₂ O(biogénico)	4.85E-01	kg
PM _{2.5} (biogénico)	1.55E+01	kg
PM ₁₀ (biogénico)	5.15E+01	kg
SO ₂ (biogénico)	4.13E+00	kg
N ₂ (biogénico)	2.11E+01	kg

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DIGESTIÓN ANAERÓBICA + GASIFICACIÓN

O ₂ (biogénico)	1.81E+00	kg
----------------------------	----------	----

*Calculados por kg de estiércol tratado y kg de queso producido

Apéndice C: Clasificación y definiciones de las categorías del ACV

Tabla 4

Clasificación categorías ACV

CLASIFICACIÓN CATEGORÍAS ANÁLISIS CICLO DE VIDA	
Toxicidad humana (efectos cancerígenos) Toxicidad humana (efectos no cancerígenos) Radiación ionizante Agotamiento ozono estratosférico Formación ozono	Salud humana
Uso del suelo Formación partículas finas Acidificación terrestre Eutroficación agua dulce Eutroficación agua marina Ecotoxicidad terrestre Ecotoxicidad agua dulce Ecotoxicidad agua marina	Calidad ecosistemas
Escasez recursos minerales Escasez recursos fósiles	Recursos
Calentamiento global	Cambio climático

1. DEFINICIONES Y EFECTOS DEL ACV

1.1 GLOBAL WARMING (CALENTAMIENTO GLOBAL):

El término "calentamiento global" es un sinónimo de cambio climático masivo en nuestro planeta. La naturaleza del calentamiento global refleja que los cambios incrementales que lo componen son minúsculos. Por eso es tan difícil reconocer qué es y cuáles son sus causas. La Tierra absorbe naturalmente la radiación solar entrante y a su vez refleja y emite radiación terrestre (térmica) de mayor longitud de onda hacia el espacio. En una fase del proceso, la radiación solar

absorbida se equilibra con la radiación terrestre emitida al espacio y las temperaturas atmosféricas son estables. Una parte de esta radiación terrestre es absorbida por los gases de la atmósfera. La energía de esta radiación terrestre absorbida calienta la superficie terrestre y la atmósfera. Esto crea lo que se conoce como "efecto invernadero natural". La esencia del calentamiento global es que, si los gases de la atmósfera superior tienen una mayor capacidad de absorber energía, lo harán y la superficie de la Tierra se calentará (Morales & Anselmo, 2020).

1.2 STRATOSPHERIC OZONE DEPLETION (AGOTAMIENTO DEL OZONO ESTRATOSFERICO):

La capa de ozono estratosférico filtra la porción UV-B de la radiación ultravioleta (UV) del sol. La sobreexposición a esta radiación aumenta el riesgo de cáncer de piel, cataratas y deterioro del sistema inmunitario. También puede dañar los cultivos sensibles, reducir el rendimiento de las cosechas y estresar el fitoplancton marino (y, por tanto, el suministro de alimentos humanos procedentes de los océanos). Además, la exposición a la radiación UV degrada los plásticos y la madera.

El agotamiento del ozono estratosférico se ha relacionado con la presencia de cloro y bromo en la estratosfera. Las sustancias químicas con una larga vida atmosférica pueden migrar a la estratosfera, donde las moléculas se descomponen por la interacción con la luz ultravioleta o por reacción química (Medina, Rodríguez, Prado, & Rivas, 2022).

1.3 IONIZING RADIATION (RADIACIÓN IONIZANTE):

La radiación ionizante es aquella que tiene la capacidad de sustraer electrones desde los átomos de la materia, inicialmente neutros, con los que interactúan produciendo entonces pares electrón/ion. Los fotones del espectro electromagnético con suficiente energía para ionizar los átomos de la materia son los que poseen alta frecuencia; estos fotones energéticos al interactuar

con la materia eventualmente liberan electrones de los átomos, ionizándolos, por los mecanismos físicos denominados efecto fotoeléctrico y efecto Compton. Entonces cuando los rayos X interactúan con un medio material, como el aire, el agua o tejido biológico, su energía es suficiente para separar electrones de los átomos que componen dichos materiales ionizándolos y, por lo tanto, rompiendo enlaces moleculares. Los tejidos biológicos están compuestos por células, que desde el punto vista químico son agregados de átomos, denominados moléculas, tan especializadas como el ADN. En los tejidos vivos la ionización puede inducir cambios químicos en las células que pueden alterar su material genético (ADN) o causar la muerte celular según el nivel de exposición al que es sometido el tejido biológico. En casos de altos niveles exposición se producirá la muerte celular y, por consiguiente, se comprometerá la función del tejido biológico, que, en algunos casos, de acuerdo con la severidad, podrá conducir a la muerte del tejido y comprometerá, por ende, la existencia del individuo para el cual el tejido cumple una función vital (Liu, Cano, & Zhao, 2019)

1.4 OZONE FORMATION, HUMAN HEALTH (FORMACIÓN OZONO, SALUD HUMANA):

La sobrepoblación y el crecimiento industrial causan un aumento en la contaminación del aire, principalmente de partículas suspendidas y en la formación de ozono. La exposición repetida a bajas dosis de ozono, como la de un día con alta contaminación del aire, genera un estado de estrés oxidativo crónico, el cual, causa pérdida de espinas dendríticas, alteraciones en la plasticidad cerebral y en los mecanismos de aprendizaje y memoria, así como muerte neuronal y pérdida de la capacidad de reparación cerebral. Esto tiene un impacto directo en la salud humana, aumentando la incidencia de enfermedades crónico-degenerativas.

Los animales aerobios, principalmente los vertebrados, obtienen su energía del oxígeno de sustratos orgánicos (glucosa) usando el oxígeno molecular. Sin embargo, algunas veces el oxígeno se reduce parcialmente, dando origen a moléculas prooxidantes como el ion superóxido y algunos compuestos intermedios muy reactivos. Estos intermediarios pueden ser fácilmente neutralizados por los sistemas antioxidantes manteniendo el equilibrio de óxido-reducción. No obstante, un aumento en las especies reactivas y una falla en el sistema de antioxidantes producen un estado de estrés oxidativo crónico (Liu, Cano, & Zhao, 2019) .

1.5 FINE PARTICULATE MATTER FORMATION (FORMACIÓN PARTICULAS FINAS):

Las partículas finas con diámetros aerodinámicos iguales o inferiores a 2,5 micrómetros (PM) son un componente importante de los contaminantes del aire (Alberg, Cassee, Groeng, Dybing, & Lovik, 2009). Comúnmente, PM se acumula en dos fuentes primarias, natural y antropogénica. Este último genera PM y causa principalmente la contaminación del aire en la actualidad. La contaminación antropogénica por PM se relaciona con el rápido desarrollo de la industrialización, el crecimiento del consumo de carbón y la quema de combustibles [41] (Bermejo, y otros). PM es una mezcla compleja de partículas diminutas y gotitas líquidas que contiene una gran variedad de componentes diferentes, incluidos ácidos (como nitratos y sulfatos), compuestos orgánicos, metales y partículas de suelo o polvo (Annika, Michael, & Hauschild, 2021). Tanto los estudios in vitro como los in vivo se han concentrado principalmente en los efectos de un solo componente de los tóxicos. Sin embargo, nos exponemos a múltiples tóxicos todos los días al hecho. En general, el material particulado suele contener muchos tipos de elementos de metales pesados (como Ni, Cd, Pb, As y Sb) que son nocivos tanto para los seres

humanos como para los animales, incluso en concentraciones muy bajas (Annika, Michael, & Hauschild, 2021).

1.6 OZONE FORMATION, TERRESTRIAL ECOSYSTEMS (FORMACIÓN DE OZONO, ECOSISTEMAS TERRESTRES):

La necesidad de analizar la agricultura se origina principalmente en la amplia variedad de sistemas agrícolas existentes y la influencia de las características específicas del sitio (clima, tipo de suelo, disponibilidad de agua) en los impactos ambientales (Zhang, 2021). Los principales contribuyentes a los impactos sobre la biodiversidad terrestre son: el uso excesivo del agua (para riego), el cambio climático que se debe principalmente a las emisiones de dióxido de carbono de la quema de combustible Diesel durante las operaciones agrícolas y la formación de ozono fotoquímico debido a las emisiones de óxido de nitrógeno de los fertilizantes nitrogenados. Los efectos del ozono en los cultivos se pueden manifestar como síntomas visibles en las hojas, como reducción de la producción y/o calidad de la cosecha, o como un aumento en la sensibilidad frente a ataques de patógenos (Zhang, 2021).

1.7 TERRESTRIAL ACIDIFICATION (ACIDIFICACIÓN TERRESTRE):

La acidificación terrestre se modela como el producto de los factores del destino, describiendo el transporte y transformación de las emisiones, sensibilidad de factores, que reflejan la sensibilidad del suelo, es decir, el cambio en los niveles de pH del suelo a las deposiciones atmosféricas de sustancias acidificantes y factores de efecto invernadero, que cuantifican los efectos adversos sobre los ecosistemas terrestres de la exposición resultante [44] (Bridget, y otros, 2016).

Los métodos actuales en el desarrollo del efecto invernadero para acidificaciones terrestres las define como la pérdida relativa de la riqueza de especies de plantas terrestres, con un enfoque

en las especies de plantas vasculares (por ejemplo, plantas con flores, coníferas) presentes en el Ph del suelo y proporcionan una cantidad considerable de producción primaria en los sistemas terrestres. El pH del suelo se utiliza como indicador de la acidez del suelo, ya que se correlaciona con la presencia de suelo nutrientes y contaminantes y es un buen predictor de la presencia de plantas (Bridget, y otros, 2016).

1.8 FRESHWATER EUTROPHICATION (EUTROFICACIÓN DE AGUA DULCE):

La eutrofización se ha convertido en una de las fuerzas antropogénicas más extendidas que afectan a la diversidad biológica del agua dulce. Un mecanismo potencialmente importante que impulsa los cambios de biodiversidad en respuesta a la eutrofización es la alteración de los patrones estacionales de difusión (agua-aire), particularmente entre especies con ciclos de vida cortos y sincrónicos. Las aguas dulces (es decir, arroyos, ríos, lagos y embalses) se consideran una fuente principal de emisiones del efecto invernadero. Las emisiones de CO₂ y CH₄ de las aguas dulces son significativas debido a las grandes cantidades de materia orgánica en los cuerpos de agua y sedimentos (Friendlans, y otros, 2021). Las consecuencias de la eutrofización de agua son: las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua del fondo y el agua intersticial sedimentaria, abundante materia orgánica, abundante nitrógeno a favor de la producción de N₂O (aumento calentamiento global) y la rápida proliferación y alta acumulación de biomasa de microalgas en la columna de agua. Es probable que la mayor eutrofización de agua dulce proyectada en el futuro promueva significativamente el efecto invernadero acuático y fortalezca el efecto invernadero (Friendlans, y otros, 2021).

1.9 MARINE EUTROPHICATION (EUTROFIZACIÓN MARINA):

Los ecosistemas marinos son componentes fundamentales de la Tierra, proporcionando valiosos servicios ecosistémicos como el cambio climático, regulación, alimentos, energía y recursos minerales, así como servicios culturales y recreativos (E1218-04, 2012). Sin embargo, las actividades humanas han cambiado la estructura y el funcionamiento, así como la salud y la productividad de los océanos profundos, mares costeros, lagos y ríos. Además, estos están gravemente en riesgo debido al cambio climático, sobreexplotación, acidificación de los océanos, desoxigenación, exceso de nutrientes, contaminantes químicos y plásticos (E1218-04, 2012). El exceso de nutrientes entregados a las zonas costeras es la principal causa de eutrofización. Una de las principales consecuencias de la eutrofización es el desarrollo de intensas floraciones de algas en el penacho de río y agua de la plataforma adyacente. Grandes cantidades de materia orgánica se hunden en el lecho marino, donde son descompuestas por bacterias benthicas usando oxígeno. Si el intercambio de agua es limitado, la oxidación de la materia orgánica puede provocar hipoxia (o incluso anoxia) en la capa inferior estresando o incluso matando la fauna bentónica (E1218-04, 2012).

1.10 TERRESTRIAL ECOTOXICITY (ECOTOXICIDAD TERRESTRE):

La toxicidad del medio depende de las partículas contaminantes que de una u otra forma están en la atmósfera, además las corrientes de aire, la temperatura, la humedad y el tipo de emisiones también influyen. Los contaminantes del aire ya sean gases, partículas o aerosoles son transportados por las corrientes de aire; a su vez, los movimientos del aire se ven influenciados por numerosos factores meteorológicos, tales como velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad relativa y la precipitación. La temperatura del aire es otro factor que afecta la conducta de los contaminantes atmosféricos; Bajo altas temperaturas se producen reacciones más rápidas y se acelera el intercambio gaseoso a través de las estomas y la oxidación

fotoquímica se incrementa a altas temperaturas. También la humedad en el aire afecta la conducta de partículas contaminantes, pues la reacción química con el agua hace que los materiales sean más fitotóxicos. El ácido sulfúrico formado de la oxidación de dióxido de azufre (SO₂), no puede existir en la fase gaseosa, pero aparece en forma de aerosoles o disuelto en las gotas de agua de las nubes. La contaminación de la atmósfera en áreas industrializadas se debe a la emisión de gases, partículas, cenizas o vapores que son producto de actividades antropógenos, a las cuales debe sumarse las emisiones naturales. Entre los principales contaminantes atmosféricos se tienen: el SO₂ y óxidos de nitrógeno (DEnginyeria, 2022).

1.11 FRESHWATER ECOTOXICITY (ECOTOXICIDAD EN AGUA DULCE):

Los cuerpos de agua reciben directa o indirectamente descargas de contaminantes como consecuencia de las diferentes actividades antrópicas que tienen lugar en las cercanías de estos. Estos materiales derivados antropogénicos incluyen diversos tipos de contaminantes que pueden acumular cantidades significativas de materiales peligrosos, lo cual hace que se consideren contaminados. Cuando los desechos tóxicos son vertidos a un cuerpo de agua, dichos compuestos se particionan entre la fase acuosa y la fase particulada, siendo estas formadoras de sedimentos a lo largo del tiempo. De esta manera los sedimentos se comportan como aceptores finales de contaminantes pudiendo actuar como fuentes secundarias de contaminación(SigloVentiuno, 2022).

1.12 TOXICITY (TOXICIDAD):

En esta categoría se contemplan los efectos sobre los humanos y los ecosistemas acuáticos y terrestres de las sustancias tóxicas existentes en el ambiente. Afecta a las áreas de protección salud humana, entorno y recursos naturales. Estas categorías son aquellas para las cuales el factor destino y especialmente el transporte a través de diferentes medios, tiene más importancia. Un

contaminante no permanece en el medio, compartimento ambiental, (entiéndase aire, suelo, agua superficial, agua subterránea mar) en que es emitido, sino que puede desplazarse y alcanzar otros compartimentos que serán a su vez contaminados. Una determinada sustancia puede incluso ser más dañina en un medio diferente al de su emisión (E1218-04, 2012).

1.13 MINERAL RESOURCE SCARCITY (ESCASEZ DE RECURSOS MINERALES):

Es importante reconocer que la calificación de reserva o recurso mineral se hace en relación con las condiciones económicas y tecnológicas del momento en que se efectúa la evaluación. El concepto de recursos es esencialmente dinámico: los términos que definen los recursos minerales (cantidad, tipo, entre otros) deben verse como variables dependientes del tiempo. El reino mineral del cual el hombre extrae los productos que necesita para su industria, incluye la corteza sólida de la tierra, el mar y la atmósfera. No obstante, la inmensa mayoría de los recursos minerales que la humanidad necesita han sido extraídos hasta ahora de la corteza terrestre; Aun considerando sólo esa delgada película superficial, la corteza terrestre contiene, en términos absolutos, existencias prácticamente inagotables de todos los metales y minerales que la humanidad necesita. No obstante, la mayor parte de ese contenido se halla distribuido uniformemente y en concentraciones muy bajas a través de toda su masa. El costo de su extracción excede a su valor económico o social y por lo tanto, no puede considerarse como reserva disponible, en las condiciones tecnológicas actuales (Kohli, 2016).

1.14 FOSIL RESOURCE SCARCITY (ESCASEZ DE RECURSOS FÓSILES):

Todos los combustibles fósiles son finitos y no renovables a escala humana y por ello, limitados desde un punto de vista físico. Sin embargo, existen diferentes puntos de vista sobre este fenómeno. Los geólogos argumentan que los factores geológicos determinan un pico en la

extracción de cada recurso, que sólo puede ser parcialmente variado por la tecnología y que estas restricciones pueden tener importantes repercusiones económicas. Sin embargo, la visión de los economistas, basada en la teoría neoclásica del crecimiento, argumenta que los mecanismos del mercado y el ingenio humano son capaces de transformar las reservas en recursos y encontrar fuentes de energía alternativas a un ritmo suficientemente rápido como para evitar restricciones de suministro, con lo cual el crecimiento económico no se vería afectado (Zhou et al., 2020).

1.15 LAND USE (USO DEL SUELO):

La categoría de impacto uso del suelo en el análisis del ciclo de vida está relacionada con el área de tierra ocupada, generalmente en combinación con el tiempo durante el cual se realizan las actividades humanas. Junto a este valor de ocupación debe existir una evaluación cualitativa de los cambios que sufre el suelo a partir de su uso. Internacionalmente (Kohli, 2016), se acepta que en la fase de inventario de ciclo de vida hay que centrarse en dos aspectos del uso de la tierra, por un lado, el área ocupada y por otro los cambios que se producen en la calidad del suelo.